

(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
9. Juli 2009 (09.07.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/083452 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
B25J 9/16 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/067725

(22) Internationales Anmeldedatum:
17. Dezember 2008 (17.12.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
07124101.2 27. Dezember 2007 (27.12.2007) EP

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): LEICA GEOSYSTEMS AG [CH/CH]; Heinrich-Wild-Strasse, CH-9435 Heerbrugg (CH).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): WALSER, Bernd [CH/CH]; Loostrasse 16, CH-9435 Heerbrugg (CH). METZLER, Bernhard [AT/AT]; Maria-Theresien-Strasse 8/10, A-6890 Lustenau (AT). AEBISCHER, Beat [CH/CH]; Weedstrasse 5, CH-9435 Heerbrugg (CH). SIERCKS, Knut [DE/CH]; Augartenstrasse 29, CH-9402 Mörschwil (CH). PETTERSSON, Bo [SE/GB]; 22 Coval Gardens, London SW14 7DG (GB).

(74) Anwalt: BUCHEL KAMINSKI & PARTNER PATENTANWÄLTE EST.; HARMANN, Bernd-Günther, Austrasse 79, FL-9490 Vaduz (LI).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND SYSTEM FOR THE HIGH-PRECISION POSITIONING OF AT LEAST ONE OBJECT IN A FINAL LOCATION IN SPACE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND SYSTEM ZUM HOCHPRÄZISEN POSITIONIEREN MINDESTENS EINES OBJEKTS IN EINE ENDLAGE IM RAUM

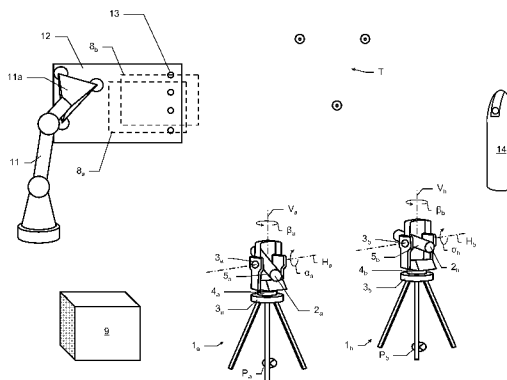


Fig. 1a

(57) Abstract: The invention relates to a method and a system for the high-precision positioning of at least one object in a final location in space. An object (12) is gripped and held by the industrial robot (11) within a gripping tolerance. A compensating variable, which corrects the gripping tolerance, is determined for the industrial robot (11). The object (12) is adjusted with high precision into a final location by the following steps, which repeat until reaching the final location at a predetermined tolerance: recording of image recordings by recording units (1_a, 1_b); determining the current location of the object (12) in the spatial coordinate system from the positions (P_a, P_b) of the recording units (1_a, 1_b), the angular orientations of cameras (2_a, 2_b) of the recording units (1_a, 1_b), which are detected by angle measuring units (4_a, 4_b), the image recordings, and the knowledge of features (13) on the object (12); calculating the location difference between the current location of the object (12) and the final location; calculating a new target position of the industrial robot (11) in consideration of the compensating variable from the current position of the industrial robot (11) and a variable which is linked to the location difference; adjusting the industrial robot (11) into the new target position.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und ein System zum hochpräzisen Positionieren mindestens eines Objekts in eine Endlage im Raum. Ein Objekt (12) wird von dem Industrieroboter (11) innerhalb einer Greif toleranz gegriffen und gehalten. Eine die Greif toleranz korrigierende Abgleichgrösse wird für den Industrieroboter (11) bestimmt. Das Objekt (12) wird hochpräzise in eine Endlage verstellt durch die sich bis zum Erreichen der Endlage in einer vorgegebenen Toleranz wiederholenden Schritte: Aufnahmen von Bildaufnahmen durch Aufnahmeeinrichtungen (1_a, 1_b).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/083452 A1



BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Bestimmen der aktuellen Lage des Objekts (12) im Raum-Koordinatensystem aus den Positionen (P_a , P_b) der Aufnahmeeinrichtungen (1_a , 1_b), den durch Winkelmessungen (4_a , 4_b) erfassten Winkelausrichtungen von Kameras (2_a , 2_b) der Aufnahmeeinrichtungen (1_a , 1_b), den Bildaufnahmen und der Kenntnis von Merkmalen (13) auf dem Objekt (12). Berechnen der Lagedifferenz zwischen der aktuellen Lage des Objekts (12) und der Endlage. Berechnen einer neuen Sollstellung des Industrieroboters (11) unter Berücksichtigung der Abgleichgröße aus der aktuellen Stellung des Industrieroboters (11) und einer mit der Lagedifferenz verknüpften Größe. Verstellen des Industrieroboters (11) in die neue Sollstellung.

**Verfahren und System zum hochpräzisen Positionieren mindestens
eines Objekts in eine Endlage im Raum**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum hochpräzisen
5 Positionieren mindestens eines Objekts, das bekannte optisch
erfassbare Merkmale aufweist, in eine Endlage im Raum mittels
eines Industrieroboters und mindestens zwei optischen
Aufnahmeeinrichtungen sowie entsprechende Systeme zur
10 Durchführung dieses Verfahrens. Solche Verfahren und Systeme
finden insbesondere Anwendung bei Montage- und
Fertigungsvorgängen in automatisierten Fertigungsstrassen,
beispielsweise in der Automobilindustrie, bei denen ein
Objekt, beispielsweise ein Blech- oder sonstiges
Karosserieteil, mittels eines Industrieroboters hochpräzise in
15 eine bestimmte Position und Ausrichtung im Raum zur
Durchführung eines Arbeitsschritts gebracht werden soll.

Die aus dem Stand der Technik bekannten Handhabungssysteme,
insbesondere Industrieroboter, z.B. Gelenkarmroboter, zum
20 Positionieren eines mittels einer Greifvorrichtung gegriffenen
Objekts in einer bestimmten Position und Ausrichtung im Raum,
weisen interne Messsysteme auf, welche die Stellung der
Glieder des Handhabungssystems erfassen können und somit
Aufschluss über die Position und Ausrichtung der
25 Greifvorrichtung im Raum geben. Zu unterscheiden ist hierbei
zwischen achsbezogenen und raumbezogenen Koordinatensystemen.
Die achsbezogenen Koordinatensysteme beziehen sich jeweils auf
eine Achse des Roboters und deren jeweilige Stellung. Aus der
kinematischen Kette der einzelnen Achsen und Glieder des
30 Roboters und deren jeweiligen Stellungen ergibt sich die
eindeutige Lage (Position und Ausrichtung) des
Roboterwerkzeugs, also der Greifvorrichtung, am Ende der
kinematischen Kette. Die Lage der Greifvorrichtung eines
Industrieroboters wird jedoch vorzugsweise raumbezogen über

den so genannten TCP, den Tool Center Point, beschrieben. Dies ist ein gedachter Referenzpunkt, der sich an geeigneter Stelle am Roboterwerkzeug befindet. Um zu beschreiben, welche Lage das Roboterwerkzeug einnehmen soll, werden die Position des TCP im Raum und seine Verdrehung definiert. Insbesondere
5 mittels der so genannten Denavit-Hartenberg-Transformation wird mittels der Robotersteuerung errechnet, welche Stellung die einzelnen Roboterachsen einnehmen müssen, so dass das Roboterwerkzeug die vorgegebene Lage einnimmt. Die Lage der Greifvorrichtung mit deren TCP bezieht sich vorzugsweise auf
10 das Weltkoordinatensystem, das Raum-Koordinatensystem oder das Zellen-Koordinatensystem, das beispielsweise auf die Basis der ersten Achse, der Grundachse, dem Grundgestell oder die Roboterbasis des Roboters direkt oder indirekt bezogen ist und hierzu gekoppelt ist. Auf dieses Welt-Koordinatensystem, Raum-Koordinatensystem oder Zellen-Koordinatensystem sind die restlichen Unter-Koordinatensysteme bezogen. Selbstverständlich muss es sich bei diesem Welt-Koordinatensystem, Raum-Koordinatensystem oder Zellen-Koordinatensystem nicht um ein absolutes Weltsystem handeln,
20 sondern auch dieses System kann einem anderen System untergeordnet sein. Es handelt sich also hierbei um ein Koordinatensystem, das innerhalb des Prozesses das übergeordnete Bezugssystem bildet. Meist ist dieses System mit dem Boden der Prozesshalle, des Prozessraumes oder der
25 Prozesszelle gekoppelt.

Somit ist es möglich, die Greifvorrichtung einschliesslich des gegriffenen Objekts in eine bestimmte vorgegebene Stellung
30 durch entsprechende Eingabe an die Robotersteuerung zu verstellen. Das gegriffene Objekt wird also durch Vorgabe einer Stellung der Greifvorrichtung im Raum positioniert. Hierbei ergeben sich jedoch insbesondere die folgenden beiden Probleme.

Zum einen ist das Messsystem herkömmlicher Industrieroboter, die zum Halten schwerer Objekte ausgelegt sind, nicht derart präzise, dass die Greifvorrichtung eine derart genaue Lage, wie sie bei manchen Fertigungsverfahren gefordert ist, im Raum einnehmen kann. Zwar sind die Antriebe von Industrierobotern hinreichend präzise, jedoch nicht dessen Messsysteme. Durch die kinematische Kette multiplizieren sich die Messfehler der einzelnen Messglieder. Dies ergibt sich sowohl aus der Messungenauigkeit der einzelnen Messglieder, insbesondere der Winkelmesser eines Gelenkarmroboters, als auch aus der unvermeidbaren Elastizität der Roboterglieder.

Zum anderen ergibt sich aus der Stellung der Greifvorrichtung und somit deren Lage im Raum noch nicht zwangsläufig die Lage des Objekts im Raum, da das Objekt meist nur innerhalb einer Greiftoleranz gegriffen werden kann. Diese Greiftoleranz liegt oft weit über der geforderten Positionierungsgenauigkeit. Somit muss der Greiffehler, also die relative Lage des Objekts zur Greifvorrichtung, ebenfalls berücksichtigt werden. Hierzu kommen gesonderte, nicht mehr zum Roboter gehörende Messsysteme, insbesondere berührungslose optische Messsysteme zum Einsatz. Erst diese ermöglichen es, das Objekt im Raum mit der geforderten Genauigkeit in einer bestimmten Lage zu positionieren.

Aus der WO 2007/004983 A1 (Pettersson) ist ein Verfahren zum fügenden Schweißen von Werkstücken, insbesondere gepressten Blechteilen oder Verbundblechen, bekannt. Die zusammenzufügenden Werkstücke werden von Industrierobotern gehalten und von diesen relativ zueinander zur gegenseitigen Schweissverbindung positioniert. Während des Herstellens der Schweissverbindung werden die Werkstücke von den Industrierobotern in den jeweiligen Lagen gehalten, so dass

die relative Lage der Teile zueinander erhalten bleibt. Das
Schweissen erfolgt beispielsweise mittels eines
Schweissroboters. Ein Messsystem misst die Positionen der
Werkstücke, um ein Positionieren der Werkstücke vor dem
5 Schweissvorgang zu ermöglichen. Die Messung erfolgt
insbesondere kontinuierlich während des Schweissvorgangs. Das
beschriebene Verfahren ermöglicht es, auf die ansonsten
üblichen werkstückspezifischen und aufwendig herzustellenden
Formen und Werkstückaufnahmen, in welche die Werkstücke vor
10 dem Schweissen fixiert werden müssen, zu verzichten. Die
Industrieroboter können für unterschiedlich geformte und
ausgestaltete Werkstücke universell eingesetzt werden, da
durch das Erfassen der Position der Werkstücke mittels des
Messsystems ein Identifizieren und Kontrollieren der
15 Werkstücke sowie ein genaues relatives Positionieren der Teile
zueinander möglich ist. Somit kann ein einziges System für
unterschiedliche Werkstücke verwendet werden. Der Wechsel von
Werkstückaufnahmen erübrigt sich somit. Das beschriebene
Verfahren eignet sich gemäss der Offenbarung insbesondere zum
20 Schweissen von Blechteilen, vor allem in der
Automobilindustrie. Als mögliches Messsystem wird allgemein
ein Lasertriangulationsverfahren, in welchem zuvor definierte
Punkte auf dem Werkstück vermessen werden, genannt. Hierzu
sind beispielsweise Reflektoren auf dem Werkstück angebracht.
25 Die Position jedes Reflektors kann gemäss der Beschreibung
mittels einer Lichtquelle und einem zweidimensionalen Detektor
ermittelt werden, so dass die Position und Ausrichtung des
Werkstücks mittels dreier solcher Punkte erfasst werden kann.
Der genaue Aufbau des Messsystems ist in der WO 2007/004983 A1
30 nicht näher beschrieben.

Die US 5,380,978 (Pryor) beschreibt ein Verfahren zum
Positionieren von Objekten, insbesondere Blechteilen, im Raum
mittels eines Industrieroboters. Als Messsystem werden unter

anderem Kameras eingesetzt, die zur dreidimensionalen Erfassung der Lage des Objekts im Raum eine entsprechende Stereobasis aufweisen. Die Kameras sind zur Verstellung des Sichtfeldes schwenkbar und in einer speziellen Ausführungsform als Theodolitkamera, die auch über einen Laserdistanzmesser verfügen kann, ausgebildet. Der beschriebene Theodolit dient hierbei als präzise Verstellvorrichtung für die Kamera. Ähnliche Messsysteme werden auch in der US 4,851,905 (Pryor) und US 5,706,408 (Pryor) beschrieben.

10

Gemein ist diesen Systeme und Verfahren, dass die Positionen mehrerer ausgezeichneter Punkte auf dem Objekt mittels berührungsloser photogrammetrischer Koordinatenmessungen unter Zuhilfenahme bildverarbeitender Systeme ermittelt werden.

15

Zur berührungslosen photogrammetrischen Koordinatenmessung an der Oberfläche eines Objekts im Nahbereich wird aus Bildern, die das Objekt aus verschiedenen Perspektiven wiedergeben, durch Transformierung der Bilddaten in ein

20

Objektkoordinatensystem, innerhalb welchem das Objekt zu vermessen ist und welchem beispielsweise das CAD-Modell des Objekts zugrunde liegt, auf die Abmessungen des Objekts und dessen Lage relativ zu weiteren Objekten im Bild geschlossen.

25

Hierzu werden die Bilddaten in einer Datenverarbeitungseinheit verarbeitet. Die Grundlage der Koordinatenberechnung ist die Bestimmung der relativen Kameraorientierungen der beteiligten Bilder.

30

Es besteht hierbei, wie aus dem Stand der Technik bekannt, die Möglichkeit, zeitlich versetzt aus verschiedenen Perspektiven den zu vermessenden Flächenabschnitt der Objektoberfläche mittels einer einzigen Kamera aufzunehmen und im Anschluss die jeweils zweidimensionalen Bilddaten mittels eines Bildverarbeitungssystems zu einem so genannten

dreidimensionalen Bild zu verarbeiten. Den Bildpunkten dieses dreidimensionalen Bildes werden hierbei jeweils Tiefeninformationen zugeordnet, so dass jedem zu untersuchenden Bildpunkt, insbesondere allen Bildpunkten, 3D-Bildkoordinaten in einem Bildkoordinatensystem, das sich aus den Kameras und deren Perspektiven bestimmt, zugeordnet sind. Unterschiedliche Bildverarbeitungsverfahren zur Erzeugung eines derartigen dreidimensionalen Bildes aus mehreren, die gleiche Szene aus unterschiedlichen Perspektiven zeigenden zweidimensionalen Bildern sind aus dem Stand der Technik bekannt.

Weiters besteht die Möglichkeit, wie ebenfalls aus dem Stand der Technik bekannt, anstelle der zeitlich versetzten Aufnahme des Flächenabschnitts aus unterschiedlichen Perspektiven mittels einer Kamera eine im Wesentlichen zeitgleiche Aufnahme unter Zuhilfenahme von mehreren Kameras durchzuführen. Dies hat sowohl den Vorteil, dass ohne Kamerabewegung ein dreidimensionales Erfassen des Flächenabschnitts möglich ist, als auch entfällt ein Erfassen der jeweiligen Kameraausrichtungen, da die Kameras zueinander eine feste relative Ausrichtung und Entfernung besitzen können.

Aus dem Stand der Technik sind unterschiedliche 3D-Bildaufnahmeeinrichtungen bekannt, die sich im Wesentlichen aus zwei oder drei Kameras zusammensetzen, die zueinander beabstandet, also einen Stereobasis aufweisend, in einem gemeinsamen Gehäuse fest miteinander gekoppelt zum Aufnehmen einer Szene aus jeweils unterschiedlichen, jedoch fixen relativen Perspektive untergebracht sind. Da der aufgenommene Flächenabschnitt nicht zwangsläufig charakteristische Bildmerkmale aufweist, die ein elektronisches Verarbeiten der Bilder ermöglichen, können Markierungen auf dem Flächenabschnitt aufgebracht werden. Diese Markierungen können

mittels eines von der 3D-Bildaufnahmeeinheit auf den
Flächenabschnitt projizierten strukturierten Lichtstrahls,
insbesondere Laserstrahls, der beispielsweise ein optisches
Raster oder ein optisches Markierungskreuz projiziert, erzeugt
5 werden. Regelmässig beinhalten derartige 3D-
Bildaufnahmeeinheiten auch eine Bildverarbeitungseinrichtung,
die aus den mehreren im Wesentlichen gleichzeitig
aufgenommenen Bildern unterschiedlicher Perspektiven ein
dreidimensionales Bild ableitet.

10

Derartige 3D-Bildaufnahmeeinheiten sind beispielsweise die
unter dem Markennamen „Optigo“ und „OptiCell“ bekannten
Bildaufnahmesysteme der Firma „CogniTens“, die drei in einem
gleichschenkligen Dreieck angeordnete Kameras enthalten, sowie
15 das System „Advent“ der Firma „ActiCM“ mit zwei nebeneinander
angeordneten hochauflösenden CCD-Kameras sowie einem Projektor
zur Projektion von strukturiertem Licht auf den aufzunehmenden
Abschnitt.

20

Die Bestimmung der Koordinaten von zu vermessenden,
aufgenommenen Bildelementen erfolgt in der Regel mittels
referenzierter Markierungen innerhalb des Bildes, von welchen
Markierungen aus die eigentliche 3D-Koordinatenmessung
stattfindet. Hierbei wird das Bildkoordinatensystem, welches
25 sich auf das aufgenommene dreidimensionale Bild bezieht und
somit auf die 3D-Bildaufnahmeeinheit bezogen ist, in das
Objektkoordinatensystem, innerhalb welchem das Objekt zu
vermessen ist und welchem beispielsweise das CAD-Modell des
Objekts zugrunde liegt, transformiert. Die Transformation
30 findet auf Basis von aufgenommenen Referenz-Markierungen
statt, deren Positionen im Objektkoordinatensystem bekannt
sind. Mit den aus dem Stand der Technik bekannten 3D-
Bildaufnahmeeinheiten werden hierbei Genauigkeiten von unter
0,5 Millimeter erreicht.

Weiters sind 3D-Scansysteme insbesondere in Form von 3D-Laserscannern bekannt, welche innerhalb eines Flächenbereichs eine Tiefenabtastung durchführen und eine Punktwolke erzeugen. Hierbei ist zwischen seriellen Systemen, bei welchen ein Laserstrahl eine Fläche Zeile für Zeile abtastet, parallelen Systeme, bei welchen eine Scanlinie über eine Fläche gefächert wird, und vollparallelen Systemen, sogenannten RIMs oder Range Imaging Systemen, die eine Vielzahl an Punkten innerhalb eines Flächenbereichs zeitgleich abtasten und somit ein Tiefenaufnahme des Flächenbereichs durchführen, zu unterscheiden. All diesen Systemen ist in der Regel gemein, dass die Tiefenabtastung mittels mindestens eines insbesondere über die Fläche bewegten Distanzmesslaserstrahls erfolgt. Insbesondere derartige serielle Systeme sind weit verbreitet und beispielsweise unter den Produktbezeichnungen „Leica HDS 6000“, „Leica ScanStation 2“, „Trimble GX 3D Scanner“, „Zoller + Fröhlich IMAGER 5003“ und „Zoller + Fröhlich IMAGER 5006“ kommerziell verfügbar.

Ein Problem jeder 3D-Bildaufnahmeeinheit bildet der bauartbedingt begrenzte Aufnahmebereich, innerhalb welchen eine Bildaufnahme mit der geforderten Auflösung erfolgen kann. Bei der dreidimensionalen Erfassung grösserer Objekte ist es daher unvermeidbar, mehrere einzelne dreidimensionale Aufnahmen aus unterschiedlichen Positionen und Ausrichtungen der 3D-Bildaufnahmeeinheit zu machen. Diese Vielzahl kleinerer Bildaufnahmen wird im Anschluss mittels Abgleich überlappender Bildbereiche und unter Zuhilfenahme von Markierungen innerhalb des aufgenommenen Flächenabschnitts zu einem grösseren dreidimensionalen Gesamtbild zusammengefügt. Unterschiedliche Verfahren zur Lösung dieser Aufgabe sind aus dem Stand der Technik bekannt. Ein allgemeines Problem bei diesen Verfahren besteht darin, dass die einzelnen dreidimensionalen Bilder,

welche zu einem grösseren Bild zusammengefügt werden sollen, einen Überlappungsbereich aufweisen müssen. Das diskrete Verändern der Position der 3D-Bildaufnahmeeinheit von einem mindestens einen Referenzpunkt aufweisenden ersten

5 Flächenabschnitt zu einem zweiten Flächenabschnitt, der vom ersten Flächenabschnitt distanziert ist und keinen Referenzpunkt enthält, ist mittels der bildverarbeitenden Systeme nicht möglich, falls keine weiteren Bilder aufgenommen wurden, welche die beiden Flächenabschnitte verbinden. Es ist

10 daher erforderlich, eine Vielzahl an Zwischenbildaufnahmen durchzuführen, um die beiden zu vermessenden, distanzierten Flächenabschnitte optisch zu verbinden und die zusammenhängende Bildverarbeitung zu ermöglichen. Durch die Aufnahme einer Vielzahl an dreidimensionalen Bildern, die

15 keinen unmittelbaren Messinhalt aufweisen, wird das gesamte Messerverfahren verlangsamt und Speicher- und Rechenressourcen beansprucht. Weiters wirken sich die zwangsläufig mit geringen Messfehlern behafteten Koordinatenmessungen innerhalb der Bildaufnahme beim Zusammensetzen der Vielzahl von Bildern

20 drastisch auf die Messgenauigkeit aus, insbesondere im Falle entfernter Referenzpunkte.

Die Verwendung einer Vielzahl an Referenzpunkten, die bekannte Positionen im Objektkoordinatensystem haben, ist aufgrund des

25 begrenzten Sichtfeldes der Kameras somit unvermeidbar. Ein Vorteil der beschriebenen rein photogrammetrischen Systeme besteht darin, dass die absolute Position und Ausrichtung der einzelnen Kameras der 3D-Bildaufnahmeeinheit im Objektkoordinatensystem nicht ermittelt werden muss, denn die

30 absolute Positionsbestimmung der aufgenommenen Bildpunkte erfolgt aus der Kenntnis der Position der ebenfalls aufgenommenen Referenzpunkte im Bild, der relativen Ausrichtung der Kameras zueinander sowie der über Triangulation berechneten Relativpositionen der zu

vermessenden Punkte relativ zu den Referenzpunkten im Bild. Das Vermessungssystem kann sich somit auf bildkalibrierte Kameras, deren Relativlage zueinander bekannt ist, und eine Bildverarbeitungseinrichtung begrenzen.

5

Ein Nachteil all dieser Systeme besteht darin, dass aufgrund des begrenzten Sichtfelds der Kameras und der begrenzten Bildauflösung ein Verstellen des Sichtfelds entweder durch Schwenken oder Positionsverändern der Kameras bzw. des zu
10 vermessenden Objekts oft nicht vermeidbar ist. Dies ist vor allem beim Vermessen grösserer, hochpräzise zu vermessender Objekte der Fall, da ein bestimmter Abstand der Kameras zum Objekt aufgrund der begrenzten Bildauflösung zur Einhaltung der geforderten Messgenauigkeit nicht überschritten werden
15 darf, jedoch das Sichtfeld der Kamera bei einer derartigen Objektnähe nur die Aufnahme eines Teils des Objekts zulässt. Somit ist es entweder erforderlich, eine Vielzahl an Referenzpunkten zu verwenden, so dass bei jeder Bildaufnahme eine entsprechende Anzahl an Referenzpunkten, bevorzugt
20 mindestens drei Referenzpunkte, im Sichtfeld liegt, oder auf die Positionen bereits zuvor bestimmter Objektpunkte, insbesondere Markierungen auf dem Objekt, zurückzugreifen.

In diesem Fall werden, wie oben beschrieben, mehrere einzelne
25 dreidimensionale Aufnahmen aus unterschiedlichen Positionen und Ausrichtungen der 3D-Bildaufnahmeeinheit gemacht. Diese Vielzahl der kleineren Bildaufnahmen wird im Anschluss mittels Abgleich überlappender Bildbereiche und unter Zuhilfenahme von Markierungen innerhalb des aufgenommenen Flächenabschnitts zu
30 einem grösseren dreidimensionalen Gesamtbild zusammengefügt. Dies kostet Zeit und erfordert die Verwendung an sich nicht zu vermessender Markierungen.

Weiters sind Messsysteme und Verfahren aus dem Stand der Technik bekannt, bei welchen die 3D-Bildaufnahmeeinheit von dem Kopf eines Industrieroboters oder einer Portal-Koordinatenmessmaschine getragen wird und verstellbar ist.

5 Aufgrund des hohen Gewichts einer hochwertigen und hochauflösenden 3D-Bildaufnahmeeinheit, das zum Teil über 10 Kilogramm beträgt, ist eine präzise Erfassung der Position des 3D-Bildaufnahmeeinheit mit der erforderlichen Genauigkeit, die der Bildaufnahmegenauigkeit gleichkommt, nicht möglich, da
10 dies einen derart stabilen Aufbau des Handhabungssystems erfordern würde, dass der Einsatzbereich der 3D-Bildaufnahmeeinheit auf stationäre Systeme begrenzt wäre. Industrieroboter sind aufgrund ihrer verhältnismässig geringen Messgenauigkeit, die erheblich geringer ist als die einer
15 präzisen 3D-Bildaufnahmeeinheit, zur externen Referenzierung ungeeignet. Wiederum sind Portal-Koordinatenmessmaschinen nicht zum Tragen schwerer Lasten ausgelegt und liefern bei starker mechanischer Belastung keine zur Referenzierung
brauchbaren Messergebnisse. Aus diesem Grunde können die vom
20 Handhabungssystem allfällig gelieferten Positionsmesswerte, welche Aufschluss über die absolute und/oder relative Position der 3D-Bildaufnahmeeinheit geben könnten, zur Referenzierung der Bildaufnahmen, insbesondere mehrere dreidimensionaler Bildaufnahmen unterschiedlicher, nicht zusammenhängender
25 Flächenabschnitt, nicht herangezogen werden.

Zwar eignen sich die beschriebenen Messsysteme auch für das hochpräzise Positionieren von Objekten im Raum mittels Handhabungssystemen und werden hierzu auch eingesetzt, jedoch
30 sind die bisher aus dem Stand der Technik bekannten Systeme mit zahlreichen Nachteilen behaftet. Aufgrund der oben beschriebenen, im Wesentlichen rein über Bildverarbeitung erfolgenden Messmethode benötigen die Verfahren relativ viel Zeit und erfordern das Erfassen an sich nicht zu vermessender

Referenz- oder Hilfsmarkierungen. Aufgrund des begrenzten Sichtfeldes der Kameras sind die 3D-Bildaufnahmeeinheiten meist in unmittelbarer Prozessnähe angeordnet, in der Regel auf einem Roboterarm oder in geringem Abstand zum Objekt.

5 Wegen der damit verbundenen Prozessnähe ist die 3D-Bildaufnahmeeinheit allfälligen Partikeln und thermischen Einflüssen, die durch den Prozess - beispielsweise beim Schweißen - entstehen, ausgesetzt. Ebenfalls aufgrund der Prozessnähe müssen weitere Handhabungssysteme auf das

10 Handhabungssystem der 3D-Bildaufnahmeeinheit abgestimmt sein, um Kollisionen zu vermeiden. Ein Bewegen der 3D-Bildaufnahmeeinheit und die damit verbundenen Neureferenzierung erfordert verhältnismässig viel Zeit und verlangsamt den gesamten Prozessablauf. Da die Relativlage der

15 mehreren Kameras zur dreidimensionalen Bilderfassung stets bekannt sein muss, wird ein unabhängiges Ausrichten der Kameras vermieden. Anstatt dessen werden die Kameras bevorzugt mechanisch miteinander gekoppelt. Da eine prozessferne Positionierung der 3D-Bildaufnahmeeinheit einen entsprechend

20 grossen Abstand der Kameras zueinander erfordert, um eine ausreichende Stereobasis zur dreidimensionalen Bilderfassung zu ermöglichen, ist eine mechanische Kopplung der Kameras in diesem Fall nicht mehr möglich. Somit wird bisher auf eine prozessferne Anordnung der 3D-Bildaufnahmeeinheit gänzlich

25 verzichtet. Die beiden Ziele, einerseits ein hochpräzises, berührungsloses 3D-Messsystem mit einer Genauigkeit von vorzugsweise unter 0,1 Millimeter zum hochpräzisen Positionieren von Objekten mittels Industrierobotern einzusetzen, andererseits ein nicht unmittelbar dem Prozess

30 ausgesetztes Messsystem, das flexibel zu handhaben ist und insbesondere frei positioniert werden kann, stellen somit einen bisher nicht hinreichend gelösten Zielkonflikt im Bereich der industriellen Objektpositionierung mittels Industrierobotern dar.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein sich durch Flexibilität, Präzision und hohe Prozessgeschwindigkeit auszeichnendes Verfahren und ein entsprechendes System zum
5 hochpräzisen Positionieren mindestens eines Objekts in eine Lage im Raum mittels eines Industrieroboters zur Verfügung zu stellen.

10 Diese Aufgabe wird durch die Verwirklichung der Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst. Merkmale, die die Erfindung in alternativer oder vorteilhafter Weise weiterbilden, sind den abhängigen Patentansprüchen zu entnehmen.

15 Das erfindungsgemäße Verfahren wird zunächst allgemein beschrieben. Mögliche und bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung werden im Anschluss allgemein unter Zuhilfenahme der Figuren, die schematisch dargestellte Ausführungsbeispiele zeigen, erläutert.

20

Das Verfahren zum hochpräzisen Positionieren mindestens eines Objekts in eine Endlage im Raum wird mittels eines Industrieroboters, einer ersten optischen Aufnahmeeinrichtung und mindestens einer zweiten optischen Aufnahmeeinrichtung
25 durchgeführt. Der erste Industrieroboter ist in vorgebbare Stellungen verstellbar. Er ist innenkalibriert sowie in dem dreidimensionalen Raum-Koordinatensystem kalibriert und zu diesem in Bezug gebracht. Die erste optische Aufnahmeeinrichtung, die in einem dreidimensionalen Raum-
30 Koordinatensystem kalibriert und in einer bekannten ersten Position mit einer bekannten Ausrichtung positioniert ist, umfasst eine optisch kalibrierte erste Kamera zur Bildaufnahme innerhalb eines bestimmten ersten Sichtfelds, eine erste Antriebseinheit zum - ein Verstellen des ersten Sichtfelds

bewirkenden - Ausrichten der ersten Kamera und eine im Raum-Koordinatensystem kalibrierte erste Winkelmesseinheit zum hochpräzisen Erfassen der Winkelausrichtung der ersten Kamera, so dass das erste Sichtfeld im Raum-Koordinatensystem

5 bestimmbar ist. Die mindestens eine zweite optische Aufnahmeeinrichtung, die in dem dreidimensionalen Raum-Koordinatensystem kalibriert und in einer bekannten zweiten Position mit einer bekannten Ausrichtung positioniert ist, umfasst eine optisch kalibrierte zweite Kamera zur

10 Bildaufnahme innerhalb eines bestimmten zweiten Sichtfelds, eine zweite Antriebseinheit zum - ein Verstellen des zweiten Sichtfelds bewirkenden - Ausrichten der zweiten Kamera und eine im Raum-Koordinatensystem kalibrierte zweite Winkelmesseinheit zum hochpräzisen Erfassen der

15 Winkelausrichtung der zweiten Kamera, so dass das zweite Sichtfeld im Raum-Koordinatensystem bestimmbar ist. Die mindestens zwei Positionen, also die der ersten und der zweiten Aufnahmeeinrichtung, sind derart beabstandet, dass eine dreidimensionale Bildaufnahme des mindestens einen

20 Objekts mittels der mindestens zwei Aufnahmeeinrichtungen durch zumindest teilweise überscheidende Sichtfelder ermöglicht ist.

Das Verfahren umfasst folgende Schritte:

25

Ein erstes Objekt, das bekannte optisch erfassbare erste Merkmale aufweist, wird von dem ersten Industrieroboter innerhalb einer Greiftoleranz gegriffen und gehalten.

30

Eine derartige, die Greiftoleranz korrigierende erste Abgleichgrösse wird für den ersten Industrieroboter bestimmt, so dass das erste Objekt im Raum-Koordinatensystem durch Vorgabe einer Stellung des ersten Industrieroboters abgeglichen verstellbar ist. Dieses Bestimmen der ersten

Abgleichgrösse erfolgt durch folgende Schritte: Ausrichten der mindestens zwei Kameras jeweils mittels der Antriebseinheit mit sich zumindest teilweise überschneidenden Sichtfeldern der Kameras auf zumindest einen Teil der ersten Merkmale des ersten Objekts, das in einer ersten Abgleichstellung des ersten Industrieroboters gehaltenen wird. Aufnehmen erster Bildaufnahmen mittels der beiden Kameras. Bestimmen der Lage des ersten Objekts im Raum-Koordinatensystem in der ersten Abgleichstellung des ersten Industrieroboters aus den Positionen der Aufnahmeeinrichtungen, den durch die Winkelmesseinheiten erfassten Winkelausrichtungen der Kameras, den ersten Bildaufnahmen und der Kenntnis der ersten Merkmale auf dem ersten Objekt. Bestimmen der ersten Abgleichgrösse durch Heranziehen der ersten Abgleichstellung des ersten Industrieroboters und zumindest der bestimmten Lage des ersten Objekts in der ersten Abgleichstellung des ersten Industrieroboters.

Das erste Objekt wird hochpräzise in eine erste Endlage verstellt durch die folgenden, sich wiederholenden Schritte, bis die erste Endlage in einer vorgegebenen Toleranz erreicht ist: Aufnehmen weiterer erster Bildaufnahmen mit den Kameras. Bestimmen der aktuellen Lage des ersten Objekts im Raum-Koordinatensystem aus den Positionen der Aufnahmeeinrichtungen, den durch die Winkelmesseinheiten erfassten Winkelausrichtungen der Kameras, den weiteren ersten Bildaufnahmen und der Kenntnis der ersten Merkmale auf dem ersten Objekt. Berechnen der Lagedifferenz zwischen der aktuellen Lage des ersten Objekts und der ersten Endlage. Berechnen einer neuen Sollstellung des ersten Industrieroboters unter Berücksichtigung der ersten Abgleichgrösse aus der aktuellen Stellung des ersten Industrieroboters und einer mit der Lagedifferenz verknüpften

Grösse, und Verstellen des ersten Industrieroboters in die neue Sollstellung.

Das erfindungsgemässe System zum hochpräzisen Positionieren
5 mindestens eines Objekts in eine Endlage im Raum mittels eines Industrieroboters umfasst einen ersten Industrieroboter, eine erste optische Aufnahmeeinrichtung, mindestens eine zweite optische Aufnahmeeinrichtung und eine Steuervorrichtung. Der erste Industrieroboter ist derart kalibriert, dass er in
10 vorgebbare Stellungen verstellbar ist. Hierzu ist der Industrieroboter innenkalibriert und zu dem Raum-Koordinatensystem in Bezug gebracht. Die erste optische Aufnahmeeinrichtung, die in einem dreidimensionalen Raum-Koordinatensystem kalibriert und in einer bekannten ersten
15 Position mit einer bekannten Ausrichtung positioniert ist, hat eine optisch kalibrierte erste Kamera zur Bildaufnahme innerhalb eines bestimmten ersten Sichtfelds, eine erste Antriebseinheit zum - ein Verstellen des ersten Sichtfelds bewirkenden - Ausrichten der ersten Kamera und eine im Raum-
20 Koordinatensystem kalibrierte erste Winkelmesseinheit zum hochpräzisen Erfassen der Winkelausrichtung der ersten Kamera, so dass das erste Sichtfeld im Raum-Koordinatensystem bestimmbar ist. Die mindestens eine zweite optische Aufnahmeeinrichtung, die in dem dreidimensionalen Raum-
25 Koordinatensystem kalibriert und in einer bekannten zweiten Position mit einer bekannten Ausrichtung positioniert ist, hat eine optisch kalibrierte zweite Kamera zur Bildaufnahme innerhalb eines bestimmten zweiten Sichtfelds, eine zweite Antriebseinheit zum - ein Verstellen des zweiten Sichtfelds
30 bewirkenden - Ausrichten der zweiten Kamera und eine im Raum-Koordinatensystem kalibrierte zweite Winkelmesseinheit zum hochpräzisen Erfassen der Winkelausrichtung der zweiten Kamera, so dass das zweite Sichtfeld im Raum-Koordinatensystem bestimmbar ist. Die mindestens zwei Positionen der ersten und

zweiten Aufnahmeeinrichtung sind derart beabstandet, dass eine dreidimensionale Bildaufnahme des mindestens einen Objekts mittels der mindestens zwei Aufnahmeeinrichtungen durch zumindest teilweise überschneidende Sichtfelder ermöglicht ist.

5 Die Steuervorrichtung weist eine zur Bildverarbeitung ausgebildete Datenverarbeitungseinrichtung auf. Die Steuervorrichtung steht mit dem ersten Industrieroboter und den mindestens zwei optischen Aufnahmeeinrichtungen derart in Datenverbindung, dass der Steuervorrichtung die von den
10 Kameras aufgenommene Bildaufnahmen zugeführt werden, der Steuervorrichtung die von den Winkelmesseinheiten erfassten Winkelausrichtungen der Kameras zugeführt werden, die Antriebseinheiten mittels der Steuervorrichtung zum Ausrichten der Kameras angesteuert werden und der erste Industrieroboter
15 in Stellungen, die durch die Steuervorrichtung vorgegeben werden, verstellt wird.

Die Steuervorrichtung und deren Datenverarbeitungseinrichtung sind derart ausgebildet und stehen derart mit den genannten
20 Komponenten in der Datenverbindung, dass folgende Schritte durch Signalaufnahme, Signalauswertung, Signalberechnung und Signalausgabe ausgeführt werden:

Ein erstes Objekt, das der Steuervorrichtung bekannte optisch
25 erfassbare erste Merkmale aufweist, wird von dem ersten Industrieroboter innerhalb einer Greiftoleranz gegriffen und gehalten.

Eine derartige, die Greiftoleranz korrigierende erste
30 Abgleichgrösse wird für den ersten Industrieroboter durch die Steuervorrichtung bestimmt, so dass das erste Objekt im Raum-Koordinatensystem durch Vorgabe einer Stellung des ersten Industrieroboters abgeglichen verstellbar ist. Das Bestimmen dieser ersten Abgleichgrösse mittels der Steuervorrichtung

erfolgt durch die Schritte: Ausrichten der mindestens zwei Kameras jeweils mittels der Antriebseinheit mit sich zumindest teilweise überschneidenden Sichtfeldern auf zumindest einen Teil der ersten Merkmale des ersten Objekts, das in einer
5 ersten Abgleichstellung des ersten Industrieroboters gehaltenen wird. Aufnehmen erster Bildaufnahmen mittels der Kameras. Bestimmen der Lage des ersten Objekts im Raum-Koordinatensystem in der ersten Abgleichstellung des ersten Industrieroboters aus den Positionen der
10 Aufnahmeeinrichtungen, den durch die Winkelmesseinheiten erfassten Winkelausrichtungen der Kameras, den ersten Bildaufnahmen und der Kenntnis der ersten Merkmale auf dem ersten Objekt. Bestimmen der ersten Abgleichgrösse durch Heranziehen der ersten Abgleichstellung des ersten
15 Industrieroboters und zumindest der bestimmten Lage des ersten Objekts in der ersten Abgleichstellung des ersten Industrieroboters.

Das erste Objekt wird durch die Steuervorrichtung hochpräzise
20 in eine erste Endlage durch die sich solange wiederholenden Schritte verstellt, bis die erste Endlage in einer vorgegebenen Toleranz erreicht ist: Aufnehmen weiterer erster Bildaufnahmen durch die Kameras. Bestimmen der aktuellen Lage des ersten Objekts im Raum-Koordinatensystem aus den
25 Positionen der Aufnahmeeinrichtungen, den durch die Winkelmesseinheiten erfassten Winkelausrichtungen der Kameras, den weiteren ersten Bildaufnahmen und der Kenntnis der ersten Merkmale auf dem ersten Objekt. Berechnen der Lagedifferenz zwischen der aktuellen Lage des ersten Objekts und der ersten
30 Endlage. Berechnen einer neuen Sollstellung des ersten Industrieroboters unter Berücksichtigung der ersten Abgleichgrösse aus der aktuellen Stellung des ersten Industrieroboters und einer mit der Lagedifferenz verknüpften

Grösse. Verstellen des ersten Industrieroboters in die neue Sollstellung.

- 5 Das erfindungsgemässe Verfahren und das System werden im Folgenden anhand von schematisch dargestellten Ausführungsbeispielen beschrieben.

Im Einzelnen zeigen

10

Figur 1a das erfindungsgemässe Verfahren und System mit zwei Aufnahmeeinrichtungen zum Positionieren eines ersten Objekts;

Figur 1b ein Flussdiagramm des Verfahrensablaufs;

15

Figur 2 das Verfahren und System mit zwei Aufnahmeeinrichtungen und einer Emissionseinrichtung zum Positionieren eines ersten Objekts;

Figur 3 das Verfahren und System mit zwei

20

Industrierobotern zum Positionieren eines ersten und zweiten Objekts; und

Figur 4 das Verfahren und System mit drei

Industrierobotern zum Positionieren eines ersten und zweiten Objekts sowie eines

25

Bearbeitungswerkzeugs.

Die Figur 1a zeigt eine erste Ausführungsform des Systems und Verfahrensablaufs zum hochpräzisen Positionieren eines ersten Objekts in eine erste Endlage im Raum. Die Verfahrensschritte sind in Figur 1b veranschaulicht. Die Figuren 1a und 1b werden
30 gemeinsam erläutert.

Das erfindungsgemässe Verfahren dient zum hochpräzisen Positionieren mindestens eines Objekts in eine Endlage im Raum

mittels mindestens eines Industrieroboters. Bei der Endlage im Raum handelt es sich um eine Position und Ausrichtung, die das Objekt hochpräzise - insbesondere mit einer Genauigkeit von unter 0,5 Millimeter, vorzugsweise unter 0,2 Millimeter, im Speziellen unter 0,1 Millimeter - einzunehmen hat. Als Endlage wird allgemein diejenige Position und Ausrichtung des Objekts verstanden, in welche das Objekt im Rahmen des Verfahrens gebracht werden soll. Selbstverständlich kann das Objekt im Anschluss in eine oder beliebig viele weitere, neue Endlagen gebracht werden.

Die Verfahrenskomponenten umfassen einen ersten Industrieroboter 11, eine erste optische Aufnahmeeinrichtung 1_a und mindestens eine zweite optische Aufnahmeeinrichtung 1_b. Zur Durchführung des Verfahrens mittels des Systems ist weiters eine Steuervorrichtung 9 vorgesehen.

Der erste Industrieroboter 11 ist zum Greifen eines ersten Objekts 12 ausgebildet. Beispielsweise handelt es sich bei dem Industrieroboter 11 um einen Gelenkarmroboter mit einem Greifer 11a, der innerhalb sechs Freiheitsgraden verstellbar ist. Der Greifer 11a ist als pneumatischer Greifer, beispielsweise zum Greifen eines Blechstücks, ausgebildet. Bei dem Greifer kann es sich jedoch auch um einen mechanischen Greifer, insbesondere Zangengreifer, oder sonstigen Greifer zum mechanischen Koppeln eines verstellbaren Glieds des Industrieroboters 11 handeln. Der Greifer 11a ist in vorgebbare Stellungen verstellbar, indem dem Industrieroboter 11 eine Sollstellung des Greifers 11a vorgegeben wird. Hierzu verfügt der Industrieroboter 11 über interne Mess-, Regel- und Koordinatentransformationssysteme. Unter einem Industrieroboter 11 ist allgemein ein Handhabungssystem, wie eingangs beschrieben, zu verstehen, das zum Greifen und Positionieren eines Objekts geeignet ist.

Die erste optische Aufnahmeeinrichtung 1_a sowie die zweite optische Aufnahmeeinrichtung 1_b sind in einem dreidimensionalen Raum-Koordinatensystem kalibriert und in einer bekannten ersten Position P_a bzw. zweiten Position P_b jeweils mit einer bekannten Ausrichtung positioniert. Somit sind jeweils sowohl die Position wie auch die Winkelausrichtung mittelbar oder unmittelbar in demjenigen Koordinatensystem, in welchem auch das erste Objekt 12 zu positionieren ist, bekannt. Die optischen Aufnahmeeinrichtungen 1_a und 1_b sind in diesem Raum-Koordinatensystem kalibriert. Sie besitzen jeweils eine optisch kalibrierte Kamera, nämlich eine erste Kamera 2_a und eine zweite Kamera 2_b , zur Bildaufnahme jeweils innerhalb eines bestimmten Sichtfelds 8_a bzw. 8_b , so dass innerhalb des jeweiligen Sichtfelds 8_a bzw. 8_b optische Messungen in der Bildaufnahme erfolgen können.

Zur einfacheren Darstellung werden die im Ausführungsbeispiel identischen Aufnahmeeinrichtungen 1_a und 1_b gemeinsam beschrieben, wobei sich der Index „a“ auf die erste Aufnahmeeinrichtung 1_a und der Index „b“ auf die zweite Aufnahmeeinrichtung 1_b bezieht.

Unter einer Kamera ist allgemein eine elektronische Vorrichtung zur Aufnahme optisch erfassbarer Punkte zu verstehen, wobei die Kameras 2_a und 2_b jeweils über die hierzu erforderliche Ausstattung, insbesondere ein Objektiv und entsprechende Bildaufnahmeelemente, insbesondere einen CCD- oder CMOS-Bildsensor und eine entsprechende Elektronik, verfügen. Bei dem Objektiv kann es sich um ein beliebiges Objektiv, beispielsweise ein Fixfokus-Objektiv, ein Zoom-Objektiv oder ein Vario-Objektiv, insbesondere mit Motorzoom und Autofokus, handeln. Die Kameras sind innenkalibriert, so

dass allfällige Fehler insbesondere in der Optik, den
Bildsensoren oder der Elektronik, beispielsweise
Verzeichnungen etc. berücksichtigt und ausgeglichen werden
können. Somit eignen sich die Kameras zur photogrammetrischen
5 Messung. Weiters besitzen die optischen Aufnahmeeinrichtungen
 1_a und 1_b jeweils mindestens eine Antriebseinheit 3_a bzw. 3_b
zum - ein Verstellen des jeweiligen Sichtfelds 8_a bzw. 8_b der
Kamera 2_a und 2_b bewirkenden - Ausrichten der jeweiligen
Kamera 2_a und 2_b . Beispielsweise ist die jeweilige
10 Antriebseinheit 3_a bzw. 3_b eine Schwenkeinheit zum Schwenken
der Kamera 2_a bzw. 2_b um zwei Schwenkachsen. Bei diesen
Schwenkachsen kann es sich in einer möglichen aber nicht
notwendigen Ausführungsvariante um jeweils eine in Bezug auf
das Raum-Koordinatensystem horizontale Kippachse H_a bzw. H_b
15 und eine vertikale Stehachse V_a bzw. V_b handeln.

Weiters besitzen die optischen Aufnahmeeinrichtungen 1_a und 1_b
jeweils eine im Raum-Koordinatensystem kalibrierte
Winkelmesseinheit 4_a bzw. 4_b zum hochpräzisen Erfassen der
20 Winkelausrichtung der jeweiligen Kamera 2_a und 2_b , so dass das
jeweilige Sichtfeld 8_a bzw. 8_b im Raum-Koordinatensystem
bestimmbar ist. Aufgrund der inneren, sich auf die Kamera und
die Winkelmesseinheit beziehende Kalibrierung der beiden
Aufnahmeeinrichtungen 1_a und 1_b sowie der äusseren
25 Referenzierung der jeweiligen optischen Aufnahmeeinrichtung 1_a
bzw. 1_b im Raum-Koordinatensystem definiert jeder Bildpunkt
hochpräzise eine Gerade im Raum-Koordinatensystem, die sich
erstens aus der Lage des Bildpunkts auf dem Bildsensor, also
der Bildaufnahme, zweitens aus der mittels der jeweiligen
30 Winkelmesseinheit 4_a bzw. 4_b erfassten Ausrichtung der
jeweiligen Kamera 2_a bzw. 2_b und drittens der bekannten
Position der jeweiligen optischen Aufnahmeeinrichtung 1_a bzw.
 1_b sowie viertens den jeweiligen Kalibrierungsparametern
ergeben.

Die Winkelmesseinheiten 4_a und 4_b erfassen im gezeigten Ausführungsbeispiel jeweils die horizontale Winkelausrichtung α_a bzw. α_b um die Stehachse V_a bzw. V_b und die vertikale Winkelausrichtung β_a und β_b um die Kippachse H_a und H_b im Raum-Koordinatensystem. Die horizontale Kippachse H_a bzw. H_b und die vertikale Stehachse V_a bzw. V_b schneiden sich im Wesentlichen. Somit sind die mindestens zwei Aufnahmeeinrichtungen 1_a und 1_b jeweils als eine Art Video-Theodolit ausgebildet, wobei hierunter ein Theodolit mit einer Kamera, die entweder koaxial in den Theodolit eingebunden ist oder nicht-koaxial insbesondere auf dem Fernrohr des Theodolits angeordnet ist, zu verstehen ist.

Die Positionen P_a und P_b und Aussenkalibrierungsparameter der Aufnahmeeinrichtungen 1_a und 1_b können durch referenzierte externe Messsysteme, beispielsweise optische Messsysteme wie einen Lasertracker 14, bestimmt werden, welche die jeweilige Position der Aufnahmeeinrichtungen 1_a und 1_b im Raum bestimmen. Dies kann durch Zielmarken, welche auf den Aufnahmeeinrichtungen 1_a und 1_b angebracht sind, erfolgen. Auch die externe Kalibrierung der Ausrichtungen kann mittels externer Messsysteme erfolgen. Weiters ist es möglich, die Aufnahmeeinrichtungen 1_a und 1_b auf Referenzpunkten, deren Positionen hochpräzise im Raum-Koordinatensystem bekannt sind, insbesondere mittels Zwangszentrierungen zu positionieren. Alternativ besteht die Möglichkeit, dass sich die Aufnahmeeinrichtungen 1_a und 1_b mittels eigener Messsysteme im Raum referenzieren und kalibrieren. Hierzu weisen die Aufnahmeeinrichtungen 1_a und 1_b jeweils einen Laserdistanzmesser 5_a und 5_b auf, der gemeinsam mit der jeweiligen Kamera 2_a bzw. 2_b mittels der jeweiligen Antriebseinheit 3_a bzw. 3_b ausrichtbar ist und dessen Winkelausrichtung mittels der jeweiligen im Raum-

Koordinatensystem kalibrierten Winkelmesseinheit 4_a bzw. 4_b hochpräzise erfassbar ist. In anderen Worten handelt es sich bei den Aufnahmeeinrichtungen 1_a bzw. 1_b jeweils um Video-Tachymeter, also Theodolite mit Laserdistanzmesser, mit sehr
5 hochauflösenden Kameras. Selbstverständlich ist es möglich, andere geeignete Schwenk- und Messvorrichtungen zum Orientieren der Kameras und exakten Erfassen der Ausrichtungen zu verwenden. Jedoch sei darauf hingewiesen, dass ein Theodolit, ein Tachymeter oder eine so genannte Totalstation
10 aufgrund der Winkelmessgenauigkeit zur Verwendung prädestiniert sind.

Die Positionen P_a und P_b der jeweiligen Aufnahmeeinrichtung 1_a bzw. 1_b im Raum-Koordinatensystem werden durch Zielen auf
15 ortsfeste Zielmarken T mittels des jeweiligen Laserdistanzmessers 5_a bzw. 5_b bestimmt. Alternativ oder zusätzlich kann die Selbstreferenzierung über Triangulation durch Bildaufnahme der ortsfesten Zielmarken und Bildverarbeitung stattfinden.

20

Die erste Position P_a und die zweite Position P_b sind derart beabstandet und die optischen Aufnahmeeinrichtung 1_a bzw. 1_b sind derart ausgebildet, dass eine dreidimensionale Bildaufnahme des mindestens einen Objekts mittels der
25 mindestens zwei Aufnahmeeinrichtungen 1_a und 1_b durch zumindest teilweise überscheidende Sichtfelder 8_a und 8_b ermöglicht ist. In anderen Worten ist die Stereobasis derart, dass die Aufnahme eines dreidimensionalen Bildes, wie eingangs beschrieben, mit einer den Bildpunkten zugeordneten
30 Tiefeninformation mit der geforderten Genauigkeit möglich ist. Das Gewinnen einer Tiefeninformation zweier aus unterschiedlichen Perspektiven aufgenommener elektronischer Bilder mittels Bildverarbeitung ist aus dem Stand der Technik

bekannt und braucht an dieser Stelle nicht näher erläutert werden.

Die Steuervorrichtung 9 weist eine zur Bildverarbeitung
5 ausgebildete Datenverarbeitungseinrichtung auf. Die
Steuervorrichtung 9 steht mindestens mit dem ersten
Industrieroboter 11 und den mindestens zwei optischen
Aufnahmeeinrichtungen 1_a und 1_b in Datenverbindung. Der
10 Steuervorrichtung 9 werden die von den Kameras 2_a und 2_b
aufgenommene Bildaufnahmen zur Durchführung der
Bildverarbeitung und Gewinnung der Tiefeninformation
zugeführt. Weiters erhält die Steuervorrichtung 9 die von den
Winkelmesseinheiten 4_a und 4_b erfassten Winkelausrichtungen
der Kameras 2_a und 2_b als Eingangssignal. Die
15 Antriebseinheiten 3_a und 3_b sind mittels der Steuervorrichtung
9 zum Ausrichten der Kameras 2_a und 2_b angesteuert. Der erste
Industrieroboter 11 kann in Stellungen, die durch die
Steuervorrichtung 9 vorgegeben werden, verstellt werden. Die
hierzu erforderliche Datenverbindung kann mittels
20 Spannungssignalen, Funksignalen, optischer Signale oder
sonstiger Kommunikationswege erfolgen. Die Referenz- und
Kalibrierungsparameter, insbesondere die einzelnen Positionen,
Ausrichtungen und Abmessungen der beteiligten Komponenten,
sind - sofern zur Durchführung des Verfahrens erforderlich -
25 in der Steuervorrichtung 9 gespeichert. Bei der
Steuervorrichtung 9 kann es sich um eine Einheit,
beispielsweise einen Personal Computer mit geeigneten
Schnittstellen, als auch um eine Mehrzahl miteinander
kommunizierender oder vernetzter, örtlich getrennter
30 Einzelkomponenten, die beispielsweise Bestandteil einzelner
Vorrichtungen sind, handeln. Insbesondere ist es möglich, dass
die abstrakt zu verstehende Steuervorrichtung 9 Bestandteil
der optischen Aufnahmeeinheiten 1_a und 1_b und/oder des ersten
Industrieroboters 11 ist.

Das erste Objekt 12, das in die Endlage im Raum positioniert werden soll, weist bekannte optisch erfassbare erste Merkmale 13 auf. Es kann sich bei diesen ersten Merkmalen 13 um beliebige Merkmale, die mittels der Kameras 2_a und 2_b der Aufnahmeeinheiten 1_a und 1_b erfasst werden können, handeln. Unter dem Begriff „optisch erfassbar“ ist also die Erfassbarkeit durch die Kameras 2_a und 2_b zu verstehen und nicht zwangsläufig die Sichtbarkeit durch das menschliche Auge.

Die optisch erfassbaren Merkmale können von Merkmalen des Objekt, insbesondere dessen Form, Oberflächenverlauf und Oberflächenbeschaffenheit, beispielsweise Ecken, Kanten, Bohrungen, Aussparungen und Sicken, gebildet werden. Alternativ oder zusätzlich können die Merkmale auf dem Objekt angebracht sein, beispielsweise in Form von Klebe- oder Farbmarkierungen. Vorzugsweise erstrecken sich die Merkmale in mindestens zwei Dimensionen, beispielsweise in Form dreier nicht auf einer Geraden liegender Punkte. Die Merkmale sind derart, dass deren Positionsbestimmungen die Lage, also die Position und Ausrichtung des Objekts im Raum möglichst eindeutig definieren.

Bei dem Objekt 12 handelt es sich um ein beliebiges, im Raum hochpräzise zu positionierendes Objekt, das von dem ersten Industrieroboter 11 gegriffen und gehalten werden kann, beispielsweise um ein Blechteil.

Im Folgenden wird der erfindungsgemäße Verfahrensablauf beschrieben, wobei auch auf die Figur 1b, die den Verfahrensablauf in Form eines Flussdiagramms darstellt, verwiesen sein.

Im Schritt 50 wird das erste Objekt 12, das sich beispielsweise in einer Lagerposition befindet, von dem ersten Industrieroboter 11 mittels dessen Greifers 11a innerhalb einer Greiftoleranz gegriffen und gehalten. Die Greiftoleranz liegt über der Toleranz, innerhalb welcher das erste Objekt 12 in der Endlage positioniert werden soll. Insbesondere pneumatische Greifer ohne Zwangszentrierung zum Objekt ermöglichen kein hochpräzises Greifen, so dass die relative Lage des Objekts zum Greifer eine Toleranz aufweist, die auszugleichen, also zu korrigieren ist.

Im optionalen, in einer Weiterbildung der Erfindung erfolgenden Schritt 51 wird der erste Industrieroboter 11, der das erste Objekt 12 mit dem unbekanntem Greiffehler hält, in eine erste Abgleichstellung zum Bestimmen einer ersten Abgleichgröße verstellt. In dieser Abgleichstellung des ersten Industrieroboters 11 ist das erste Objekt 12 für die beiden Kameras 1_a und 1_b zur dreidimensionalen Bildaufnahme gut sichtbar. Sofern diese Sichtbarkeit bereits nach dem Greifen gewährleistet ist und sich das erste Objekt 12 bereits in einer Position befindet, kann dieser Schritt 51 auch entfallen.

Im darauf folgenden Schritt 52 wird eine erste Abgleichgröße ermittelt, um diese Greiftoleranz zu korrigieren. Diese die Greiftoleranz korrigierende erste Abgleichgröße für den ersten Industrieroboter 11 dient dazu, dass das erste Objekt 12 im Raum-Koordinatensystem durch Vorgabe einer Stellung des ersten Industrieroboters 11 abgeglichen verstellbar ist. Unter einem abgeglichenen Verstellen ist zu verstehen, dass bei der Vorgabe der Stellung, welche der Greifer 11a des Roboters einnehmen soll, der Greiffehler, mit welchem das Teil gegriffen wurde, korrigiert wird. Der Greiffehler wird also durch eine Korrekturgröße, die erste Abgleichgröße,

berücksichtigt. Der Greiffehler kann in allen 6 Freiheitsgraden erfolgen, so dass die Abgleichgrösse entsprechende Werte insbesondere in Form eines Tensors annehmen kann. Im Idealfall, also bei exaktem Greifen des ersten Objekts durch den Greifer 11a, wäre die Abgleichgrösse gleich Null.

Das Bestimmen der ersten Abgleichgrösse erfolgt durch folgende Teilschritte. Zunächst werden die mindestens zwei Kameras 2_a , 2_b jeweils mittels der Antriebseinheit 3_a , 3_b mit sich
10 zumindest teilweise überschneidenden Sichtfeldern 8_a , 8_b auf zumindest einen Teil der ersten Merkmale 13 des ersten Objekts 12, das in der ersten Abgleichstellung des ersten Industrieroboters 11 gehalten wird, geschwenkt. Vorzugsweise befinden sich mindestens drei Punkte, welche die ersten
15 Merkmale 13 bilden, im Überschneidungsbereich der Sichtfelder 8_a , 8_b . Nun werden erste Bildaufnahmen mittels der beiden Kameras 2_a , 2_b aufgenommen. Aus diesen Bildaufnahmen wird darauf folgend die Lage des ersten Objekts 12, das in der ersten Abgleichstellung des ersten Industrieroboters 11
20 gehalten wird, im Raum-Koordinatensystem bestimmt. Durch die Bestimmung der Position dreier ausgezeichnete Punkte ist diese Lagebestimmung bereits möglich. Die Lage des ersten Objekts 12 wird zum einen bestimmt aus der Kenntnis der Positionen P_a , P_b der Aufnahmeeinrichtungen 1_a , 1_b , den durch
25 die Winkelmesseinheiten 4_a , 4_b erfassten Winkelausrichtungen der Kameras 2_a , 2_b und den ersten Bildaufnahmen. Mittels dieser Informationen ist es bereits möglich, photogrammetrisch insbesondere durch Bildverarbeitung in der Steuervorrichtung 9 die Position einzelner erfasster Punkte im Raum-
30 Koordinatensystem zu bestimmen. Um die Lage des Objekts hieraus abzuleiten, ist noch die Kenntnis der ersten Merkmale 13 auf dem ersten Objekt 12 erforderlich, um aus der Position oder Lage der ersten Merkmale 13 auf die Lage des ersten Objekts im Raum schliessen zu können. Ist beispielsweise aus

einem elektronischen Modell bekannt, dass und an welcher Stelle ein Blechteil spezifische Bohrungen aufweist, so kann aus der Lage dieser Bohrungen auf die Lage des Objekts geschlossen werden. Nun wird die erste Abgleichgrösse durch
5 Heranziehen der ersten Abgleichstellung des ersten Industrieroboters 11, aus welcher sich die Ideallage bei fehlerfreiem Greifen ergibt, und zumindest der bestimmten, also tatsächlichen Lage des ersten Objekts 12 in der ersten Abgleichstellung des ersten Industrieroboters 11 bestimmt.

10

In einer Weiterbildung der Erfindung sind die Merkmale 13 des Objekts 11 im Wesentlichen aus einem durch die elektronische Datenverarbeitungseinrichtung der Steuervorrichtung 9 verarbeitbaren Modell bekannt. Hierbei kann es sich um ein
15 mittels CAD gewonnenes elektronisches Modell handeln. Mittels einer Bildverarbeitung, die auf der elektronischen Datenverarbeitungseinrichtung ausgeführt wird, werden die Merkmale 13 in dem Modell und/oder in den Bildaufnahmen identifiziert und diese Merkmale 13 aus dem Modell sowie die
20 Merkmale 13 aus den Bildaufnahmen einander zugeordnet. Die Lage des Objekts 12 im Raum-Koordinatensystem wird aus der erfassten Position der aufgenommenen Merkmale 13 im Raum-Koordinatensystem und den zugeordneten Merkmalen 13 bestimmt. Derartige Bildverarbeitungs- und

25

Merkmalidentifikationsverfahren sind aus dem Stand der Technik bekannt und müssen an dieser Stelle nicht weiter erläutert werden.

30

Da nun bekannt ist, mit welchem Fehler das erste Objekt 12 gegriffen wurde und eine entsprechende erste Abgleichgrösse bestimmt wurde, ist es jetzt möglich, das erste Objekt 12 mittels des ersten Industrieroboters 11 im Rahmen der Messgenauigkeit der Sensoren des ersten Industrieroboters 11 zu positionieren. Diese Messgenauigkeit ist jedoch nicht

ausreichend, weshalb es ein weiteres Positionierungsproblem zu lösen gilt.

Beispielsweise aufgrund von Fertigungstoleranzen und

5 Umgebungsparametern ist es möglich, dass das erste Objekt 11, beispielsweise ein Blechteil, selbst einer bestimmten Toleranz in Abmessung und Form unterliegt, die zu berücksichtigen ist. Aus diesem Grunde sieht die Erfindung in einer Weiterbildung die Berücksichtigung von Variationen des ersten Objekts vor.

10

In einer Weiterbildung der Erfindung gemäss dem optionalen Schritt 53 wird die relative Lage der aufgenommenen Merkmale 13 zueinander ermittelt und mit der relativen Lage der Merkmale, die aus dem oben genannten Modell im Wesentlichen
15 bekannt sind, zueinander verglichen. Bei Überschreiten einer Abweichung zwischen der relativen Lage der aufgenommenen Merkmale 13 und der relativen Lage der aus dem Modell im Wesentlichen bekannten Merkmalen wird in einer Variante der Erfindung eine Fehlermeldung ausgegeben. Im Falle der
20 Fehlermeldung wird in einer Fortbildung der Erfindung das Objekt 12 gegen ein neues Objekt 12 ausgetauscht, so dass das Verfahren mit dem Schritt 50 fortgeführt wird, wie in Figur 1b exemplarisch gezeigt. Alternativ wird das Modell dem erfassten Objekt 12 angepasst. Somit ist es möglich, dass das
25 beispielsweise mittels CAD gewonnene Modell den tatsächlichen Abmessungen des gegriffenen Objekts 12 angepasst wird. Dieses angepasste Modell bestimmt in diesem Fall die Endlage, welche das Objekt 12 einnehmen soll, im Raum-Koordinatensystem. Wird die Endlage beispielsweise durch einen Teilabschnitt des
30 Objekts 12, insbesondere eine Kante, bestimmt, welche die Endlage einzunehmen hat, so wird eine Verformung des Teils durch Anpassung des Modells entsprechend berücksichtigt.

Im ebenfalls optionalen Schritt 54 wird der erste Industrieroboter 11 unter Berücksichtigung der ersten Abgleichgrösse von der ersten Abgleichstellung in eine Stellung verstellt, in welcher das erste Objekt 12 in einer ersten Annäherungslage nahe der ersten Endlage positioniert ist. Dies erfolgt, indem dem ersten Industrieroboter, dem bisher die erste Abgleichstellung vorgegeben wurde, eine neue Stellung als Eingangsgrösse vorgegeben wird, in welcher sich das erste Objekt 12 in der ersten Annäherungslage befindet.

Die zwei Kameras 2_a , 2_b werden jeweils mittels der Antriebseinheit 3_a , 3_b mit sich zumindest teilweise überschneidenden Sichtfeldern 8_a , 8_b auf zumindest einen Teil der ersten Merkmale 13 des ersten Objekts 12, das nun in der ersten Annäherungslage positioniert ist, ausgerichtet.

15

Im Schritt 55 wird das erste Objekt 12 hochpräzise in die erste Endlage verstellt. Hierzu werden die folgenden Schritte solange wiederholt, bis die erste Endlage in einer vorgegebenen Toleranz erreicht ist. Zunächst werden weitere erste Bildaufnahmen mittels der Kameras 2_a und 2_b aufgenommen. Die aktuelle Lage des ersten Objekts 12 im Raum-Koordinatensystem wird wieder aus den Positionen P_a , P_b der Aufnahmeeinrichtungen 1_a , 1_b , den durch die Winkelmesseinheiten 4_a , 4_b erfassten Winkelausrichtungen der Kameras 2_a , 2_b , den weiteren ersten Bildaufnahmen und der Kenntnis der ersten Merkmale 13 auf dem ersten Objekt 12 bestimmt. Die aktuelle Lage wird nun mit der Solllage, also der ersten Endlage verglichen. Die Lagedifferenz zwischen der aktuellen Lage des ersten Objekts 12 und der ersten Endlage wird berechnet. Darauf folgend wird eine neue Sollstellung des ersten Industrieroboters 11 berechnet. Dies erfolgt unter Berücksichtigung der ersten Abgleichgrösse aus der aktuellen Stellung des ersten Industrieroboters 11 und einer mit der Lagedifferenz verknüpften Grösse. Die mit der Lagedifferenz

verknüpfte Grösse ist vorzugsweise die mit einem Faktor kleiner oder gleich 1 multiplizierte Lagedifferenz. Dies bedeutet, dass die neue Sollstellung eine Stellung des Industrieroboters 11 ist, bei welcher sich das erste Objekt 12 in einer Lage zwischen der aktuellen Lage und der ersten Endlage befinden wird. Ist der Faktor gleich 1, ist die neue Sollstellung eine Stellung, in welcher das erste Objekt 12 von der aktuellen Lage in die erste Endlage annähernd gebracht wird, soweit dies mittels der unpräziseren Sensorik und Aktorik des Industrieroboters 11 möglich ist. Da diese jedoch regelmässig zu ungenau ist, um das erste Objekt 12 mittels nur eines Schritts 55 bis in die erste Endlage in der vorgegebenen Toleranz zu bringen, ist der Faktor vorzugsweise kleiner 1, vorzugsweise kleiner 0,95, insbesondere kleiner 0,9, beispielsweise kleiner 0,8, jedoch grösser 0. Mittels eines Faktors kleiner 1 aber grösser 0 ist die neue Sollstellung des Industrieroboters 11 derart, dass sich nach dem Verstellen des Industrieroboters 11 in die neue Sollstellung das erste Objekt 12 der ersten Endlage genähert, diese jedoch noch nicht ganz erreicht hat.

Der erste Industrieroboter 11 wird im Anschluss durch Vorgabe der neuen Sollstellung verstellt. In anderen Worten erhält der erste Industrieroboter eine neue Positions-Eingangsgrösse, aus welcher sich seine neue Sollstellung ergibt. Diese neue Sollstellung wird somit mittels der Sensorik und Aktorik des ersten Industrieroboters 11 angefahren. Im Anschluss wiederholen sich die genannten Schritte. Es werden also erneut weitere erste Bildaufnahmen mittels der Kameras 2_a und 2_b aufgenommen, anhand dieser die aktuelle Lage des ersten Objekts 12 bestimmt und die Lagedifferenz zwischen der aktuellen Lage des ersten Objekts 12 und der ersten Endlage berechnet. Liegt das erste Objekt wieder nicht innerhalb der geforderten Toleranz der ersten Endlage, wird dem ersten

Industrieroboter 11 erneut eine neue Sollstellung vorgegeben, die sich aus seiner aktuellen Stellung und der mit der Lagedifferenz verknüpften Grösse unter Berücksichtigung der ersten Abgleichgrösse berechnet. Diese Schritte werden solange
5 wiederholt, bis das erste Objekt 12 hochpräzise innerhalb der Toleranz die erste Endlage erreicht hat.

Ein wesentlicher Vorteil des beschriebenen Verfahrens besteht darin, dass das Erfassen der Lage des Objekts im Raum mittels
10 einer sehr geringen Anzahl an Bildaufnahmen, die ausser den Merkmalen des Objekts keine weiteren Referenzmarken zeigen müssen, erfolgen kann, wodurch das Verfahren erheblich beschleunigt wird. Nach dem Verstellen des Sichtfelds der Kameras kann ohne Neureferenzierung die photogrammetrische
15 Bildauswertung erfolgen. Dies ist insbesondere bei industriellen Anwendungen von Bedeutung, bei denen Objekte von Handhabungssystemen über grössere Strecken bewegt und im Anschluss präzise positioniert werden, da ein Ändern des Sichtfelds in Form eines Schwenkens der Kameras auf die
20 Merkmale der Objekte weder eine erneute Referenzierung noch das Zurückgreifen auf zuvor gemessene Bilder und/oder Referenzmarkierungen erfordert. Somit ist ein schnelles, hochpräzises und prozesssicheres Positionieren gewährleistet. Weil das Schwenken der Kameras zu keinem Zeitverlust aufgrund
25 Neureferenzierung oder Koppelorientierung führt, können die Aufnahmeeinrichtungen entfernt vom Prozess, insbesondere in 2 bis 5 Metern Entfernung, angeordnet sein, so dass der Prozess nicht beeinträchtigt wird und die Messtechnik nicht dem Prozess unmittelbar ausgesetzt ist. Dies ist insbesondere bei
30 Schweissverfahren von Vorteil, da die sensible Messtechnik kaum beeinflusst wird.

Selbstverständlich ist es möglich, weitere Aufnahmeeinrichtungen zur Erhöhung der

Positionsbestimmungsgenauigkeit einzusetzen. In diesem Fall überschneiden sich beispielsweise die drei Sichtfelder der drei Kameras.

5 Die mindestens zwei Aufnahmeeinrichtungen 1_a , 1_b sind in einer möglichen Variante derart ausgebildet, dass sich die horizontale Kippachse H_a bzw. H_b und die vertikale Stehachse V_a bzw. V_b im Wesentlichen schneiden und insbesondere das Projektionszentrum der Kamera 2_a bzw. 2_b jeweils im
10 Schnittpunkt der horizontalen Kippachse H_a bzw. H_b und der vertikalen Stehachse V_a , V_b angeordnet ist. Somit ist die Position der Kamera 2_a bzw. 2_b jeweils unabhängig von der Winkelausrichtung α_a , β_a bzw. α_b , β_b mit der Position P_a bzw. P_b der Aufnahmeeinrichtung 1_a bzw. 1_b gekoppelt. In anderen
15 Worten schneidet in diesem Fall die optische Achse der Kamera 2_a bzw. 2_b in jeder Ausrichtung den Schnittpunkt der horizontale Kippachse H_a bzw. H_b und die vertikale Stehachse V_a bzw. V_b . Das Bestimmen der Lage im Raum-Koordinatensystem erfolgt somit aus den Positionen der Kameras 2_a , 2_b , den durch
20 die Winkelmesseinheiten 4_a , 4_b erfassten Winkelausrichtungen α_a , β_a ; α_b , β_b der Kameras 2_a , 2_b , den Bildaufnahmen und der Kenntnis der Merkmale 13.

In einer anderen möglichen Variante sind die mindestens zwei
25 Aufnahmeeinrichtungen 1_a , 1_b jeweils derart ausgebildet, dass das Projektionszentrum der Kamera 2_a bzw. 2_b jeweils ausserhalb des Schnittpunkts der horizontalen Kippachse H_a bzw. H_b und der vertikalen Stehachse V_a bzw. V_b angeordnet ist. In anderen Worten schneidet die optische Achse der Kamera 2_a
30 bzw. 2_b nicht den Schnittpunkt der Achsen. Die Positionen der Kameras 2_a , 2_b werden jeweils aus der vorgegebenen Exzentrizität des Projektionszentrums der Kamera 2_a bzw. 2_b von dem Schnittpunkt, den Winkelausrichtungen α_a , β_a ; α_b , β_b und den Positionen P_a , P_b der Aufnahmeeinrichtungen 1_a , 1_b

bestimmt. Die Lage im Raum-Koordinatensystem wird dann aus den Positionen P_a , P_b der Aufnahmeeinrichtungen 1_a , 1_b , den Exzentrizitäten der Projektionszentren der Kameras 2_a , 2_b , den durch die Winkelmesseinheiten 4_a , 4_b erfassten

5 Winkelausrichtungen der Kameras 2_a , 2_b , den Bildaufnahmen und der Kenntnis der Merkmale 12 bestimmt.

Figur 2 zeigt eine Weiterbildung der Erfindung, wobei auf die bereits erläuterten Merkmale des Ausführungsbeispiels aus
10 Figur 1a nicht erneut eingegangen wird.

In dem Ausführungsbeispiel der Figur 2 besitzt die Aufnahmeeinrichtungen 1_a einen ersten Emitter 6_a , der zum Emittieren eines ersten strukturierten Lichts 7_a innerhalb des ersten Sichtfelds 8_a der ersten Kamera 2_a ausgebildet ist. Der
15 erste Emitter 6_a ist gemeinsam mit der ersten Kamera 2_a mittels der ersten Antriebseinheit 3_a ausrichtbar. Die Winkelausrichtung kann mittels der im Raum-Koordinatensystem kalibrierten ersten Winkelmesseinheit 4_a hochpräzise erfasst
20 werden. Im oben beschriebenen Schritt des Aufnehmens der Bildaufnahmen wird das erste strukturierte Licht 7_a vom dem ersten Emitter 6_a derart auf das Objekt 12 projiziert, dass das erste strukturierte Licht 7_a im Sichtfeld der zweiten Kamera 2_b der zweiten Aufnahmeeinrichtung 1_b liegt. Das
25 Bestimmen der Lage des Objekts 12 im Raum-Koordinatensystem erfolgt zusätzlich aus den Positionen P_a , P_b der Aufnahmeeinrichtungen 1_a , 1_b , der durch die Winkelmesseinheiten 4_a , 4_b erfassten Winkelausrichtungen des ersten Emitters 6_a und der zweiten Kamera 2_b und den das erste
30 strukturierte Licht 7_a abbildenden Bildaufnahmen der zweiten Kamera 2_b mittels Triangulation. Hierdurch lässt sich die Positionsbestimmungsgenauigkeit erhöhen. Weiters ist es möglich, selbst auf einem Abschnitt eines Objekts, der keine

optisch erfassbaren Markierungen aufweist, Messungen durchzuführen.

Auch die zweite Aufnahmeeinrichtung 1_b besitzt einen Emitter, nämlich den zweiten Emitter 6_b , der zum Emittieren eines zweiten strukturierten Lichts 7_b innerhalb des zweiten Sichtfelds 8_b der zweiten Kamera 2_b ausgebildet ist. Dieser ist gemeinsam mit der zweiten Kamera 2_b mittels der zweiten Antriebseinheit 3_b ausrichtbar. Die Winkelausrichtung des zweiten Emitters 6_b ist mittels der im Raum-Koordinatensystem kalibrierten zweiten Winkelmesseinheit 4_b hochpräzise erfassbar. Im oben beschriebenen Schritt des Aufnehmens der Bildaufnahmen wird das zweite strukturierte Licht 7_b von dem zweiten Emitter 6_b derart auf zumindest den Teil der Merkmale 13 des Objekts 12 projiziert, dass das zweite strukturierte Licht 7_b im Sichtfeld der ersten Kamera 2_a der ersten Aufnahmeeinrichtung 1_a liegt. Die Lage des Objekts 12 im Raum-Koordinatensystem wird zusätzlich aus den Positionen P_a , P_b der Aufnahmeeinrichtungen 1_a , 1_b , der durch die Winkelmesseinheiten 4_a , 4_b erfassten Winkelausrichtungen des zweiten Emitters 6_b und der ersten Kamera 2_a sowie den das zweite strukturierte Licht 7_b abbildenden Bildaufnahmen der ersten Kamera 2_a und der Kenntnis der Merkmale 13 auf dem Objekt 12 mittels Triangulation bestimmt.

Weiters ist in einer bekannten dritten Position P_c und mit einer bekannten Ausrichtung eine Emissionseinrichtung 1_c angeordnet, die einen dritten Emitter 6_c aufweist. Dieser dritte Emitter 6_c ist zum Emittieren eines dritten strukturierten Lichts 7_c ausgebildet und mittels einer dritten Antriebseinheit 3_c ausrichtbar. Die Winkelausrichtung des dritten Emitters 6_c kann mittels einer im Raum-Koordinatensystem kalibrierten dritten Winkelmesseinheit 4_c hochpräzise erfasst werden. Im oben beschriebenen Schritt des

Aufnehmens der Bildaufnahmen wird das dritte strukturierte Licht 7_c vom dem dritten Emitter 6_c derart auf das Objekt 12 projiziert, dass das dritte strukturierte Licht 7_c im Sichtfeld der ersten Kamera 2_a der ersten Aufnahmeeinrichtung 5 1_a und/oder der zweiten Kamera 2_b liegt. Das Bestimmen der Lage des Objekts 12 im Raum-Koordinatensystem erfolgt zusätzlich aus der Position P_a der ersten Aufnahmeeinrichtung 1_a , der durch die erste Winkelmesseinheit 4_a erfassten Winkelausrichtung der ersten Kamera 2_a , der durch die dritte 10 Winkelmesseinheit 4_c erfassten Winkelausrichtung des dritten Emitters 6_c und den das dritte strukturierte Licht 7_c abbildenden Bildaufnahmen der ersten Kamera 2_a mittels Triangulation. Ein Vorteil der Verwendung der Emissionseinrichtung 1_c besteht darin, dass durch 15 entsprechende, insbesondere seitlich versetzte Positionierung eine günstige Triangulationsbasis geschaffen wird, die es ermöglicht, die Messgenauigkeit beim Bestimmen der Lage des Objekts weiter zu erhöhen.

20 Es ist möglich, nur eine einzige Aufnahmeeinrichtung oder mehrere Aufnahmeeinrichtungen mit einer Emissionseinheit auszustatten. Das jeweils strukturierte Licht 7_a , 7_b , 7_c ist beispielsweise eine projizierte Laserlinie, ein in Form einer Laserlinie gefächert projizierter Laserpunkt oder ein 25 zweidimensional projiziertes Muster, insbesondere ein Laserraster.

Die beiden Aufnahmeeinrichtungen 1_a und 1_b besitzen im Ausführungsbeispiel von Figur 2 weiters Laserdistanzmesser 5_a 30 bzw. 5_b , die gemeinsam mit der ersten Kamera 2_a bzw. 2_b mittels der jeweiligen Antriebseinheit 3_a bzw. 3_b ausrichtbar sind und deren Winkelausrichtungen mittels der im Raum-Koordinatensystem kalibrierten Winkelmesseinheit 4_a bzw. 4_b hochpräzise erfassbar sind. Diese Laserdistanzmesser 5_a bzw.

5_b werden ebenfalls zusätzlich zur Bestimmung der Lage des Objekts 12 im Raum-Koordinatensystem mit erhöhter Genauigkeit durch Zielen auf die Merkmale 13 auf dem Objekt 12 herangezogen. Weiters ist es möglich, die Positionen P_a und P_b der Aufnahmeeinrichtungen 1_a im Raum-Koordinatensystem durch Zielen auf ortsfeste Zielmarken T mittels der Laserdistanzmessers 5_a und/oder 5_b zu bestimmen. Die Laserdistanzmesser 5_a bzw. 5_b können alternativ als Laserscanner ausgebildet sein, die insbesondere über das gesamte Sichtfeld der jeweiligen Kamera messen. Die Laserdistanzmesser 5_a bzw. 5_b können also auch zusätzlich gegenüber der Kamera orientierbar sein, wobei diese Orientierung relativ zur jeweiligen Kamera gemessen werden kann. Hierdurch ist der Messstrahl messbar gegenüber der jeweiligen Kamera ausrichtbar.

Das oben dargestellte Positionierungsverfahren wurde für die freie Positionierung eines einzelnen ersten Objekts im Raum beschrieben. Es ist jedoch weiters möglich, mindestens ein zweites Objekt unter Zuhilfenahme der bereits beschriebenen Verfahren und Komponenten zu positionieren und/oder das erste Objekt relativ zum zweiten Objekt, und umgekehrt, hochpräzise auszurichten. Derartige Verfahren werden im Folgenden beschrieben. Es ist ebenfalls realisierbar, die oben beschriebenen Merkmale auch mit der Positionierung des zweiten Objekts und jedes weiteren Objekts zu kombinieren. Zur einfacheren Darstellung wird jedoch darauf verzichtet, die bei der Positionierung des ersten Objekts möglichen Weiterbildungen auch für die Positionierung der weiteren Objekte zu beschreiben. Diese Kombinationen sind jedoch ebenfalls Bestandteil dieser Erfindung.

Eine solche Weiterbildung zeigt Figur 3. Neben den wesentlichen Komponenten der Ausführungsform aus Figur 1a, auf

welche hier nicht erneut eingegangen wird, sind ein zweiter Industrieroboter 21 und eine Objekthalterung 24 vorgesehen. Vor dem hochpräzisen Verstellen des ersten Objekts 12 in die erste Endlage, wie oben beschrieben, wird ein zweites Objekt

5 22 von dem zweiten Industrieroboter 21 gegriffen und in die Objekthalterung 24 platziert. Die Objekthalterung 24 ist als so genannte „Fixture“ ausgebildet, die das zweite Objekt 22 aufnehmen kann. Hierzu ist es möglich, dass die

10 Objekthalterung 24 eine entsprechende Form - beispielsweise zum Vermeiden einer Deformation des Objekts - aufweist und/oder entsprechende Spannvorrichtungen zum Fixieren des Objekts hat. Nach dem Platzieren in der Objekthalterung 24 befindet sich das zweite Objekt 22 in einer zweiten Endlage im Raum-Koordinatensystem. Alternativ ist es möglich, das zweite

15 Objekt nicht mittels eines zweiten Industrieroboters 21 sondern manuell in der Objekthalterung 24 zu platzieren. In einer Ausführungsvariante ist die Objekthalterung 24 derart zwangszentrierend ausgebildet, dass das zweite Objekt 22 hochpräzise in der vorgegebenen zweiten Endlage platziert

20 wird. Ein Erfassen der zweiten Endlage mittels Messtechnik kann in diesem Fall entfallen. Ist dies jedoch nicht der Fall, so wird die zweite Endlage im Raum-Koordinatensystem bestimmt. Das zweite Objekt 22 weist hierzu bekannte optisch erfassbare zweite Merkmale 23 auf. Nach dem Platzieren des zweiten

25 Objekts 22 in der Objekthalterung 24 wird die zweite Endlage des zweiten Objekts 22 im Raum-Koordinatensystem bestimmt, indem zunächst die mindestens zwei Kameras 2_a , 2_b jeweils mittels der Antriebseinheit 3_a , 3_b mit sich zumindest teilweise überschneidenden Sichtfeldern 8_a , 8_b auf zumindest

30 einen Teil der zweiten Merkmale 23 des zweiten Objekts 22 ausgerichtet werden. Zweite Bildaufnahmen werden aufgenommen. Die zweite Endlage des zweiten Objekts 22 im Raum-Koordinatensystem wird nun bestimmt aus den Positionen P_a , P_b der Aufnahmeeinrichtungen 1_a , 1_b , den durch die

Winkelmesseinheiten 4_a , 4_b erfassten Winkelausrichtungen der Kameras 2_a , 2_b , den zweiten Bildaufnahmen und der Kenntnis der zweiten Merkmale 23 auf dem zweiten Objekt 22.

5 Alternativ wird vor dem hochpräzisen Verstellen des ersten Objekts 12 in die erste Endlage E_a das zweite Objekt 22 von dem zweiten Industrieroboter 21 innerhalb einer Greiftoleranz gegriffen, nicht in die Objekthalterung 24 gelegt sondern gehalten. Der zweite Industrieroboter 21 wird in eine
10 Endstellung des zweiten Industrieroboters 21 verstellt, in welcher sich das zweite Objekt 22 in der zweiten Endlage befindet. Die zweite Endlage des zweiten Objekts 22 wird im Raum-Koordinatensystem bestimmt durch folgende Schritte:
Ausrichten der mindestens zwei Kameras 2_a , 2_b jeweils mittels
15 der Antriebseinheit 3_a , 3_b mit sich zumindest teilweise überschneidenden Sichtfeldern 8_a , 8_b auf zumindest einen Teil der zweiten Merkmale 23 des zweiten Objekts 22. Aufnehmen zweiter Bildaufnahmen. Bestimmen der zweiten Endlage des zweiten Objekts 22 im Raum-Koordinatensystem aus den
20 Positionen P_a , P_b der Aufnahmeeinrichtungen 1_a , 1_b , den durch die Winkelmesseinheiten 4_a , 4_b erfassten Winkelausrichtungen der Kameras 2_a , 2_b , den zweiten Bildaufnahmen und der Kenntnis der zweiten Merkmale 23 auf dem zweiten Objekt 22.

25 Die erste Endlage für das erste Objekt 12 wird in diesen Fällen der Figur 3 aus der zweiten Endlage des zweiten Objekts 22 und einer vorgegebenen Relativlage zwischen dem ersten Objekt 12 und dem zweiten Objekt 22 berechnet. Da das erste Objekt 12 hochpräzise relativ zum zweiten Objekt 22
30 positioniert ist, kann nun beispielsweise ein Fügeverfahren zum präzisen Verbinden der beiden Objekte durchgeführt werden.

In Figur 4 ist eine weitere Ausführungsform der Erfindung gezeigt, bei welcher ein zweites Objekt 22 sowie ein drittes

Objekt 32, das als Bearbeitungswerkzeug ausgebildet ist, hochpräzise verstellt werden.

Das zweite Objekt 22, das bekannte optisch erfassbare zweite
5 Merkmale 23 hat, wird von einem zweiten Industrieroboter 21 innerhalb einer Greiftoleranz gegriffen und gehalten. Eine die Greiftoleranz korrigierende zweite Abgleichgrösse wird für den zweiten Industrieroboter 21 bestimmt, so dass das zweite Objekt 22 im Raum-Koordinatensystem durch Vorgabe einer
10 Stellung des zweiten Industrieroboters 21 abgeglichen verstellbar ist. Das Bestimmen der zweiten Abgleichgrösse erfolgt durch Ausrichten der zwei Kameras 2_a , 2_b jeweils mittels der Antriebseinheit 3_a , 3_b mit sich zumindest teilweise überschneidenden Sichtfeldern auf zumindest einen
15 Teil der zweiten Merkmale 23 des zweiten Objekts 22, das in einer zweiten Abgleichstellung des zweiten Industrieroboters 21 gehaltenen wird. Es werden zweite Bildaufnahmen aufgenommen. Die Lage des zweiten Objekts 22 im Raum-Koordinatensystem in der zweiten Abgleichstellung des zweiten
20 Industrieroboters 21 wird bestimmt aus den Positionen P_a , P_b der Aufnahmeeinrichtungen 1_a , 1_b , den durch die Winkelmesseinheiten 4_a , 4_b erfassten Winkelausrichtungen der Kameras 2_a , 2_b , den zweiten Bildaufnahmen und der Kenntnis der zweiten Merkmale 23 auf dem zweiten Objekt 22. Die zweite
25 Abgleichgrösse wird bestimmt durch Heranziehen der zweiten Abgleichstellung des zweiten Industrieroboters 21 und zumindest der bestimmten Lage des zweiten Objekts 22 in der zweiten Abgleichstellung des zweiten Industrieroboters 21. Im Anschluss wird das zweite Objekt 22 hochpräzise in eine zweite
30 Endlage verstellt. Dies geschieht durch die sich bis zum Erreichen der zweiten Endlage in einer vorgegebenen Toleranz wiederholenden folgenden Schritte. Zunächst werden weitere zweite Bildaufnahmen aufgenommen. Die aktuelle Lage des zweiten Objekts 22 im Raum-Koordinatensystem wird bestimmt aus

den Positionen P_a , P_b der Aufnahmeeinrichtungen 1_a , 1_b , den durch die Winkelmesseinheiten 4_a , 4_b erfassten Winkelausrichtungen der Kameras 2_a , 2_b , den weiteren zweiten Bildaufnahmen und der Kenntnis der zweiten Merkmale 23 auf dem
5 zweiten Objekt 22. Die Lagedifferenz zwischen der aktuellen Lage des zweiten Objekts 22 und der zweiten Endlage wird berechnet. Nach dem Berechnen einer neuen Sollstellung des zweiten Industrieroboters 21 unter Berücksichtigung der zweiten Abgleichgrösse aus der aktuellen Stellung des zweiten
10 Industrieroboters 21 und einer mit der Lagedifferenz verknüpften Grösse wird der zweite Industrieroboter 21 in die neue Sollstellung verstellt. Diese Schritte werden wiederholt, bis das zweite Objekt 22 die zweite Endlage in der vorgegebenen Toleranz erreicht hat.

15

Anstelle einer relativen Positionierung der beiden Objekte 12 und 22 gemäss Figur 3 werden also in dieser Ausführungsform der Figur 4 beide Objekte 12 und 22 unabhängig voneinander hochpräzise einzeln positioniert.

20

In einer Weiterbildung der Erfindung wird nach dem Greifen des zweiten Objekts 22 der zweite Industrieroboter 21 in die zweite Abgleichstellung des zweiten Industrieroboters 21 zum Bestimmen der zweiten Abgleichgrösse verstellt.

25

Eine weitere Ausführungsvariante der Erfindung sieht vor, dass vor den sich bis zum Erreichen der zweiten Endlage in einer vorgegebenen Toleranz wiederholenden Schritten der zweite Industrieroboter 21 unter Berücksichtigung der zweiten
30 Abgleichgrösse von der zweiten Abgleichstellung in eine Stellung verstellt wird, in welcher das zweite Objekt 22 in einer zweiten Annäherungslage nahe der zweiten Endlage positioniert ist. Im Anschluss werden die zwei Kameras 2_a , 2_b jeweils mittels der Antriebseinheit 3_a , 3_b mit sich zumindest

teilweise überschneidenden Sichtfeldern 8_a , 8_b auf zumindest einen Teil der zweiten Merkmale 23 des zweiten Objekts 22, das in der zweiten Annäherungslage positioniert ist, ausgerichtet.

5 Wie ebenfalls in Figur 4 veranschaulicht, jedoch auch bei der Ausführungsform von Figur 3 möglich, ist ein als Bearbeitungswerkzeug ausgebildetes drittes Objekt 32 vorgesehen. Das Bearbeitungswerkzeug 32 wird von einem dritten Industrieroboter 31 innerhalb einer Haltetoleranz gehalten.

10 Das Bearbeitungswerkzeug 32 oder ein hierzu gekoppeltes Teil des dritten Industrieroboters 31, beispielsweise die Aufnahme des Bearbeitungswerkzeugs 32, weist bekannte optisch erfassbare dritte Merkmale 33 auf. Um das Bearbeitungswerkzeug 32 im Raum-Koordinatensystem durch Vorgabe einer Stellung des

15 dritten Industrieroboters 31 abgeglichen verstellen zu können, wird eine die Haltetoleranz korrigierende dritte Abgleichgröße für den dritten Industrieroboter 31 bestimmt. Hierzu werden zunächst die zwei Kameras 2_a und 2_b jeweils mittels der Antriebseinheit 3_a und 3_b mit sich zumindest

20 teilweise überschneidenden Sichtfeldern 8_a , 8_b auf zumindest einen Teil der dritten Merkmale 33 ausgerichtet. Das Bearbeitungswerkzeug 32 wird hierbei in einer dritten Abgleichstellung des dritten Industrieroboters 31 gehalten. Dritte Bildaufnahmen werden aufgenommen. Die Lage des

25 Bearbeitungswerkzeugs 32 im Raum-Koordinatensystem in der dritten Abgleichstellung des dritten Industrieroboters 31 wird bestimmt aus den Positionen P_a , P_b der Aufnahmeeinrichtungen 1_a , 1_b , den durch die Winkelmesseinheiten 4_a , 4_b erfassten Winkelausrichtungen der Kameras 2_a , 2_b , den dritten

30 Bildaufnahmen und der Kenntnis der dritten Merkmale 33. Das Bestimmen der dritten Abgleichgröße erfolgt durch Heranziehen der dritten Abgleichstellung des dritten Industrieroboters 31 und zumindest der bestimmten Lage des Bearbeitungswerkzeugs 32

in der dritten Abgleichstellung des dritten Industrieroboters 31.

Weiters sieht die Erfindung vor, dass das Bearbeitungswerkzeug 5 32 hochpräzise in eine dritte Endlage verstellt wird durch die folgenden, sich bis zum Erreichen der dritten Endlage in einer vorgegebenen Toleranz wiederholenden Schritte. Weitere dritte Bildaufnahmen werden aufgenommen. Die aktuelle Lage des Bearbeitungswerkzeugs 32 im Raum-Koordinatensystem wird 10 bestimmt aus den Positionen P_a , P_b der Aufnahmeeinrichtungen 1_a , 1_b , den durch die Winkelmesseinheiten 4_a , 4_b erfassten Winkelausrichtungen der Kameras 2_a , 2_b , den weiteren dritten Bildaufnahmen und der Kenntnis der dritten Merkmale 33. Die Lagedifferenz zwischen der aktuellen Lage des dritten Objekts 15 32 und der dritten Endlage wird berechnet. Eine neue Sollstellung des dritten Industrieroboters 31 wird unter Berücksichtigung der dritten Abgleichgrösse aus der aktuellen Stellung des dritten Industrieroboters 21 und einer mit der Lagedifferenz verknüpften Grösse berechnet. Im Anschluss wird 20 der dritte Industrieroboter 31 in die neue Sollstellung verstellt. Diese Schritte werden solange wiederholt, bis sich das Bearbeitungswerkzeug 32 im Toleranzbereich der dritten Endlage befindet.

25 Das Bearbeitungswerkzeug 32 ist beispielsweise ein Schweisswerkzeug zum fügenden Schweissen des ersten Objekts 12 und des zweiten Objekts 22. Beliebige andere Bearbeitungswerkzeuge, insbesondere Fügwerkzeuge, sind ebenfalls verwendbar. Auch wenn an dieser Stelle ein 30 Bearbeitungswerkzeug 32 in Kombination mit einem ersten Objekt 12 und einem zweiten Objekt 22, insbesondere zum Fügen dieser Objekt, beschrieben wurde, umfasst die Erfindung ebenfalls das Positionieren des Bearbeitungswerkzeugs relativ zu lediglich einem Objekt. Dies kann beispielsweise bei einem

Bearbeitungswerkzeug, das einen Arbeitsschritt, beispielsweise einen spanenden Fertigungsschritt, an lediglich einem Objekt durchführt, der Fall sein.

- 5 Die Erfindung umfasst auch die Kombinationen nicht explizit kombinierter Merkmale.

Die beschriebenen Systemkomponenten, insbesondere die Messkomponenten wie die Aufnahmeeinrichtungen, zeichnen sich
10 durch ihre Mobilität und Flexibilität aus. Es ist somit möglich, das beschriebene Verfahren mittels eigenständiger Komponenten, die innerhalb verhältnismässig kurzer Zeit in einem Fertigungssystem installiert werden können, durchzuführen. Durch selbstkalibrierende und
15 selbstreferenzierende Komponenten ist es möglich, selbst unter erschwerten Betriebsbedingungen eine ausreichende Prozesssicherheit zu gewährleisten. Selbst verhältnismässig unpräzise Handhabungssysteme mit relativ ungenauen Messsystemen können aufgrund der Bestimmung von
20 Abgleichgrössen und sich bis zum Erreichen der Endlage wiederholender Schritte zum hochpräzisen Positionieren von Objekten verwendet werden. Die Erfindung ermöglicht es, ohne unmittelbare Prozessbeteiligung berührungslos und ausreichend beabstandet eine rasche Erfassung der Lage der Objekte
25 innerhalb eines sehr grossen Erfassungsbereichs durchzuführen. Ein Schwenken der Kameras führt zu keiner Verzögerung des Messvorgangs, die durch erneute Referenzierung der Kameras bedingt ist, da ein erneutes Referenzieren erfindungsgemäss entfallen kann. Somit zeichnet sich das erfindungsgemässe
30 Verfahren und System zum hochpräzisen Positionieren von Objekten im Raum durch eine hohe Prozessgeschwindigkeit aus.

Patentansprüche

1. Verfahren zum hochpräzisen Positionieren mindestens eines
Objekts in eine Endlage im Raum mittels eines
5 Industrieroboters, mit
- einem in vorgebbare Stellungen verstellbaren ersten
Industrieroboter (11) und
 - einer ersten optischen Aufnahmeeinrichtung (1_a), die in
einem dreidimensionalen Raum-Koordinatensystem
10 kalibriert und in einer bekannten ersten Position (P_a)
mit einer bekannten Ausrichtung positioniert ist, mit
 - einer optisch kalibrierten ersten Kamera (2_a) zur
Bildaufnahme innerhalb eines bestimmten ersten
Sichtfelds (8_a),
 - 15 ▫ einer ersten Antriebseinheit (3_a) zum - ein Verstellen
des ersten Sichtfelds (8_a) bewirkenden - Ausrichten
der ersten Kamera (2_a) und
 - einer im Raum-Koordinatensystem kalibrierten ersten
Winkelmesseinheit (4_a) zum hochpräzisen Erfassen der
20 Winkelausrichtung der ersten Kamera (2_a), so dass das
erste Sichtfeld (8_a) im Raum-Koordinatensystem
bestimmbar ist,
 - mindestens einer zweiten optischen Aufnahmeeinrichtung
(1_b), die in dem dreidimensionalen Raum-
25 Koordinatensystem kalibriert und in einer bekannten
zweiten Position (P_b) mit einer bekannten Ausrichtung
positioniert ist, mit
 - einer optisch kalibrierten zweiten Kamera (2_b) zur
Bildaufnahme innerhalb eines bestimmten zweiten
30 Sichtfelds (8_b),
 - einer zweiten Antriebseinheit (3_b) zum - ein
Verstellen des zweiten Sichtfelds (8_b) bewirkenden -
Ausrichten der zweiten Kamera (2_b) und

▫ einer im Raum-Koordinatensystem kalibrierten zweiten Winkelmesseinheit (4_b) zum hochpräzisen Erfassen der Winkelausrichtung der zweiten Kamera (2_b), so dass das zweite Sichtfeld (8_b) im Raum-Koordinatensystem

5

bestimmbar ist,

wobei die mindestens zwei Positionen (P_a, P_b) derart beabstandet sind, dass eine dreidimensionale Bildaufnahme des mindestens einen Objekts mittels der mindestens zwei Aufnahmeeinrichtungen (1_a, 1_b) durch

10

zumindest teilweise überschneidende Sichtfelder (8_a, 8_b) ermöglicht ist,

wobei

- ein erstes Objekt (12), das bekannte optisch erfassbare erste Merkmale aufweist (13), von dem ersten

15

Industrieroboter (11) innerhalb einer Greiftoleranz gegriffen wird und gehalten wird,

- eine derartige, die Greiftoleranz korrigierende erste Abgleichgröße für den ersten Industrieroboter (11) bestimmt wird, dass das erste Objekt (12) im Raum-Koordinatensystem durch Vorgabe einer Stellung des ersten Industrieroboters (11) abgeglichen verstellbar ist, wobei das Bestimmen der ersten Abgleichgröße erfolgt durch die Schritte

20

▫ Ausrichten der mindestens zwei Kameras (2_a, 2_b) jeweils mittels der Antriebseinheit (3_a, 3_b) mit sich zumindest teilweise überschneidenden Sichtfeldern (8_a, 8_b) auf zumindest einen Teil der ersten Merkmale (13) des ersten Objekts (12), das in einer ersten Abgleichstellung des ersten Industrieroboters (11) gehaltenen wird,

30

▫ Aufnehmen erster Bildaufnahmen,

- Bestimmen der Lage des ersten Objekts (12) im Raum-Koordinatensystem in der ersten Abgleichstellung des ersten Industrieroboters (11) aus
 - den Positionen (P_a , P_b) der Aufnahmeeinrichtungen (1_a, 1_b),
 - den durch die Winkelmesseinheiten (4_a , 4_b) erfassten Winkelausrichtungen der Kameras (2_a, 2_b),
 - den ersten Bildaufnahmen und
 - der Kenntnis der ersten Merkmale (13) auf dem ersten Objekt (12),und
- Bestimmen der ersten Abgleichgröße durch Heranziehen
 - der ersten Abgleichstellung des ersten Industrieroboters (11) und
 - zumindest der bestimmten Lage des ersten Objekts (12) in der ersten Abgleichstellung des ersten Industrieroboters (11)und
- das erste Objekt (12) hochpräzise in eine erste Endlage verstellt wird durch die sich bis zum Erreichen der ersten Endlage in einer vorgegebenen Toleranz wiederholenden Schritte
 - Aufnehmen weiterer erster Bildaufnahmen,
 - Bestimmen der aktuellen Lage des ersten Objekts (12) im Raum-Koordinatensystem aus
 - den Positionen (P_a , P_b) der Aufnahmeeinrichtungen (1_a, 1_b),
 - den durch die Winkelmesseinheiten (4_a , 4_b) erfassten Winkelausrichtungen der Kameras (2_a, 2_b),
 - den weiteren ersten Bildaufnahmen und
 - der Kenntnis der ersten Merkmale (13) auf dem ersten Objekt (12),

- Berechnen der Lagedifferenz zwischen der aktuellen Lage des ersten Objekts (12) und der ersten Endlage,
 - Berechnen einer neuen Sollstellung des ersten Industrieroboters (11) unter Berücksichtigung der ersten Abgleichgrösse aus
 - der aktuellen Stellung des ersten Industrieroboters (11) und
 - einer mit der Lagedifferenz verknüpften Grösse, und
 - Verstellen des ersten Industrieroboters (11) in die neue Sollstellung.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei nach dem Greifen des ersten Objekts (12) der erste Industrieroboter (11) in die erste Abgleichstellung des ersten Industrieroboters (11) zum Bestimmen der ersten Abgleichgrösse verstellt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei vor den sich bis zum Erreichen der ersten Endlage in einer vorgegebenen Toleranz wiederholenden Schritten
- der erste Industrieroboter (11) unter Berücksichtigung der ersten Abgleichgrösse von der ersten Abgleichstellung in eine Stellung verstellt wird, in welcher das erste Objekt (12) in einer ersten Annäherungslage nahe der ersten Endlage positioniert ist, und
 - die zwei Kameras (2_a, 2_b) jeweils mittels der Antriebseinheit (3_a, 3_b) mit sich zumindest teilweise überschneidenden Sichtfeldern (8_a, 8_b) auf zumindest einen Teil der ersten Merkmale (13) des ersten Objekts (12), das in der ersten Annäherungslage positioniert ist, ausgerichtet werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei
vor dem hochpräzisen Verstellen des ersten Objekts (12) in
die erste Endlage
- ein zweites Objekt (22) von einem zweiten
5 Industrieroboter (21) oder manuell gegriffen und in eine
Objekthalterung (24) in einer zweiten Endlage im Raum-
Koordinatensystem platziert wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei
- die Objekthalterung (24) derart zwangszentrierend
10 ausgebildet ist, dass das zweite Objekt (22) hochpräzise
in der vorgegebenen zweiten Endlage platziert wird.
6. Verfahren nach Anspruch 4, wobei
- das zweite Objekt (22) bekannte optisch erfassbare
15 zweite Merkmale (23) aufweist,
und nach dem Platzieren des zweiten Objekts (22) in der
Objekthalterung (24)
 - die zweite Endlage des zweiten Objekts (22) im Raum-
20 Koordinatensystem bestimmt wird durch die Schritte
 - Ausrichten der mindestens zwei Kameras (2_a , 2_b)
jeweils mittels der Antriebseinheit (3_a , 3_b) mit sich
zumindest teilweise überschneidenden Sichtfeldern (8_a ,
 8_b) auf zumindest einen Teil der zweiten Merkmale (23)
25 des zweiten Objekts (22),
 - Aufnehmen zweiter Bildaufnahmen und
 - Bestimmen der zweiten Endlage des zweiten Objekts (22)
im Raum-Koordinatensystem aus
 - den Positionen (P_a , P_b) der Aufnahmeeinrichtungen
30 (1_a , 1_b),
 - den durch die Winkelmesseinheiten (4_a , 4_b) erfassten
Winkelausrichtungen der Kameras (2_a , 2_b),
 - den zweiten Bildaufnahmen und

- der Kenntnis der zweiten Merkmale (23) auf dem zweiten Objekt (22).

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei vor dem
5 hochpräzisen Verstellen des ersten Objekts (12) in die erste Endlage (E_a)

- ein zweites Objekt (22), das bekannte optisch erfassbare zweite Merkmale (23) aufweist, von einem zweiten Industrieroboter (21) innerhalb einer Greiftoleranz
10 gegriffen wird und gehalten wird,
 - der zweite Industrieroboter (21) in eine Endstellung des zweiten Industrieroboters (21) verstellt wird, in welcher sich das zweite Objekt (22) in einer zweiten Endlage befindet, und
 - die zweite Endlage des zweiten Objekts (22) im Raum-Koordinatensystem bestimmt wird durch die Schritte
 - Ausrichten der mindestens zwei Kameras (2_a , 2_b) jeweils mittels der Antriebseinheit (3_a , 3_b) mit sich
20 zumindest teilweise überschneidenden Sichtfeldern (8_a , 8_b) auf zumindest einen Teil der zweiten Merkmale (23) des zweiten Objekts (22),
 - Aufnehmen zweiter Bildaufnahmen und
 - Bestimmen der zweiten Endlage des zweiten Objekts (22) im Raum-Koordinatensystem aus
- 25
- den Positionen (P_a , P_b) der Aufnahmeeinrichtungen (1_a , 1_b),
 - den durch die Winkelmesseinheiten (4_a , 4_b) erfassten Winkelausrichtungen der Kameras (2_a , 2_b),
 - den zweiten Bildaufnahmen und
- 30
- der Kenntnis der zweiten Merkmale (23) auf dem zweiten Objekt (22).

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, wobei

- die erste Endlage für das erste Objekt (12) aus der zweiten Endlage des zweiten Objekts (22) und einer vorgegebenen Relativlage zwischen dem ersten Objekt (12) und dem zweiten Objekt (22) berechnet wird.

5

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei vor dem hochpräzisen Verstellen des ersten Objekts (12) in die erste Endlage

- ein zweites Objekt (22), das bekannte optisch erfassbare zweite Merkmale (23) aufweist, von einem zweiten Industrieroboter (21) innerhalb einer Greiftoleranz gegriffen wird und gehalten wird,
- eine derartige, die Greiftoleranz korrigierende zweite Abgleichgrösse für den zweiten Industrieroboter (21) bestimmt wird, dass das zweite Objekt (22) im Raum-Koordinatensystem durch Vorgabe einer Stellung des zweiten Industrieroboters (21) abgeglichen verstellbar ist, wobei das Bestimmen der zweiten Abgleichgrösse erfolgt durch die Schritte
 - Ausrichten der mindestens zwei Kameras (2_a , 2_b) jeweils mittels der Antriebseinheit (3_a , 3_b) mit sich zumindest teilweise überschneidenden Sichtfeldern auf zumindest einen Teil der zweiten Merkmale (23) des zweiten Objekts (22), das in einer zweiten Abgleichstellung des zweiten Industrieroboters (21) gehaltenen wird,
 - Aufnehmen zweiter Bildaufnahmen,
 - Bestimmen der Lage des zweiten Objekts (22) im Raum-Koordinatensystem in der zweiten Abgleichstellung des zweiten Industrieroboters (21) aus
 - den Positionen (P_a , P_b) der Aufnahmeeinrichtungen (1_a , 1_b),

10

15

20

25

30

- den durch die Winkelmesseinheiten ($4_a, 4_b$) erfassten Winkelausrichtungen der Kameras ($2_a, 2_b$),
- den zweiten Bildaufnahmen und
- der Kenntnis der zweiten Merkmale (23) auf dem
5 zweiten Objekt (22),
und
- Bestimmen der zweiten Abgleichgrösse durch Heranziehen
 - der zweiten Abgleichstellung des zweiten Industrieroboters (21) und
 - 10 · zumindest der bestimmten Lage des zweiten Objekts (22) in der zweiten Abgleichstellung des zweiten Industrieroboters (21).
- und
- das zweite Objekt (22) hochpräzise in eine zweite
15 Endlage verstellt wird durch die sich bis zum Erreichen der zweiten Endlage in einer vorgegebenen Toleranz wiederholenden Schritte
 - Aufnehmen weiterer zweiter Bildaufnahmen,
 - Bestimmen der aktuellen Lage des zweiten Objekts (22)
20 im Raum-Koordinatensystem aus
 - den Positionen (P_a, P_b) der Aufnahmeeinrichtungen ($1_a, 1_b$),
 - den durch die Winkelmesseinheiten ($4_a, 4_b$) erfassten Winkelausrichtungen der Kameras ($2_a, 2_b$),
 - 25 · den weiteren zweiten Bildaufnahmen und
 - der Kenntnis der zweiten Merkmale (23) auf dem zweiten Objekt (22),
 - Berechnen der Lagedifferenz zwischen der aktuellen Lage des zweiten Objekts (22) und der zweiten Endlage,
 - 30 ▫ Berechnen einer neuen Sollstellung des zweiten Industrieroboters (21) unter Berücksichtigung der zweiten Abgleichgrösse aus

- der aktuellen Stellung des zweiten Industrieroboters (21) und
 - einer mit der Lagedifferenz verknüpften Grösse, und
- 5 ▫ Verstellen des zweiten Industrieroboters (21) in die neue Sollstellung.
10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei
nach dem Greifen des zweiten Objekts (22) der zweite
10 Industrieroboter (21) in die zweite Abgleichstellung des zweiten Industrieroboters (21) zum Bestimmen der zweiten Abgleichgrösse verstellt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, wobei
15 vor den sich bis zum Erreichen der zweiten Endlage in einer vorgegebenen Toleranz wiederholenden Schritten
- der zweite Industrieroboter (21) unter Berücksichtigung der zweiten Abgleichgrösse von der zweiten Abgleichstellung in eine Stellung verstellt wird, in
20 welcher das zweite Objekt (22) in einer zweiten Annäherungslage nahe der zweiten Endlage positioniert ist, und
 - die zwei Kameras (2_a, 2_b) jeweils mittels der Antriebseinheit (3_a, 3_b) mit sich zumindest teilweise
25 überschneidenden Sichtfeldern (8_a, 8_b) auf zumindest einen Teil der zweiten Merkmale (23) des zweiten Objekts (22), das in der zweiten Annäherungslage positioniert ist, ausgerichtet werden.
- 30 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei
- ein als Bearbeitungswerkzeug ausgebildetes drittes Objekt (32) von einem dritten Industrieroboter (31) innerhalb einer Haltetoleranz gehalten wird,

- das Bearbeitungswerkzeug (32) oder ein hierzu gekoppeltes Teil des dritten Industrieroboters (31) bekannte optisch erfassbare dritte Merkmale (33) aufweist und
- 5 • eine derartige, die Haltetoleranz korrigierende dritte Abgleichgrösse für den dritten Industrieroboter (31) bestimmt wird, dass das Bearbeitungswerkzeug (32) im Raum-Koordinatensystem durch Vorgabe einer Stellung des dritten Industrieroboters (31) abgeglichen verstellbar
10 ist, wobei das Bestimmen der dritten Abgleichgrösse erfolgt durch die Schritte
 - Ausrichten der mindestens zwei Kameras (2_a , 2_b) jeweils mittels der Antriebseinheit (3_a , 3_b) mit sich
15 zumindest teilweise überschneidenden Sichtfeldern (8_a , 8_b) auf zumindest einen Teil der dritten Merkmale (33), wobei das Bearbeitungswerkzeug (32) in einer dritten Abgleichstellung des dritten Industrieroboters (31) gehalten wird,
 - Aufnehmen dritter Bildaufnahmen,
 - 20 ▫ Bestimmen der Lage des Bearbeitungswerkzeugs (32) im Raum-Koordinatensystem in der dritten Abgleichstellung des dritten Industrieroboters (31) aus
 - den Positionen (P_a , P_b) der Aufnahmeeinrichtungen (1_a , 1_b),
 - 25 • den durch die Winkelmesseinheiten (4_a , 4_b) erfassten Winkelausrichtungen der Kameras (2_a , 2_b),
 - den dritten Bildaufnahmen und
 - der Kenntnis der dritten Merkmale (33),
und
 - 30 ▫ Bestimmen der dritten Abgleichgrösse durch Heranziehen
 - der dritten Abgleichstellung des dritten Industrieroboters (31) und

- zumindest der bestimmten Lage des Bearbeitungswerkzeugs (32) in der dritten Abgleichstellung des dritten Industrieroboters (31).

5 13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei

- das Bearbeitungswerkzeug (32) hochpräzise in eine dritte Endlage verstellt wird durch die sich bis zum Erreichen der dritten Endlage in einer vorgegebenen Toleranz wiederholenden Schritte

10 ▫ Aufnehmen weiterer dritter Bildaufnahmen,

- Bestimmen der aktuellen Lage des Bearbeitungswerkzeugs (32) im Raum-Koordinatensystem aus

- den Positionen (P_a , P_b) der Aufnahmeeinrichtungen (1_a , 1_b),

15 · den durch die Winkelmesseinheiten (4_a , 4_b) erfassten Winkelausrichtungen der Kameras (2_a , 2_b),

- den weiteren dritten Bildaufnahmen und
- der Kenntnis der dritten Merkmale (33),

20 ▫ Berechnen der Lagedifferenz zwischen der aktuellen Lage des dritten Objekts (32) und der dritten Endlage,

- Berechnen einer neuen Sollstellung des dritten Industrieroboters (31) unter Berücksichtigung der dritten Abgleichgrösse aus

25 · der aktuellen Stellung des dritten Industrieroboters (31) und

- einer mit der Lagedifferenz verknüpften Grösse, und

- Verstellen des dritten Industrieroboters (31) in die neue Sollstellung.

30

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei die mit der Lagedifferenz verknüpfte Grösse von der mit einem Faktor kleiner oder gleich 1 multiplizierten

Lagedifferenz gebildet wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, wobei

- 5 • die Merkmale (13; 23; 33) im Wesentlichen aus einem durch eine elektronische Datenverarbeitungseinrichtung verarbeitbaren Modell bekannt sind,
- mittels auf einer elektronischen Datenverarbeitungseinrichtung ausgeführten Bildverarbeitung die Merkmale (13; 23; 33)
 - 10 ▫ in dem Modell und/oder
 - in den Bildaufnahmen identifiziert und
 - die Merkmale (13; 23; 33) aus dem Modell sowie
 - die Merkmale (13; 23; 33) aus den Bildaufnahmen
 - 15 einander zugeordnet werden, und
- die Lage des Objekts (12; 22; 32) im Raum-Koordinatensystem aus
 - der erfassten Position der aufgenommenen Merkmale (13; 23; 33) im Raum-Koordinatensystem und
 - 20 ▫ den zugeordneten Merkmalen (13; 23; 33) bestimmt wird.

16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei

- die relative Lage der aufgenommenen Merkmale (13; 23; 33) zueinander ermittelt wird und mit der relativen Lage der aus dem Modell im Wesentlichen bekannten Merkmalen zueinander verglichen wird.

17. Verfahren nach Anspruch 16, wobei

- bei Überschreiten einer Abweichung zwischen der relativen Lage der aufgenommenen Merkmale (13; 23; 33) und der relativen Lage der aus dem Modell im Wesentlichen bekannten Merkmalen eine Fehlermeldung

ausgegeben wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, wobei

- im Falle der Fehlermeldung das Objekt (12; 22; 32) gegen
5 ein neues Objekt (12; 22; 32) ausgetauscht wird.

19. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, wobei

- das Modell dem erfassten Objekt (12; 22; 32) angepasst
wird.

10

20. Verfahren nach Anspruch 19, wobei

- das angepasste Modell die Endlage im Raum-
Koordinatensystem bestimmt.

15 21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20, wobei
die mindestens zwei Aufnahmeeinrichtungen (1_a , 1_b) jeweils
derart ausgebildet sind, dass jeweils

- die Kamera (2_a ; 2_b) mittels der Antriebseinheit (3_a ; 3_b)
um jeweils eine in Bezug auf das Raum-Koordinatensystem
20 horizontale Kippachse (H_a ; H_b) und eine vertikale
Stehachse (V_a ; V_b) ausrichtbar ist und
- durch die Winkelmesseinheit (4_a ; 4_b) jeweils die
horizontale Winkelausrichtung (α_a ; α_b) um die
Stehachse (V_a ; V_b) und die vertikale Winkelausrichtung
25 (β_a ; β_b) um die Kippachse (H_a ; H_b) im Raum-
Koordinatensystem erfasst werden.

22. Verfahren nach Anspruch 21, wobei

sich die horizontale Kippachse (H_a , H_b) und die vertikale
30 Stehachse (V_a ; V_b) im Wesentlichen schneiden.

23. Verfahren nach Anspruch 22, wobei die mindestens zwei Aufnahmeeinrichtungen (1_a , 1_b) jeweils derart ausgebildet sind, dass

• das Projektionszentrum der Kamera (2_a ; 2_b) jeweils im
5 Schnittpunkt der horizontalen Kippachse (H_a , H_b) und der vertikalen Stehachse (V_a , V_b) angeordnet ist,

• die Position der Kamera (2_a ; 2_b) jeweils unabhängig von der Winkelausrichtung (α_a , β_a ; α_b , β_b) mit der Position (P_a , P_b) der Aufnahmeeinrichtung (1_a , 1_b) gekoppelt ist
10 und

• das Bestimmen der Lage im Raum-Koordinatensystem aus

- den Positionen der Kameras (2_a , 2_b),
- den durch die Winkelmesseinheiten (4_a , 4_b) erfassten Winkelausrichtungen (α_a , β_a ; α_b , β_b) der Kameras (2_a ,
15 2_b),
- den Bildaufnahmen und
- der Kenntnis der Merkmale (13; 23; 33) erfolgt.

20 24. Verfahren nach Anspruch 22, wobei die mindestens zwei Aufnahmeeinrichtungen (1_a , 1_b) jeweils derart ausgebildet sind, dass

• das Projektionszentrum der Kamera (2_a , 2_b) jeweils
25 ausserhalb des Schnittpunkts der horizontalen Kippachse (H_a , H_b) und der vertikalen Stehachse (V_a , V_b) angeordnet ist,

• die Positionen der Kamera (2_a , 2_b) jeweils aus

- der vorgegebenen Exzentrizität des Projektionszentrums der Kamera (2_a , 2_b) von dem Schnittpunkt,
- den Winkelausrichtungen (α_a , β_a ; α_b , β_b) und
30 ▫ den Positionen (P_a , P_b) der Aufnahmeeinrichtungen (1_a , 1_b)

bestimmt werden und

- das Bestimmen der Lage im Raum-Koordinatensystem aus
 - den Positionen (P_a, P_b) der Aufnahmeeinrichtungen ($1_a, 1_b$),
 - den Exzentrizitäten der Projektionszentren der Kameras ($2_a, 2_b$),
 - den durch die Winkelmesseinheiten ($4_a, 4_b$) erfassten Winkelausrichtungen der Kameras ($2_a, 2_b$),
 - den Bildaufnahmen und
 - der Kenntnis der Merkmale (12; 22; 32)erfolgt.

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 24, wobei zumindest die erste Aufnahmeeinrichtung (1_a)

- einen ersten Emitter (6_a) aufweist,
 - der zum Emittieren eines ersten strukturierten Lichts (7_a) innerhalb des ersten Sichtfelds (8_a) der ersten Kamera (2_a) ausgebildet ist,
 - der gemeinsam mit der ersten Kamera (2_a) mittels der ersten Antriebseinheit (3_a) ausrichtbar ist und
 - dessen Winkelausrichtung mittels der im Raum-Koordinatensystem kalibrierten ersten Winkelmesseinheit (4_a) hochpräzise erfassbar ist,

wobei im Schritt des Aufnehmens der Bildaufnahmen

- das erste strukturierte Licht (7_a) vom dem ersten Emitter (6_a) derart auf das Objekt (12; 22; 32) projiziert wird, dass das erste strukturierte Licht (7_a) im Sichtfeld der zweiten Kamera (2_b) der zweiten Aufnahmeeinrichtung (1_b) liegt,

und wobei das Bestimmen der Lage des Objekts (12; 22; 32) im Raum-Koordinatensystem zusätzlich aus

- den Positionen (P_a, P_b) der Aufnahmeeinrichtungen ($1_a, 1_b$),

- der durch die Winkelmesseinheiten (4_a , 4_b) erfassten Winkelausrichtungen des ersten Emitters (6_a) und der zweiten Kamera (2_b) und
 - den das erste strukturierte Licht (7_a) abbildenden Bildaufnahmen der zweiten Kamera (2_b)
- 5 mittels Triangulation erfolgt.

26. Verfahren nach Anspruch 25, wobei

zumindest die zweite Aufnahmeeinrichtung (1_b)

- 10 • einen zweiten Emitter (6_b) aufweist,
 - der zum Emittieren eines zweiten strukturierten Lichts (7_b) innerhalb des zweiten Sichtfelds (8_b) der zweiten Kamera (2_b) ausgebildet ist,
 - der gemeinsam mit der zweiten Kamera (2_b) mittels der
 - 15 zweiten Antriebseinheit (3_b) ausrichtbar ist und
 - dessen Winkelausrichtung mittels der im Raum-Koordinatensystem kalibrierten zweiten Winkelmesseinheit (4_b) hochpräzise erfassbar ist,

wobei im Schritt des Aufnehmens der Bildaufnahmen

- 20 • das zweite strukturierte Licht (7_b) von dem zweiten Emitter (6_b) derart auf zumindest den Teil der Merkmale (13 ; 23 ; 33) des Objekts (12 ; 22 ; 32) projiziert wird, dass das zweite strukturierte Licht (7_b) im Sichtfeld der ersten Kamera (2_a) der ersten Aufnahmeeinrichtung
- 25 (1_a) liegt,

und wobei das Bestimmen der Lage des Objekts (12 ; 22 ; 32) im Raum-Koordinatensystem zusätzlich aus

- den Positionen (P_a , P_b) der Aufnahmeeinrichtungen (1_a , 1_b),
- 30 • der durch die Winkelmesseinheiten (4_a , 4_b) erfassten Winkelausrichtungen des zweiten Emitters (6_b) und der ersten Kamera (2_a) und

- den das zweite strukturierte Licht (7_b) abbildenden Bildaufnahmen der ersten Kamera (2_a) und
 - der Kenntnis der Merkmale (13; 23; 33) auf dem Objekt (12; 22; 32)
- 5 mittels Triangulation erfolgt.

27. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 26,
mit

- einer in einer bekannten dritten Position (P_c) und mit
10 einer bekannten Ausrichtung angeordneten Emissionseinrichtung (1_c), die
 - einen dritten Emitter (6_c) aufweist,
 - der zum Emittieren eines dritten strukturierten Lichts (7_c) ausgebildet ist,
 - 15 • der mittels einer dritten Antriebseinheit (3_c) ausrichtbar ist und
 - dessen Winkelausrichtung mittels einer im Raum-Koordinatensystem kalibrierten dritten Winkelmesseinheit (4_c) hochpräzise erfassbar ist,
- 20 wobei im Schritt des Aufnehmens der Bildaufnahmen
- das dritte strukturierte Licht (7_c) vom dem dritten Emitter (6_c) derart auf das Objekt (12; 22; 32) projiziert wird, dass das dritte strukturierte Licht (7_c) im Sichtfeld der ersten Kamera (2_a) der ersten
25 Aufnahmeeinrichtung (1_a) liegt,
- und wobei das Bestimmen der Lage des Objekts (12; 22; 32) im Raum-Koordinatensystem zusätzlich aus
- der Position (P_a) der ersten Aufnahmeeinrichtung (1_a),
 - der durch die erste Winkelmesseinheit (4_a) erfassten
30 Winkelausrichtung der ersten Kamera (2_a)
 - der durch die dritte Winkelmesseinheit (4_c) erfassten Winkelausrichtung des dritten Emitters (6_c) und

- den das dritte strukturierte Licht (7_c) abbildenden Bildaufnahmen der ersten Kamera (2_a) mittels Triangulation erfolgt.

5 28. Verfahren nach einem der Ansprüche 25 bis 27, wobei das strukturierte Licht (7_a ; 7_b ; 7_c) als projizierte Laserlinie ausgebildet ist.

10 29. Verfahren nach einem der Ansprüche 25 bis 27, wobei das strukturierte Licht (7_a ; 7_b ; 7_c) als in Form einer Laserlinie gefächert projizierter Laserpunkt ausgebildet ist.

15 30. Verfahren nach einem der Ansprüche 25 bis 27, wobei das strukturierte Licht (7_a ; 7_b ; 7_c) als ein zweidimensional projiziertes Muster, insbesondere ein Laserraster, ausgebildet ist.

20 31. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 30, wobei

- zumindest die erste Aufnahmeeinrichtung (1_a) einen ersten Laserdistanzmesser (5_a) aufweist,
 - der gemeinsam mit der ersten Kamera (2_a) mittels der ersten Antriebseinheit (3_a) ausrichtbar ist und
 - dessen Winkelausrichtung mittels der im Raum-Koordinatensystem kalibrierten ersten

25 Winkelmesseinheit (4_a) hochpräzise erfassbar ist.

30 32. Verfahren nach Anspruch 31, wobei

- die Position (P_a) der ersten Aufnahmeeinrichtung (1_a) im Raum-Koordinatensystem durch Zielen auf ortsfeste Zielmarken (T) mittels des ersten Laserdistanzmessers (5_a) bestimmt wird.

33. Verfahren nach Anspruch 31 oder 32, wobei

- das Bestimmen der Lage des Objekts (12; 22; 32) im Raum-Koordinatensystem zusätzlich erfolgt durch Zielen auf die Merkmale (13; 23; 33) auf dem Objekt (12; 22; 32).

5

34. System zum hochpräzisen Positionieren mindestens eines Objekts in eine Endlage im Raum mittels eines Industrieroboters, mit

- 10 • einem in vorgebbare Stellungen verstellbaren ersten Industrieroboter (11),
- einer ersten optischen Aufnahmeeinrichtung (1_a), die in einem dreidimensionalen Raum-Koordinatensystem kalibriert und in einer bekannten ersten Position (P_a)
15 mit einer bekannten Ausrichtung positioniert ist, mit
 - einer optisch kalibrierten ersten Kamera (2_a) zur Bildaufnahme innerhalb eines bestimmten ersten Sichtfelds (8_a),
 - einer ersten Antriebseinheit (3_a) zum - ein Verstellen
20 des ersten Sichtfelds (8_a) bewirkenden - Ausrichten der ersten Kamera (2_a) und
 - einer im Raum-Koordinatensystem kalibrierten ersten Winkelmesseinheit (4_a) zum hochpräzisen Erfassen der Winkelausrichtung der ersten Kamera (2_a), so dass das
25 erste Sichtfeld (8_a) im Raum-Koordinatensystem bestimmbar ist,
- mindestens einer zweiten optischen Aufnahmeeinrichtung (1_b), die in dem dreidimensionalen Raum-Koordinatensystem kalibriert und in einer bekannten
30 zweiten Position (P_b) mit einer bekannten Ausrichtung positioniert ist, mit

- 5
- einer optisch kalibrierten zweiten Kamera (2_b) zur Bildaufnahme innerhalb eines bestimmten zweiten Sichtfelds (8_b),
 - einer zweiten Antriebseinheit (3_b) zum - ein Verstellen des zweiten Sichtfelds (8_b) bewirkenden - Ausrichten der zweiten Kamera (2_b) und
 - einer im Raum-Koordinatensystem kalibrierten zweiten Winkelmesseinheit (4_b) zum hochpräzisen Erfassen der Winkelausrichtung der zweiten Kamera (2_b), so dass das
- 10
- zweite Sichtfeld (8_b) im Raum-Koordinatensystem bestimmbar ist,
- wobei die mindestens zwei Positionen (P_a, P_b) derart beabstandet sind, dass eine dreidimensionale Bildaufnahme des mindestens einen Objekts mittels der
- 15
- mindestens zwei Aufnahmeeinrichtungen (1_a, 1_b) durch zumindest teilweise überscheidende Sichtfelder (8_a, 8_b) ermöglicht ist, und
- einer Steuervorrichtung (9), die eine zur Bildverarbeitung ausgebildete
- 20
- Datenverarbeitungseinrichtung aufweist,
- wobei die Steuervorrichtung (9) mit dem ersten Industrieroboter (11) und den mindestens zwei optischen Aufnahmeeinrichtungen (1_a, 1_b) derart in Datenverbindung steht, dass
- 25
- der Steuervorrichtung (9) die von den Kameras (2_a, 2_b) aufgenommene Bildaufnahmen zugeführt werden,
 - der Steuervorrichtung (9) die von den Winkelmesseinheiten (4_a; 4_b) erfassten Winkelausrichtungen der Kameras (2_a; 2_b) zugeführt
- 30
- werden,
- die Antriebseinheiten (3_a; 3_b) mittels der Steuervorrichtung (9) zum Ausrichten der Kameras (2_a, 2_b) angesteuert werden und

- der erste Industrieroboter (11) in Stellungen, die durch die Steuervorrichtung (9) vorgegeben werden, verstellt wird,

wobei die Steuervorrichtung (9) und deren

5 Datenverarbeitungseinrichtung derart ausgebildet sind, dass

- ein erstes Objekt (12), das der Steuervorrichtung (9) bekannte optisch erfassbare erste Merkmale aufweist (13), von dem ersten Industrieroboter (11) innerhalb
10 einer Greiftoleranz gegriffen wird und gehalten wird,
- eine derartige, die Greiftoleranz korrigierende erste Abgleichgrösse für den ersten Industrieroboter (11) durch die Steuervorrichtung (9) bestimmt wird, dass das erste Objekt (12) im Raum-Koordinatensystem durch
15 Vorgabe einer Stellung des ersten Industrieroboters (11) abgeglichen verstellbar ist, wobei das Bestimmen der ersten Abgleichgrösse mittels der Steuervorrichtung (9) erfolgt durch die Schritte
 - Ausrichten der mindestens zwei Kameras (2_a , 2_b)
20 jeweils mittels der Antriebseinheit (3_a ; 3_b) mit sich zumindest teilweise überschneidenden Sichtfeldern (8_a , 8_b) auf zumindest einen Teil der ersten Merkmale (13) des ersten Objekts (12), das in einer ersten Abgleichstellung des ersten Industrieroboters (11) gehaltenen wird,
25
 - Aufnehmen erster Bildaufnahmen,
 - Bestimmen der Lage des ersten Objekts (12) im Raum-Koordinatensystem in der ersten Abgleichstellung des ersten Industrieroboters (11) aus
30
 - den Positionen (P_a , P_b) der Aufnahmeeinrichtungen (1_a , 1_b),
 - den durch die Winkelmesseinheiten (4_a , 4_b) erfassten Winkelausrichtungen der Kameras (2_a , 2_b),

- den ersten Bildaufnahmen und
 - der Kenntnis der ersten Merkmale (13) auf dem ersten Objekt (12),
- und
- 5 ▫ Bestimmen der ersten Abgleichgrösse durch Heranziehen
- der ersten Abgleichstellung des ersten Industrieroboters (11) und
 - zumindest der bestimmten Lage des ersten Objekts (12) in der ersten Abgleichstellung des ersten Industrieroboters (11)
- 10 und
- das erste Objekt (12) durch die Steuervorrichtung (9) hochpräzise in eine erste Endlage verstellt wird durch die sich bis zum Erreichen der ersten Endlage in einer vorgegebenen Toleranz wiederholenden Schritte
- 15 ▫ Aufnehmen weiterer erster Bildaufnahmen,
- Bestimmen der aktuellen Lage des ersten Objekts (12) im Raum-Koordinatensystem aus
- den Positionen (P_a , P_b) der Aufnahmeeinrichtungen (1_a , 1_b),
 - den durch die Winkelmesseinheiten (4_a , 4_b) erfassten Winkelausrichtungen der Kameras (2_a , 2_b),
 - den weiteren ersten Bildaufnahmen und
 - der Kenntnis der ersten Merkmale (13) auf dem ersten Objekt (12),
- 20 ▫ Berechnen der Lagedifferenz zwischen der aktuellen Lage des ersten Objekts (12) und der ersten Endlage,
- Berechnen einer neuen Sollstellung des ersten Industrieroboters (11) unter Berücksichtigung der ersten Abgleichgrösse aus
- 25 · der aktuellen Stellung des ersten Industrieroboters (11) und
- 30 · einer mit der Lagedifferenz verknüpften Grösse,

und

- Verstellen des ersten Industrieroboters (11) in die neue Sollstellung.

- 5 35. System zum hochpräzisen Positionieren mindestens eines Objekts in eine Endlage im Raum mittels eines Industrieroboters, mit
- einem in vorgebbare Stellungen verstellbaren ersten Industrieroboter (11),
 - 10 • einer ersten optischen Aufnahmeeinrichtung (1_a), die in einem dreidimensionalen Raum-Koordinatensystem kalibriert und in einer bekannten ersten Position (P_a) mit einer bekannten Ausrichtung positioniert ist, mit
 - einer optisch kalibrierten ersten Kamera (2_a) zur
 - 15 Bildaufnahme innerhalb eines bestimmten ersten Sichtfelds (8_a),
 - einer ersten Antriebseinheit (3_a) zum - ein Verstellen des ersten Sichtfelds (8_a) bewirkenden - Ausrichten der ersten Kamera (2_a) und
 - 20 ▫ einer im Raum-Koordinatensystem kalibrierten ersten Winkelmesseinheit (4_a) zum hochpräzisen Erfassen der Winkelausrichtung der ersten Kamera (2_a), so dass das erste Sichtfeld (8_a) im Raum-Koordinatensystem bestimmbar ist,
 - 25 • mindestens einer zweiten optischen Aufnahmeeinrichtung (1_b), die in dem dreidimensionalen Raum-Koordinatensystem kalibriert und in einer bekannten zweiten Position (P_b) mit einer bekannten Ausrichtung positioniert ist, mit
 - 30 ▫ einer optisch kalibrierten zweiten Kamera (2_b) zur Bildaufnahme innerhalb eines bestimmten zweiten Sichtfelds (8_b),

- 5 ▫ einer zweiten Antriebseinheit (3_b) zum - ein
Verstellen des zweiten Sichtfelds (8_b) bewirkenden -
Ausrichten der zweiten Kamera (2_b) und
- 5 ▫ einer im Raum-Koordinatensystem kalibrierten zweiten
Winkelmesseinheit (4_b) zum hochpräzisen Erfassen der
Winkelausrichtung der zweiten Kamera (2_b), so dass das
zweite Sichtfeld (8_b) im Raum-Koordinatensystem
bestimmbar ist,
wobei die mindestens zwei Positionen (P_a, P_b) derart
10 beabstandet sind, dass eine dreidimensionale
Bilddaufnahme des mindestens einen Objekts mittels der
mindestens zwei Aufnahmeeinrichtungen (1_a, 1_b) durch
zumindest teilweise überscheidende Sichtfelder (8_a, 8_b)
ermöglicht ist, und
- 15 • einer Steuervorrichtung (9), die eine zur
Bildverarbeitung ausgebildete
Datenverarbeitungseinrichtung aufweist,
wobei die Steuervorrichtung (9) mit dem ersten
Industrieroboter (11) und den mindestens zwei optischen
20 Aufnahmeeinrichtungen (1_a, 1_b) derart in Datenverbindung
steht, dass
- 25 • der Steuervorrichtung (9) die von den Kameras (2_a, 2_b)
aufgenommene Bilddaufnahmen zugeführt werden,
• der Steuervorrichtung (9) die von den
Winkelmesseinheiten (4_a; 4_b) erfassten
Winkelausrichtungen der Kameras (2_a; 2_b) zugeführt
werden,
- 30 • die Antriebseinheiten (3_a; 3_b) mittels der
Steuervorrichtung (9) zum Ausrichten der Kameras (2_a,
2_b) angesteuert werden und
- der erste Industrieroboter (11) in Stellungen, die durch
die Steuervorrichtung (9) vorgegeben werden, verstellt
wird,

wobei die Steuervorrichtung (9) und deren Datenverarbeitungseinrichtung zum Ausführen des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1, 2, 3, 14 bis 33 ausgebildet ist.

5

36. System zum hochpräzisen Positionieren mindestens eines Objekts in eine Endlage im Raum mittels eines Industrieroboters, mit

10

- einem in vorgebbare Stellungen verstellbaren ersten Industrieroboter (11),
- einem in vorgebbare Stellungen verstellbaren zweiten Industrieroboter (21),
- einer ersten optischen Aufnahmeeinrichtung (1_a), die in

15

einem dreidimensionalen Raum-Koordinatensystem kalibriert und in einer bekannten ersten Position (P_a) mit einer bekannten Ausrichtung positioniert ist, mit

- einer optisch kalibrierten ersten Kamera (2_a) zur Bildaufnahme innerhalb eines bestimmten ersten Sichtfelds (8_a),

20

- einer ersten Antriebseinheit (3_a) zum - ein Verstellen des ersten Sichtfelds (8_a) bewirkenden - Ausrichten der ersten Kamera (2_a) und

25

- einer im Raum-Koordinatensystem kalibrierten ersten Winkelmesseinheit (4_a) zum hochpräzisen Erfassen der Winkelausrichtung der ersten Kamera (2_a), so dass das erste Sichtfeld (8_a) im Raum-Koordinatensystem bestimmbar ist,

30

- mindestens einer zweiten optischen Aufnahmeeinrichtung (1_b), die in dem dreidimensionalen Raum-Koordinatensystem kalibriert und in einer bekannten zweiten Position (P_b) mit einer bekannten Ausrichtung positioniert ist, mit

- 5
- einer optisch kalibrierten zweiten Kamera (2_b) zur Bildaufnahme innerhalb eines bestimmten zweiten Sichtfelds (8_b),
 - einer zweiten Antriebseinheit (3_b) zum - ein Verstellen des zweiten Sichtfelds (8_b) bewirkenden - Ausrichten der zweiten Kamera (2_b) und
 - einer im Raum-Koordinatensystem kalibrierten zweiten Winkelmesseinheit (4_b) zum hochpräzisen Erfassen der Winkelausrichtung der zweiten Kamera (2_b), so dass das
- 10 zweite Sichtfeld (8_b) im Raum-Koordinatensystem bestimmbar ist,
- wobei die mindestens zwei Positionen (P_a, P_b) derart beabstandet sind, dass eine dreidimensionale Bildaufnahme des mindestens einen Objekts mittels der
- 15 mindestens zwei Aufnahmeeinrichtungen (1_a, 1_b) durch zumindest teilweise überscheidende Sichtfelder (8_a, 8_b) ermöglicht ist, und
- einer Steuervorrichtung (9), die eine zur Bildverarbeitung ausgebildete
- 20 Datenverarbeitungseinrichtung aufweist,
- wobei die Steuervorrichtung (9) mit dem ersten Industrieroboter (11), dem zweiten Industrieroboter (21) und den mindestens zwei optischen Aufnahmeeinrichtungen (1_a, 1_b) derart in Datenverbindung steht, dass
- 25
- der Steuervorrichtung (9) die von den Kameras (2_a, 2_b) aufgenommene Bildaufnahmen zugeführt werden,
 - der Steuervorrichtung (9) die von den Winkelmesseinheiten (4_a; 4_b) erfassten Winkelausrichtungen der Kameras (2_a; 2_b) zugeführt
- 30 werden,
- die Antriebseinheiten (3_a; 3_b) mittels der Steuervorrichtung (9) zum Ausrichten der Kameras (2_a, 2_b) angesteuert werden und

- der erste Industrieroboter (11) und der zweite Industrieroboter in Stellungen, die durch die Steuervorrichtung (9) vorgegeben werden, verstellt werden, und

5 wobei die Steuervorrichtung (9) und deren Datenverarbeitungseinrichtung zum Ausführen des Verfahrens nach einem der Ansprüche 4 bis 11 ausgebildet ist.

37. System zum hochpräzisen Positionieren mindestens eines
10 Objekts in eine Endlage im Raum mittels eines Industrieroboters, mit

- einem in vorgebbare Stellungen verstellbaren ersten Industrieroboter (11),
- einem in vorgebbare Stellungen verstellbaren zweiten
15 Industrieroboter (21),
- einem in vorgebbare Stellungen verstellbaren dritten Industrieroboter (31), der ein als Bearbeitungswerkzeug ausgebildetes drittes Objekt (32) innerhalb einer Haltetoleranz hält, wobei das Bearbeitungswerkzeug (32)
20 oder ein hierzu gekoppeltes Teil des dritten Industrieroboters (31) bekannte optisch erfassbare dritte Merkmale (33) aufweist,
- einer ersten optischen Aufnahmeeinrichtung (1_a), die in einem dreidimensionalen Raum-Koordinatensystem
25 kalibriert und in einer bekannten ersten Position (P_a) mit einer bekannten Ausrichtung positioniert ist, mit
 - einer optisch kalibrierten ersten Kamera (2_a) zur Bildaufnahme innerhalb eines bestimmten ersten Sichtfelds (8_a),
 - 30 ▫ einer ersten Antriebseinheit (3_a) zum - ein Verstellen des ersten Sichtfelds (8_a) bewirkenden - Ausrichten der ersten Kamera (2_a) und

- 5 ▫ einer im Raum-Koordinatensystem kalibrierten ersten Winkelmesseinheit (4_a) zum hochpräzisen Erfassen der Winkelausrichtung der ersten Kamera (2_a), so dass das erste Sichtfeld (8_a) im Raum-Koordinatensystem bestimmbar ist,
- 10 • mindestens einer zweiten optischen Aufnahmeeinrichtung (1_b), die in dem dreidimensionalen Raum-Koordinatensystem kalibriert und in einer bekannten zweiten Position (P_b) mit einer bekannten Ausrichtung positioniert ist, mit
- einer optisch kalibrierten zweiten Kamera (2_b) zur Bildaufnahme innerhalb eines bestimmten zweiten Sichtfelds (8_b),
- 15 ▫ einer zweiten Antriebseinheit (3_b) zum - ein Verstellen des zweiten Sichtfelds (8_b) bewirkenden - Ausrichten der zweiten Kamera (2_b) und
- 20 ▫ einer im Raum-Koordinatensystem kalibrierten zweiten Winkelmesseinheit (4_b) zum hochpräzisen Erfassen der Winkelausrichtung der zweiten Kamera (2_b), so dass das zweite Sichtfeld (8_b) im Raum-Koordinatensystem bestimmbar ist,
- wobei die mindestens zwei Positionen (P_a, P_b) derart beabstandet sind, dass eine dreidimensionale Bildaufnahme des mindestens einen Objekts mittels der
- 25 mindestens zwei Aufnahmeeinrichtungen (1_a, 1_b) durch zumindest teilweise überscheidende Sichtfelder (8_a, 8_b) ermöglicht ist, und
- 30 • einer Steuervorrichtung (9), die eine zur Bildverarbeitung ausgebildete Datenverarbeitungseinrichtung aufweist,
- wobei die Steuervorrichtung mit dem ersten Industrieroboter (11), dem zweiten Industrieroboter (21), dem dritten Industrieroboter (31) und den mindestens zwei

optischen Aufnahmeeinrichtungen (1_a , 1_b) derart in Datenverbindung steht, dass

- der Steuervorrichtung (9) die von den Kameras (2_a , 2_b) aufgenommene Bildaufnahmen zugeführt werden,

5

- der Steuervorrichtung (9) die von den Winkelmesseinheiten (4_a , 4_b) erfassten Winkelausrichtungen der Kameras (2_a ; 2_b) zugeführt werden,

10

- die Antriebseinheiten (3_a ; 3_b) mittels der Steuervorrichtung (9) zum Ausrichten der Kameras (2_a , 2_b) angesteuert werden, und

- der erste Industrieroboter (11), der zweite Industrieroboter (21) und der dritte Industrieroboter (31) in Stellungen, die durch die Steuervorrichtung (9) vorgegeben werden, verstellt werden, und

15

wobei die Steuervorrichtung (9) zum Ausführen des Verfahrens nach einem der Ansprüche 12 oder 13 ausgebildet ist.

20 38. System nach einem der Ansprüche 34 bis 37, wobei die mindestens zwei Aufnahmeeinrichtungen (1_a , 1_b) jeweils derart ausgebildet sind, dass

- die Kamera (2_a ; 2_b) mittels der Antriebseinheit (3_a ; 3_b) um jeweils eine in Bezug auf das Raum-Koordinatensystem horizontale Kippachse (H_a ; H_b) und eine vertikale Stehachse (V_a ; V_b) ausrichtbar ist und

25

- durch die Winkelmesseinheit (4_a ; 4_b) jeweils die horizontale Winkelausrichtung (α_a ; α_b) um die Stehachse (V_a ; V_b) und die vertikale Winkelausrichtung (β_a ; β_b) um die Kippachse (H_a ; H_b) im Raum-Koordinatensystem erfasst werden.

30

39. System nach Anspruch 38, wobei sich die horizontale Kippachse (H_a ; H_b) und die vertikale Stehachse (V_a ; V_b) im Wesentlichen schneiden.
- 5 40. System nach Anspruch 39, wobei die mindestens zwei Aufnahmeeinrichtungen (1_a , 1_b) jeweils als Video-Theodolit ausgebildet sind.

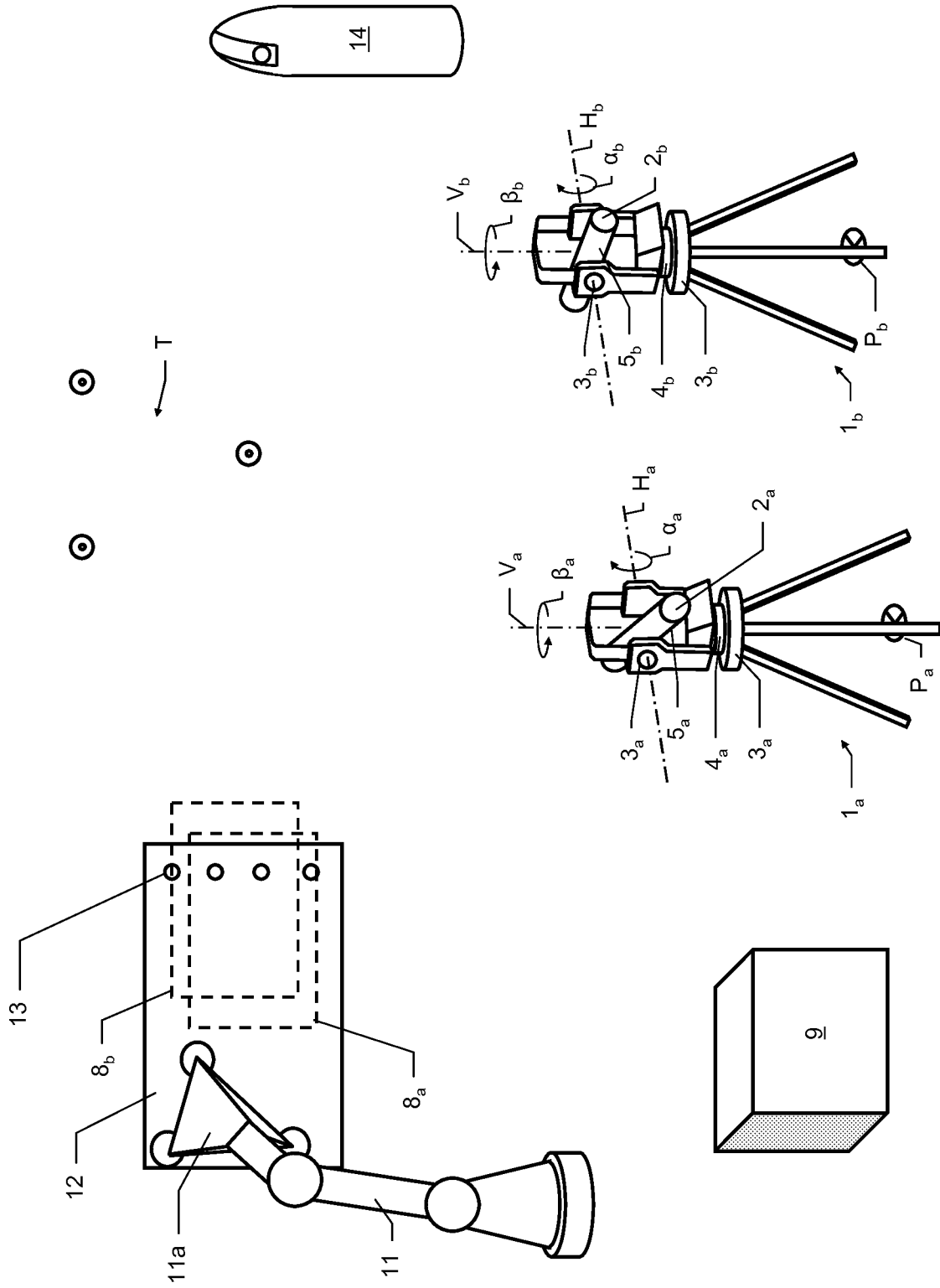


Fig. 1a

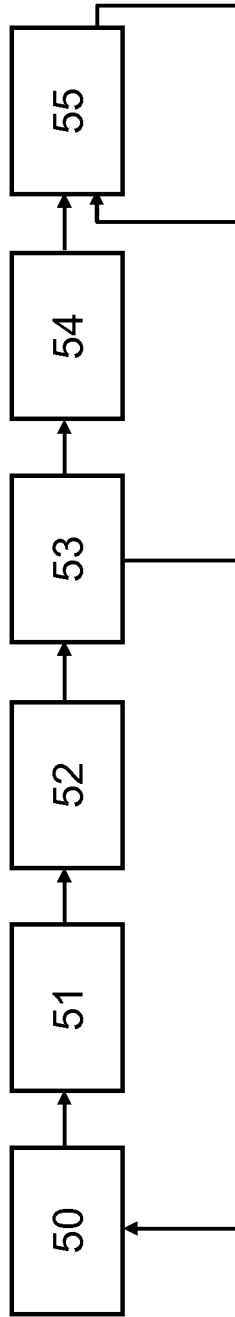


Fig. 1b

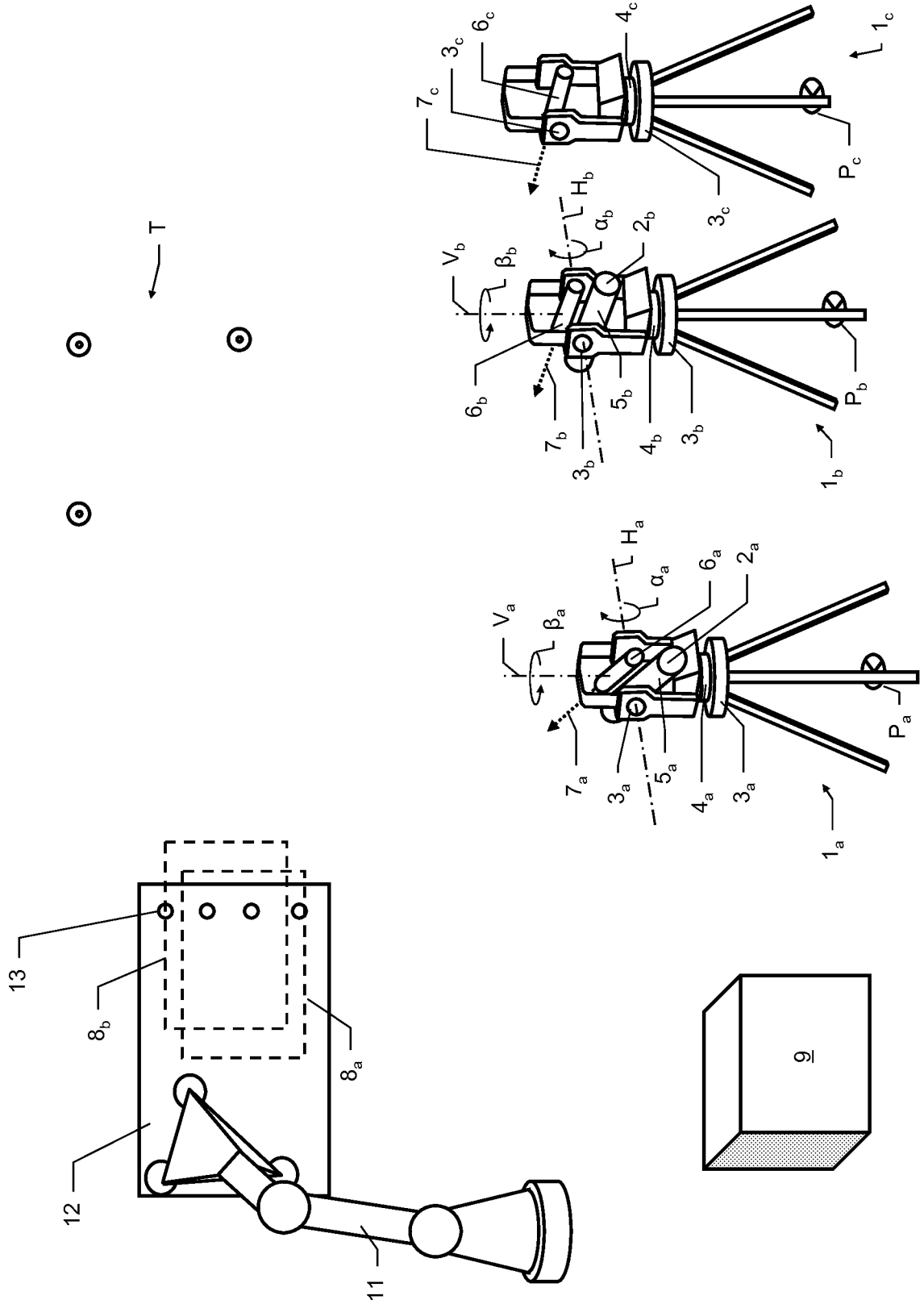


Fig. 2

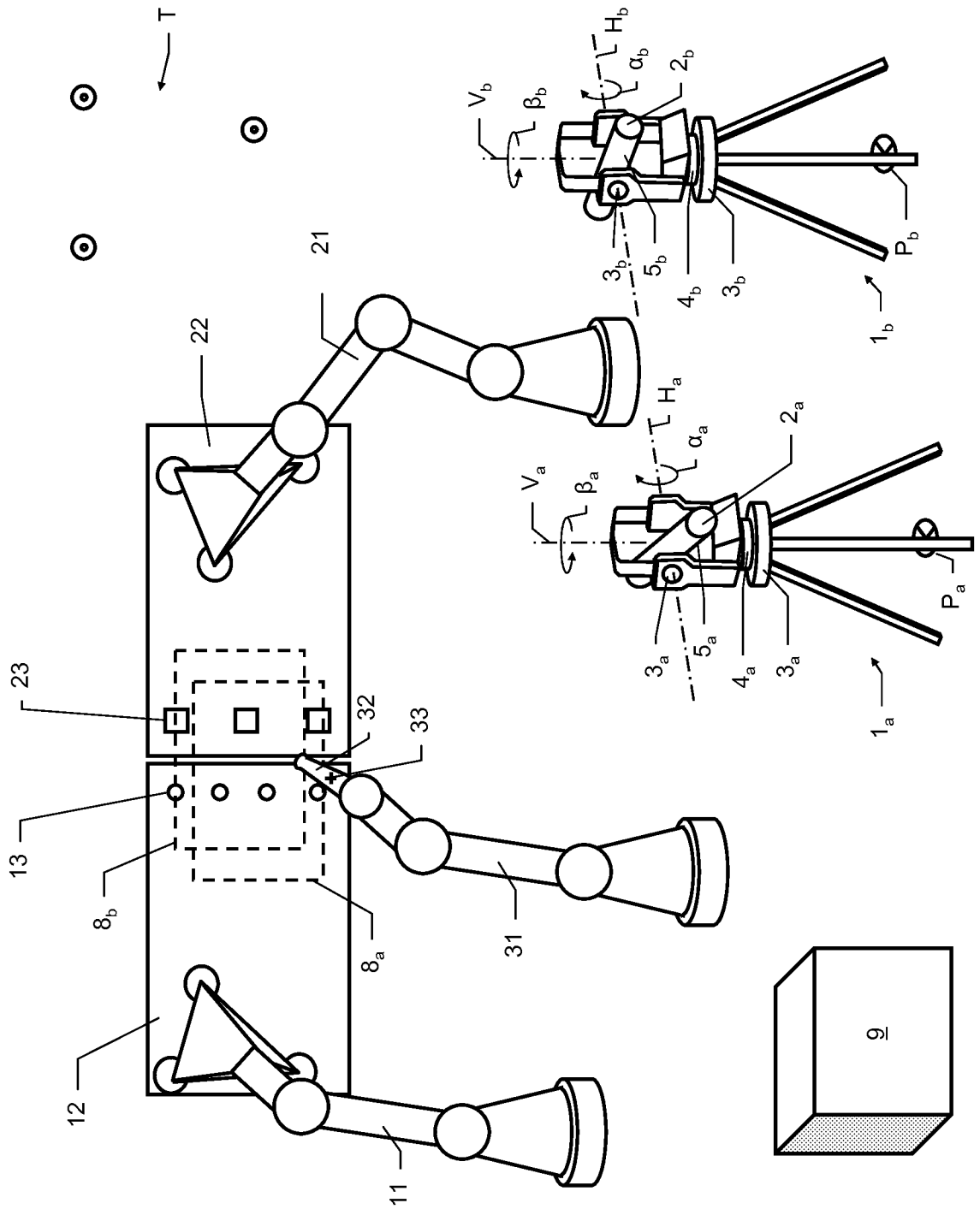


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2008/067725

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. B25J9/16		
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) B25J G01C		
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 practical, 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.
A	EP 1 431 705 A (VMT BILDVERARBEITUNGSSYSTEME G [DE]) 23 June 2004 (2004-06-23) abstract; figure paragraph [0021] paragraph [0024] paragraphs [0025] - [0027] paragraph [0029]	1-40
A	US 4 396 945 A (DIMATTEO PAUL ET AL) 2 August 1983 (1983-08-02) abstract; figure 2 column 1, line 6 - line 12 column 2, line 53 - column 3, line 28 ----- -/--	1-40
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 document 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 3 März 2009		Date of mailing of the international search report 20/03/2009
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Lumineau, Stéphane

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2008/067725

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 851 905 A (PRYOR TIMOTHY R [CA]) 25 July 1989 (1989-07-25) cited in the application the whole document -----	1-40
A	US 4 796 200 A (PRYOR TIMOTHY R [CA]) 3 January 1989 (1989-01-03) the whole document -----	1-40
A	JP 2003 117861 A (DENSO CORP; TOYOTA CENTRAL RES & DEV) 23 April 2003 (2003-04-23) abstract; figure 1 -----	1-40

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2008/067725

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1431705	A	23-06-2004	NONE	
US 4396945	A	02-08-1983	NONE	
US 4851905	A	25-07-1989	NONE	
US 4796200	A	03-01-1989	NONE	
JP 2003117861	A	23-04-2003	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2008/067725

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. B25J9/16		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) B25J G01C		
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.
A	EP 1 431 705 A (VMT BILDVERARBEITUNGSSYSTEME G [DE]) 23. Juni 2004 (2004-06-23) Zusammenfassung; Abbildung Absatz [0021] Absatz [0024] Absätze [0025] - [0027] Absatz [0029]	1-40
A	US 4 396 945 A (DIMATTEO PAUL ET AL) 2. August 1983 (1983-08-02) Zusammenfassung; Abbildung 2 Spalte 1, Zeile 6 - Zeile 12 Spalte 2, Zeile 53 - Spalte 3, Zeile 28 ----- -/-	1-40
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> 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* älteres Dokument, 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 anderen 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 3. März 2009		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 20/03/2009
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Lumineau, Stéphane

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 4 851 905 A (PRYOR TIMOTHY R [CA]) 25. Juli 1989 (1989-07-25) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1-40
A	US 4 796 200 A (PRYOR TIMOTHY R [CA]) 3. Januar 1989 (1989-01-03) das ganze Dokument -----	1-40
A	JP 2003 117861 A (DENSO CORP; TOYOTA CENTRAL RES & DEV) 23. April 2003 (2003-04-23) Zusammenfassung; Abbildung 1 -----	1-40

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2008/067725

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1431705	A	23-06-2004	KEINE	
US 4396945	A	02-08-1983	KEINE	
US 4851905	A	25-07-1989	KEINE	
US 4796200	A	03-01-1989	KEINE	
JP 2003117861	A	23-04-2003	KEINE	