



(10) **DE 10 2013 211 492 B4** 2020.10.15

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 211 492.3**  
(22) Anmeldetag: **19.06.2013**  
(43) Offenlegungstag: **24.12.2014**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **15.10.2020**

(51) Int Cl.: **G01C 1/04 (2006.01)**  
**G01B 11/24 (2006.01)**  
**G06K 9/03 (2006.01)**

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

(73) Patentinhaber:  
**Trimble Jena GmbH, 07745 Jena, DE**

(74) Vertreter:  
**HOFFMANN - EITLE Patent- und Rechtsanwälte  
PartmbB, 81925 München, DE**

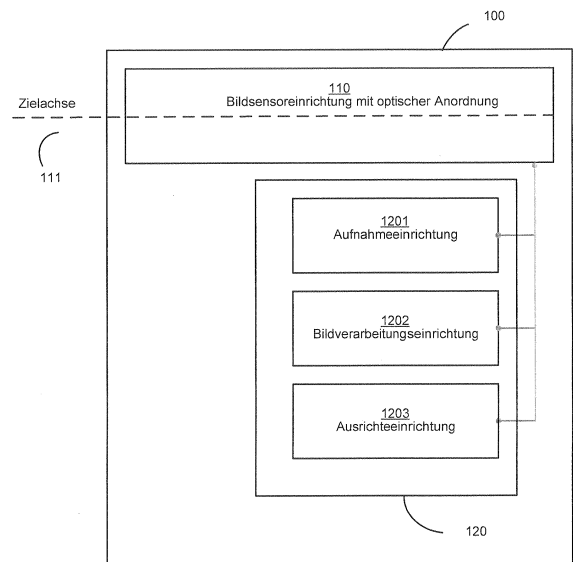
(72) Erfinder:  
**Vogel, Michael, Dr., 07629 Schleifreisen, DE;  
Glimm, Andreas, 99425 Weimar, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

<b>DE</b>	<b>10 2007 003 586</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2007 / 0 104 353</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2011 / 0 023 578</b>	<b>A1</b>
<b>EP</b>	<b>2 523 017</b>	<b>A1</b>

(54) Bezeichnung: **Bestimmung eines Messfehlers**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung zur Bestimmung eines Messfehlers einer Messeinrichtung (100; 500), mit:  
einer Aufnahmeeinrichtung (1201; 1501) zum Aufnehmen eines ersten digitalen Bildes mit einer Vielzahl von Pixeln mittels einer Bildsensoreinrichtung (110), wobei eine Zielachse einer optischen Anordnung der Bildsensoreinrichtung in einer ersten Lage ausgerichtet ist;  
eine Bildverarbeitungseinrichtung (1202; 1502) zum Bestimmen eines charakteristischen Bildbereichs im ersten digitalen Bild und zum Bestimmen von Pixelpositionen von Pixeln des charakteristischen Bildbereichs auf der Bildsensoreinrichtung;  
einer Ausrichteeinrichtung (1203; 1503) zum Ausrichten der Zielachse der optischen Anordnung der Bildsensoreinrichtung in einer zweiten Lage, wobei in der zweiten Lage die Bildsensoreinrichtung mit der optischen Anordnung in der gleichen Richtung wie in der ersten Lage ausgerichtet ist, jedoch mit innerem Wenden infolge Durchschlagens;  
wobei die Bildverarbeitungseinrichtung (1202; 1502) angepasst ist, den charakteristischen Bildbereich in einem mit der Aufnahmeeinrichtung (1201; 1501) in der zweiten Lage der Bildsensoreinrichtung erlangten zweiten digitalen Bild aufzufinden, wobei dazu das erste oder das zweite digitale Bild um 180 Grad in der Bildebene rotiert ist, Pixelpositionen von Pixeln des charakteristischen Bildbereichs im zweiten digitalen Bild auf der Bildsensoreinrichtung zu bestimmen, und einen Versatz zwischen den Pixelpositionen des charakteristischen Bildbereichs im ersten ...



## Beschreibung

### Technischer Hintergrund

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Bestimmung eines Messfehlers einer Messeinrichtung.

**[0002]** Messeinrichtungen, beispielsweise für optische Vermessungen enthalten für gewöhnlich eine Anordnung optischer Einrichtungen, die auf ein Objekt ausgerichtet werden können. Mittels zugehöriger Messskalen können Winkel, Positions- oder andere Messungen z.B. hinsichtlich der Lage des Objektes zur Messeinrichtung durchgeführt werden.

**[0003]** Solche Messeinrichtungen können allgemein optische Instrumente sein, wie beispielsweise Tachymeter, Video-Tachymeter oder Totalstationen. Die optische Anordnung des Messinstruments kann dabei ein Fernrohr sein, das mittels eines Okulars es ermöglicht, ein Objekt anzuzielen. Das optische Instrument kann auch eine Kamera oder Videokamera enthalten, mittels derer ein Abbild des Objekts erstellt werden kann.

**[0004]** Fig. 11 zeigt beispielhaft eine solche Messeinrichtung, allgemein mit Bezugszeichen 1100 veranschaulicht. Die optische Anordnung 1101 der Messeinrichtung ist dabei in einer vertikalen Ebene um eine erste vorzugsweise horizontale Achse 1150 drehbar, um eine sogenannte Kippachse, so dass Objekte in unterschiedlicher Höhenlage zum Messinstrument angezielt werden können. Daneben ist die optische Anordnung 1101 beispielsweise auf einem Stativteller 1102 um eine vorzugsweise senkrechte Achse 1151, auch Stehachse, drehbar gelagert, um Objekte in unterschiedlichen horizontalen Richtungen zur Messeinrichtung 1100 anzielen zu können. An der Messeinrichtung sind analoge oder digitale Messskalen für beispielsweise die gemessenen Winkel vorgesehen. Auch Mittel zum Messen bzw. Abschätzen einer Entfernung zum Objekt können vorhanden sein.

**[0005]** Die Messung von Objekten muss mit großer Sorgfalt durchgeführt werden, um zum Beispiel bei Bauvorhaben eine entsprechende Genauigkeit einhalten zu können.

**[0006]** Die Messeinrichtungen sind jedoch in der realen Welt nicht beliebig genau, so dass jede Messung eines Objektes zu Messergebnissen führt, die mit Fehlern behaftet sind. Diese Fehler können sich bei der weiteren Verarbeitung fortsetzen und zu Problemen führen.

**[0007]** Aufgrund von Herstellungstoleranzen stehen die Drehachsen der Messeinrichtung nicht genau senkrecht aufeinander, sondern mit gewissen Abweichungen dazu. Die Abweichung des Winkels zwi-

schen Kippachse und Stehachse von 90 Grad wird allgemein Kippachsfehler genannt, die Abweichung des Winkels zwischen Kippachse und Zielachse von 90 Grad Seitenkollimationsfehler. Die Zielachse ist dabei eine festgelegte optische Achse eines Fernrohrs oder einer anderen optischen Einrichtung der Messeinrichtung.

**[0008]** Wenn mittels der Messeinrichtung die Winkel zu einem Objekt gemessen werden, ergibt sich zwischen dem tatsächlichen Winkel zu dem Objekt und dem von der Messeinrichtung angezeigten Winkel aus diesen Abweichungen, also dem Kippachsfehler und dem Seitenkollimationsfehler, ein Winkelfehler oder Messfehler, beispielsweise in horizontaler oder vertikaler Richtung. Aus diesem Grund werden die Messeinrichtungen oft vor einer Inbetriebnahme oder während eines laufenden Betriebs in bestimmten Abständen justiert bzw. kalibriert.

**[0009]** In einem allgemein bekannten Verfahren zur Kalibrierung der Messskalen wird die Messeinrichtung zunächst aufgestellt und dann auf ein Objekt ausgerichtet. Dann werden die entsprechenden Winkelmessungen in einer sogenannten ersten Lage vorgenommen, beispielsweise eines horizontalen Winkels und eines vertikalen Winkels zum Objekt. Danach wird die optische Anordnung, z.B. das Fernrohr der Messeinrichtung, wie in Fig. 11 unter Bezugszeichen 1101 veranschaulicht, um 180° um die senkrechte Achse 1151 geschwenkt, sowie um einen Winkel von 360° minus des doppelten des Zenithwinkels, zwischen dem Fernrohr und der senkrechten Achse, um die horizontale Achse 1150, zur Erzielung eines inneren Wendens der Messeinrichtung, welchen Vorgang man Durchschlagen der Messeinrichtung nennt. Diesen Vorgang des inneren Wendens der Messeinrichtung nennt man Durchschlagen der Messeinrichtung. Dabei wird die Messeinrichtung bzw. die optische Anordnung der Messeinrichtung aus der ersten Lage, in der die erste Messung des Objekts durchgeführt wurde, in die zweite Lage übergeführt. In der zweiten Lage wird dann eine zweite Messung des Objekts durchgeführt.

**[0010]** Aus den Winkelmessungen in der ersten Lage und der zweiten Lage können der Kippachsfehler und der Seitenkollimationsfehler bestimmt werden. Eine Kalibrierung kann durchgeführt werden, indem die Messskalen der Messeinrichtung auf Basis des Kippachsfehlers und des Seitenkollimationsfehlers korrigiert werden, so dass für jede folgende Messung die Messfehler eliminiert sind. Eine Kalibrierung kann einmalig durchgeführt werden, oder vor einer Messserie, oder in Abständen zwischen Messungen.

**[0011]** Weiter kann ein Objekt auch grundsätzlich in den beiden Lagen des Instruments angemessen werden, so dass für eine jede einzelne Messung die Fehler korrigiert werden.

**[0012]** Die Kalibrierung kann jedoch, je öfter sie durchgeführt werden wird, einen beachtlichen Zeitaufwand bedeuten, den es zu vermindern gilt.

**[0013]** Die Druckschrift EP 2523017A1 beschreibt Kalibrierungsverfahren für ein Gerät mit Scanfunktionalität. Das Gerät weist eine elektrooptische Entfernungsmesseinrichtung mit einer Laserachse als Zielachse auf, und eine Winkelmesseinrichtung zur Bestimmung einer Winkelstellung einer Ablenkeinheit für den Laserstrahl. Weiter weist das Gerät eine Kamera mit einem Flächenbildsensor auf. Zur Kalibrierung des Gerätes wird eine Messung in zwei Lagen durchgeführt, bei der in jeder Lage das Abbild einer Zieltafel aufgenommen wird. Ein Beispiel einer Zieltafel ist in **Fig. 5a** gezeigt. **Fig. 5b** veranschaulicht das Prinzip der Vermessungen, wobei ein Sichtfeld der Kamera das aufgenommene Bild in der ersten Lage und das in der zweiten Lage zeigt. Eine Überlagerung mit der in der ersten Lage und der zweiten Lage aufgenommenen Bilder der Zieltafel sind in **Fig. 5B** unten dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die beiden Bilder eine Translationen und Rotation gegeneinander aufweisen, wobei gemäß der D1 erläutert wird, dass die Translationen in Zusammenhang mit einem Indexfehler und einer Kippachsenschiefe steht, und die Rotation auf einen Winkelfehler eines Ablenkspiegels bzgl. Kippachse hindeutet.

**[0014]** Die Druckschrift US 2007/0104353 A1 beschreibt ein Verfahren zum Kalibrieren eines Vermessungsgeräts, bei dem Abbilder von Kalibrierungspunkten auf einem Bildsensor verwendet werden. Die Abbilder der Kalibrierungspunkte werden in zwei Lagen aufgenommen, wobei die Kalibrierungspunkte Distanzdaten aufweisen, und die Bilddaten für die Kalibrierungspunkte Bildpositionsdaten und Richtung Daten aufweisen. Eine Kalibrierung wird vorgenommen unter Verwendung zumindest einer optischen Eigenschaft der Kamera und der relativen Richtung der vertikalen Achse und/oder der Kippachse.

#### Zusammenfassung der Erfindung

**[0015]** Vor diesem Hintergrund ist es eine Aufgabe der Erfindung, Messfehler einer Messeinrichtung schnell und sicher zu bestimmen.

**[0016]** Diese Aufgabe der Erfindung wird durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen offenbart.

#### Figurenliste

**Fig. 1** zeigt in einer schematischen Darstellung ein Messinstrument mit der Vorrichtung zur Bestimmung des Messfehlers gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

**Fig. 2** zeigt ein Flussdiagramm von Verfahrensschritten zur Bestimmung eines Messfehlers der Messeinrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

**Fig. 3** zeigt eine schematische Anordnung eines Messinstruments mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Bestimmung eines Messfehlers gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung;

**Fig. 4** zeigt Verfahrensschritte zur Bestimmung eines vertikalen und horizontalen Kollimationsfehlers gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung;

**Fig. 5** zeigt Verfahrensschritte zur Bestimmung eines vertikalen und horizontalen Kollimationsfehlers gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung;

**Fig. 6** zeigt Verfahrensschritte zur Bestimmung eines Drehwinkels und Kippachsfehlers gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung;

**Fig. 7** zeigt Verfahrensschritte eines Kippachsfehlers gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung;

**Fig. 8** zeigt Verfahrensschritte zur iterativen Kalibrierung der Messeinrichtung gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Die **Fig. 9a** bis **Fig. 9g** veranschaulichen Bildschirmhalte bei der Bestimmung der Messfehler der Messeinrichtung gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung;

**Fig. 10** zeigt Verfahrensschritte zur Bestimmung von Messfehlern einer Messeinrichtung gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung;

**Fig. 11** zeigt ein veranschaulichendes Beispiel eines Messinstruments.

#### Detaillierte Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

**[0017]** Während die folgende Beschreibung die einzelnen Ausführungsbeispiele der Erfindung erläutert, versteht es sich, dass die jeweiligen Ausführungsbeispiele miteinander kombiniert werden können und auch einzelne Merkmale von Ausführungsbeispielen mit anderen Ausführungsbeispielen oder deren einzelnen Merkmalen davon kombiniert werden können.

**[0018]** **Fig. 1** zeigt eine Vorrichtung zur Bestimmung eines Messfehlers einer Messeinrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

**[0019]** Die Messeinrichtung ist allgemein mit **100** bezeichnet und umfasst eine Bildsensoreinrichtung mit einer optischen Anordnung **110**, deren Zielachse

**111** auf ein abzubildendes Objekt ausgerichtet werden kann. Mittels der Bildsensoreinrichtung kann beispielsweise ein digitales Abbild des Objektes aufgenommen werden.

**[0020]** Weiter zeigt **Fig. 1** eine Vorrichtung zur Bestimmung eines Messfehlers bzw. Messfehlerbestimmungsvorrichtung **120**, um einen Messfehler der Messeinrichtung **100** zu bestimmen und gegebenenfalls den Messfehler bzw. mehrere Komponenten des Messfehlers zu kompensieren.

**[0021]** Die Messfehlerbestimmungsvorrichtung **120** umfasst eine Aufnahmeeinrichtung **1201** zum Aufnehmen eines ersten digitalen Bildes mit einer Vielzahl von Pixeln unter Verwendung der Bildsensoreinrichtung, wobei eine Zielachse der optischen Anordnung der Bildsensoreinrichtung in einer ersten Lage ausgerichtet ist.

**[0022]** Eine Bildverarbeitungseinrichtung **1202** der Messfehlerbestimmungsvorrichtung **120** ist zum Bestimmen eines charakteristischen Bildbereichs im ersten digitalen Bild bereitgestellt und zum Bestimmen von Pixelpositionen von charakteristischen Bildinhalten auf der Bildsensoreinrichtung **110**.

**[0023]** Eine Ausrichteeinrichtung **1203** ist zum Ausrichten der Zielachse **111** der optischen Anordnung der Bildsensoreinrichtung **110** in einer zweiten Lage bereitgestellt, beispielsweise wie einführend erläutert.

**[0024]** Im Ausführungsbeispiel ist die Bildverarbeitungseinrichtung **1202** dazu angepasst, den charakteristischen Bildbereich in einem mit der Aufnahmeeinrichtung **1201** in der zweiten Lage der Bildsensoreinrichtung erlangten zweiten digitalen Bild aufzufinden, wobei dazu das erste oder das zweite digitale Bild um  $180^\circ$  in der Bildebene rotiert ist, Pixelpositionen von Pixeln des charakteristischen Bildbereichs im zweiten digitalen Bild auf der Bildsensoreinrichtung bestimmt werden, und ein Versatz zwischen den Pixelpositionen des charakteristischen Bildbereichs im ersten digitalen Bild auf der Bildsensoreinrichtung und den Pixelpositionen des charakteristischen Bildbereichs im zweiten digitalen Bild auf der Bildsensoreinrichtung als Messfehler bestimmt wird.

**[0025]** Der Messfehler kann durch von Herstellungstoleranzen hervorgerufenen Ungenauigkeiten bei der Messung herrühren, oder ein systematischer Messfehler sein. Der Messfehler kann beispielsweise eine horizontale und eine vertikale Verschiebekomponente in der Bildebene des ersten und zweiten digitalen Bildes sowie eine Rotationskomponente in der Bildebene der Bilder aufweisen.

**[0026]** Die Messeinrichtung **100** im Ausführungsbeispiel kann ein Theodolit oder jede andere Messein-

richtung zur Vermessung von räumlichen Anordnungen von Objekten sein.

**[0027]** Die Messeinrichtung **100** kann beispielsweise ein dreibeiniges Stativ umfassen, um die Messeinrichtung **100** zur Bedienung durch einen Benutzer stabil im Gelände zu positionieren. Wie in **Fig. 11** gezeigt, kann das Stativ auf seiner Oberseite einen Stativteller **1102** aufweisen, auf dem eine optische Einrichtung montiert sein kann. Wie erläutert ist die optische Einrichtung vorzugsweise um eine vertikale Achse drehbar angeordnet, wie in **Fig. 11** mit den Bezugszeichen **1151** veranschaulicht. Weiter kann die optische Anordnung um eine weitere vorzugsweise horizontale Achse **1150** drehbar angeordnet ist.

**[0028]** Eine solche Messeinrichtung kann beispielsweise bei der Landvermessung, der Ausmessung von Bauvorhaben, beispielsweise Autobahnbau etc. eingesetzt werden.

**[0029]** Die Bildsensoreinrichtung mit optischer Anordnung **110** kann jede Art von optischer Einrichtung sein, die es ermöglicht, ein digitales Bild von einem anvisierten Objekt bereit zu stellen, wie beispielsweise eine Bildsensoreinrichtung mit einem digitalen Bildsensor, z.B. CCD oder ähnlich, der mit einer Linsenanordnung wie beispielsweise einem Fernrohr ausgestattet ist. Weiter kann die Bildsensoreinrichtung mit optischer Anordnung eine digitale Kamera sein, die als Teil der Messeinrichtung verwendet wird.

**[0030]** Die Messfehlerbestimmungsvorrichtung **120** kann sich, wie in **Fig. 1** gezeigt, innerhalb der Messeinrichtung befinden, kann aber auch zumindest teilweise außerhalb der Messeinrichtung bereitgestellt sein und über drahtgebundene oder drahtlose Kommunikation mit der Messeinrichtung kommunizieren. Beispielsweise kann die Bildverarbeitungseinrichtung **1202** in einer externen Verarbeitungseinrichtung implementiert sein. Eine solche externe Verarbeitungseinrichtung kann dazu verwendet werden, die aufwendigen Berechnungen auszulagern, um die Leistungsanforderungen für die Verarbeitungseinrichtung der Messeinrichtung und/oder einen Energieverbrauch zu reduzieren.

**[0031]** Die Messfehlerbestimmungsvorrichtung **120** kann als Softwarelösung, Hardwarelösung oder als eine Kombination von Software und Hardware realisiert sein. Die Messfehlerbestimmungsvorrichtung **120** kann auch unter Verwendung von Hardwareressourcen der Messeinrichtung implementiert sein, oder kann eine eigenständige Bearbeitungseinrichtung verwenden, beispielsweise eine eigene Prozessorvorrichtung.

**[0032]** Weiter können die Funktionen der Messfehlerbestimmungsvorrichtung **120** als ein Programm

auf einem computerlesbaren Medium gespeichert werden, und zur Durchführung der Funktionen auf einer Datenverarbeitungseinrichtung eines Messinstruments aufgespielt werden.

**[0033]** Kurz gesagt kann zum schnellen und sicheren Bestimmen eines Messfehlers der Messeinrichtung ein erstes digitales Bild mittels der Bildsensoreinrichtung aufgenommen werden, wobei eine Zielachse einer optischen Anordnung in einer ersten Lage ausgerichtet ist. Ein charakteristischer Bildbereich im ersten digitalen Bild und dessen Position auf der Bildsensoreinrichtung werden dann bestimmt. Ein zweites digitales Bild wird sodann mit der in einer zweiten Lage ausgerichteten Zielachse der Bildsensoreinrichtung aufgenommen und der im ersten Bild definierte charakteristische Bildbereich wird im zweiten digitalen Bild aufgesucht, wobei vorher das erste oder das zweite digitale Bild in der Bildebene um 180 Grad rotiert wurde. Dann wird im zweiten digitalen Bild die Position des charakteristischen Bildbereichs auf der Bildsensoreinrichtung bestimmt.

**[0034]** Ein Versatz zwischen dem charakteristischen Bildbereich im ersten digitalen Bild und dem charakteristischen Bildbereich im zweiten digitalen Bild ist ein Maß für einen Messfehler. In einer weiteren Ausführungsform kann zum Auffinden des charakteristischen Bildbereichs die Bildverarbeitungseinrichtung **1202** den charakteristischen Bildbereich dem in der zweiten Lage der Bildsensoreinrichtung erlangten zweiten digitalen Bild nach 180 Grad Drehung eines der Bilder in der Bildebene überlagern und dann Schritt für Schritt dagegen verschieben. Die Pixelwerte des charakteristischen Bildbereichs des ersten digitalen Bildes werden dann mit den Pixelwerten des zweiten digitalen Bildes korreliert, um einen maximalen Korrelationskoeffizienten zu bestimmen.

**[0035]** Wenn der charakteristische Bildbereich schrittweise über das zweite digitale Bildes geschoben wird und die jeweiligen übereinander liegenden Pixelwerte des charakteristischen Bildbereichs und des zweiten digitalen Bildes, das heißt Pixelwerte an der gleichen Position auf der Bildsensoreinrichtung, miteinander korreliert werden, kann eine Verschiebung des charakteristischen Bildbereichs gefunden werden, an der der charakteristische Bildbereich mit einem Bereich des zweiten digitalen Bildes möglichst genau übereinstimmt, da an dieser Stelle in der Regel der Korrelationswert zwischen dem charakteristischen Bildbereich und dem entsprechenden Bereich des zweiten digitalen Bildes am größten ist.

**[0036]** Falls beispielsweise der charakteristische Bildbereich einen Bereich von 100 x 100 Pixeln aufweist, werden an jeder möglichen Position des charakteristischen Bildbereichs im zweiten digitalen Bild diese 100 x 100 Pixeln mit den entsprechenden 100 x 100 Pixeln des zweiten digitalen Bildes korreliert. Wenn

durch die maximale Korrelation die Position des charakteristischen Bildbereichs im zweiten digitalen Bild aufgefunden wurde, kann mit der dann vorliegenden Position des charakteristischen Bildbereichs im zweiten digitalen Bild und der ursprünglichen Position im ersten digitalen Bild, jeweils natürlich auf der Bildsensoreinrichtung und den jeweiligen Pixelpositionen der Bildsensoreinrichtung, ein Verschiebeversatz, beispielsweise in x und y Richtung, als Messfehler bestimmt werden.

**[0037]** Natürlich können auch andere Bildverarbeitungsverfahren dazu verwendet werden, im zweiten digitalen Bild den charakteristischen Bereich des ersten digitalen Bildes aufzufinden. Dazu sind eine Reihe von Matching Algorithmen im Stand der Technik bekannt.

**[0038]** Vorzugsweise kann der charakteristische Bildbereich im ersten digitalen Bild als Bereich um eine Position der Zielachse auf der Bildsensoreinrichtung bestimmt werden. Beispielsweise kann die Bildsensoreinrichtung mit der optischen Anordnung durch den Benutzer zu Beginn der Bestimmung des Messfehlers auf ein möglichst geeignet erscheinendes Objekt ausgerichtet werden, so dass die Zielachse der optischen Anordnung auf das Objekt ausgerichtet ist. Die Zielachse ist dabei vorzugsweise die Mittenachse der optischen Anordnung, herkömmlicherweise beispielsweise durch ein Fadenkreuz auf einem Okular markiert, im Ausführungsbeispiel durch eine entsprechende Position auf der Bildsensoreinrichtung.

**[0039]** Der charakteristische Bereich kann nun vorteilhaft als geometrischer Bereich um diese Position als Zielachse auf der Bildsensoreinrichtung, beispielsweise in deren zentraler Mitte, aber auch an jeder anderen Position, definiert werden. Verschiedene Formen für charakteristische Bildbereiche sind denkbar, wie beispielsweise ein Quadrat, ein Rechteck, ein Kreis oder jede andere Form. Weiter kann z.B. auch durch Bildsegmentierungsverfahren ein Objekt im ersten digitalen Bild identifiziert werden, beispielsweise durch Hell-/Dunkelübergänge und als charakteristischer Bildbereich definiert werden.

**[0040]** Während die Zielachse vorzugsweise mittig durch die Bildsensoreinrichtung und die optische Anordnung verläuft ist es auch denkbar, dass die Zielachse nicht durch die Mitte der Bildsensoreinrichtung verläuft, grundsätzlich kann jede Position auf der Bildsensoreinrichtung eine Zielachse definieren.

**[0041]** Eine Bildsensoreinrichtung für die Aufnahme digitaler Bilder umfasst eine begrenzte Anzahl von Pixelpositionen an denen lichtempfindliche Elemente angeordnet sind. Bildsensoreinrichtungen können mehrere Millionen von Pixelpositionen aufweisen, so dass mit ihnen aufgenommene digitale Bilder meh-

rere Millionen Bildpunkte aufweisen. Dennoch kann für die erforderliche sehr hohe Genauigkeit für die Messeinrichtung ein Abstand zwischen zwei lichtempfindlichen Elementen der Bildsensoreinrichtung immer noch zu groß sein, so dass nicht mit ausreichender Genauigkeit der Messfehler bestimmt werden kann. Wird nur eine ganzzahlige Anzahl von Pixelpositionen für die Berechnung des Versatzes herangezogen, beispielsweise eines Versatzes in x und y Richtung, kann dies zu ungenauer Bestimmung des Messfehlers führen. Daher kann in einer weiteren Ausführungsform durch Interpolation zwischen Pixelwerten des ersten digitalen Bildes und durch Interpolation zwischen Pixelwerten des zweiten digitalen Bildes der Versatz mit einer Genauigkeit bestimmt werden, die größer als die eines Pixelintervalls ist, also eines Abstands zwischen zwei lichtempfindlichen Elementen der Bildsensoreinrichtung. Bei der Interpolation werden nicht nur die einzelnen Pixelwerte des digitalen Bildes berücksichtigt, sondern auch zwischen benachbarten Pixelwerten interpolierte Werte. Beispielsweise könnte zwischen zwei real existierenden Pixelwerten der Bildsensoreinrichtung eine weitere Pixelposition definiert werden, mit einem gemittelten Pixelwert, und für die Berechnung des Versatzes herangezogen werden. Interpolationsverfahren sind im Stand der Technik bekannt.

**[0042]** In einer weiteren Ausführungsform kann die Position der Zielachse auf der Bildsensoreinrichtung als ein lichtempfindliches Element der Bildsensoreinrichtung festgelegt werden, vorzugsweise dessen Mittelpunkt. Es ist jedoch auch denkbar, dass die Position der Zielachse auf der Bildsensoreinrichtung mit einer Position definiert wird, die zwischen zwei lichtempfindlichen Elementen liegt, so dass die Position der Zielachse auf der Bildsensoreinrichtung mit einer Genauigkeit bestimmt werden muss, die größer als die eines Pixelintervalls ist, also des Abstands zwischen zwei lichtempfindlichen Elementen der Bildsensoreinrichtung.

**[0043]** Es wurde erläutert, dass durch Bildverarbeitungsverfahren der charakteristische Bildbereich des ersten digitalen Bildes im zweiten digitalen Bild aufgefunden werden muss. Dazu ist es jedoch erforderlich, dass der charakteristische Bildbereich sich von anderen Bereichen des ersten digitalen Bildes möglichst deutlich unterscheidet. Bei sich wiederholenden Mustern im digitalen Bild könnte ein charakteristischer Bildbereich an verschiedenen Stellen des ersten digitalen Bildes teilweise oder ganz wiederholt sein, so dass ein eindeutiges Auffinden des charakteristischen Bildbereichs im zweiten digitalen Bild schwer oder unmöglich ist.

**[0044]** In einer weiteren Ausführungsform kann daher vor einer Verwendung des charakteristischen Bildbereichs festgestellt werden, ob der charakteristische Bildbereich sich ausreichend von anderen

Bildbereichen des ersten digitalen Bildes unterscheidet. Dazu kann eine Korrelation des charakteristischen Bildbereichs des ersten digitalen Bildes mit anderen Bildbereichen des ersten digitalen Bildes durchgeführt werden, und anhand eines Vergleichs der Korrelationsergebnisse mit einem Autokorrelationsergebnis des charakteristischen Bildbereichs bestimmt werden, ob der charakteristische Bildbereich sich von den anderen Bildbereichen ausreichend unterscheidet.

**[0045]** Dabei ist ein Autokorrelationsergebnis des charakteristischen Bildbereichs ein Korrelationsergebnis des charakteristischen Bildbereichs mit sich selbst, es wird also der charakteristische Bildbereich mit sich selbst korreliert. Weiter werden Korrelationsergebnisse für verschiedene Positionen des charakteristischen Bildbereichs im ersten digitalen Bild berechnet, und mit dem Autokorrelationsergebnis verglichen.

**[0046]** Wenn beispielsweise eine Mehrzahl von Korrelationsergebnissen an einer Mehrzahl von Positionen des charakteristischen Bildbereichs im ersten digitalen Bild dem Autokorrelationsergebnis des ersten charakteristischen Bildbereichs entspricht, dann ist der charakteristische Bildbereich vermutlich nicht signifikant, bzw. unterscheidungskräftig. Wenn jedoch kein Korrelationsergebnis der verschiedenen möglichen Positionen des charakteristischen Bildbereichs im ersten digitalen Bild dem Autokorrelationsergebnis des charakteristischen Bildbereichs entspricht, dann kann angenommen werden, dass der charakteristische Bildbereich unterscheidungskräftig ist, mit anderen Worten ist dann der charakteristische Bildbereich nur einmal im ersten digitalen Bild vorhanden. Im anderen vorher erläuterten Fall bei nicht unterscheidungskräftigen charakteristischem Bildbereich wäre der charakteristische Bildbereich mehrfach oder zumindest in ähnlicher Form mehrfach im ersten digitalen Bild vorhanden und damit nicht aussagekräftig.

**[0047]** In einem weiteren Ausführungsbeispiel ist es wünschenswert, dass sich der charakteristische Bildbereich zeitlich während der Messungen der ersten Lage und der zweiten Lage nicht signifikant verändert. Verändert sich der charakteristische Bildbereich zwischen der ersten Aufnahme, d.h. der Aufnahme des ersten digitalen Bildes und der Aufnahme des zweiten digitalen Bildes in der zweiten Lage der Messeinrichtung, kann dies die Bestimmung des Messfehlers negativ beeinflussen. Daher kann die Aufnahmeeinrichtung **1201** angepasst sein, mindestens ein weiteres digitales Bild mit der Zielachse der optischen Anordnung der Bildsensoreinrichtung in der ersten Lage aufzunehmen und die Bildverarbeitungseinrichtung **1202** angepasst sein, einen Vergleich des charakteristischen Bildbereiches des ersten digitalen Bildes mit einem charakteristischen Bildbereich des weiteren digitalen Bildes durchzuführen,

und anhand des Vergleichs zu bestimmen, ob ein Bildmotiv unveränderlich ist.

**[0048]** Beispielsweise kann die Aufnahmeeinrichtung eine Korrelation des charakteristischen Bildbereichs des ersten digitalen Bildes mit einem charakteristischen Bildbereich des weiteren digitalen Bildes durchzuführen, um anhand des Korrelationsergebnisses zu bestimmen, ob ein Bildmotiv unveränderlich ist.

**[0049]** Alternativ oder zusätzlich können aus dem ersten digitalen Bild und dem mindestens einem weiteren digitalen Bild mit der Zielachse der optischen Anordnung der Bildsensoreinrichtung in der ersten Lage auch mindestens ein Differenzbild berechnet werden. Anhand der Differenzbilder kann dann bestimmt werden, ob das Bildmotiv unveränderlich ist.

**[0050]** Beispielsweise kann der charakteristische Bildbereich im ersten aufgenommenen digitalen Bild und den charakteristischen Bildbereichen an der gleichen Position der weiteren aufgenommenen Bilder korreliert werden. Falls sich die Korrelationsergebnisse zwischen den jeweiligen aufgenommenen digitalen Bildern unterscheiden, ist das Bildmotiv im charakteristischen Bereich vermutlich zeitlich nicht unverändert.

**[0051]** Für den Vergleich kann das Autokorrelationsergebnis des charakteristischen Bildbereichs im ersten aufgenommenen digitalen Bild mit dem Korrelationsergebnis des charakteristischen Bildbereichs aus dem ersten aufgenommenen digitalen Bild mit einem zweiten aufgenommenen digitalen Bild verglichen werden. Ist das Autokorrelationsergebnis von dem Korrelationsergebnis verschieden, hat sich vermutlich eine zeitliche Veränderung des Bildmotivs ergeben. Die zeitliche Unveränderlichkeit des Bildmotivs, insbesondere im charakteristischen Bereich, ist während der gesamten Dauer der Bestimmung des Messfehlers in diesem Ausführungsbeispiel wichtig. Häufige Fehlerquellen sind hierbei zeitlich veränderliche Positionen von Objekten, beispielsweise wenn ein Fahrzeug im charakteristischen Bereich in Bewegung ist, oder Äste, Blätter etc. durch Luftbewegung bewegt werden, oder wenn sich eine Veränderung einer Ausleuchtung, Helligkeit etc., des Bildmotivs ergibt.

**[0052]** Um zeitliche Veränderlichkeiten in den aufgenommenen digitalen Bildern zu reduzieren, kann in einer weiteren Ausführungsform die Aufnahmeeinrichtung **1201** dazu angepasst sein, mindestens ein weiteres digitales Bild in der ersten Lage der optischen Anordnung und mindestens ein weiteres digitales Bild in der zweiten Lage der optischen Anordnung aufzunehmen. Die jeweiligen Bilder können dann gemittelt werden. Die Bestimmung des Messfehlers wird dann anhand des gemittelten digitalen

Bildes in der ersten Lage und des gemittelten digitalen Bildes in der zweiten Lage bestimmt.

**[0053]** Wie bereits erwähnt, können die beschriebenen Ausführungsformen miteinander nach Bedarf kombiniert werden, so dass in einer Ausführungsform ein oder mehrere Merkmale einer weiteren Ausführungsform verwirklicht sind.

**[0054]** **Fig. 2** zeigt Verfahrensschritte zur Bestimmung eines Messfehlers einer Messeinrichtung gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung.

**[0055]** Die Verfahrensschritte können beispielsweise unter Verwendung der Messeinrichtung aus **Fig. 1** durchgeführt werden, **Fig. 2** ist jedoch nicht darauf beschränkt. In einem ersten Schritt **S201** bei Beginn der Bestimmung des Messfehlers der Messeinrichtung wird die Zielachse einer optischen Anordnung einer Bildsensoreinrichtung in einer ersten Lage ausgerichtet. Die erste Lage der optischen Anordnung ist dabei, wie im Stand der Technik bekannt, beispielsweise wie in **Fig. 11** gezeigt, die Ausrichtung der Zielachse der optischen Anordnung in einer ersten internen Konfiguration der Messeinrichtung. Die zweite Lage der optischen Anordnung der Messeinrichtung kann angesteuert werden, in dem die optische Anordnung der Bildsensoreinrichtung um  $180^\circ$  um die und in dem die Bildsensoreinrichtung mit der optischen Anordnung um eine horizontale Achse rotiert wird, zur Erzielung eines inneren Wendens der Messeinrichtung, welchen Vorgang man Durchschlagen der Messeinrichtung nennt. Danach ist zumindest in einer Messeinrichtung ohne Fehler die Zielachse wieder exakt in der gleichen Richtung ausgerichtet, jedoch mit einer zweiten internen Konfiguration der Messeinrichtung. Das Obige ist dabei eine Möglichkeit für Anweisungen für ein Ausrichten der Messeinrichtung in einer ersten und einer zweiten Lage. Andere Anweisungen für ein Ausrichten in einer ersten und einer zweiten Lage mit der Zielachse in gleicher Richtung mit dem gleichen Effekt sind denkbar, beispielsweise wenn der vertikale Winkel auf andere Art und Weise definiert wird.

**[0056]** Wie erwähnt ist nach der Prozedur des Rotierens um  $180^\circ$  um die vertikale Achse und um die horizontale Achse die Zielachse nur in einer idealen Messeinrichtung ohne Fehler wieder in genau der gleichen Richtung ausgerichtet. In einer realen Messeinrichtung jedoch werden auf Grund von Fertigungstoleranzen Fehler vorliegen, auf Grund derer die Zielachse nach Ausrichten in der zweiten Lage, auch Durchschlagen der Messeinrichtung genannt, nicht in genau der gleichen Richtung ausgerichtet ist. Toleranzen können dabei durch die Herstellung bedingte Ungenauigkeiten sein, z.B. in der Ausrichtung der Achsen der Messeinrichtung zueinander, aus denen sich Fehlausrichtungen und damit Fehler bei der Win-

kelmessung ergeben. Die Fehlausrichtung der Zielachse in der ersten gegenüber der zweiten Lage wird als Messfehler bezeichnet. Es ist vorteilhaft Kenntnis über die Größe dieses Messfehlers zu erlangen, um ihn gegebenenfalls zu kompensieren, bzw. die Messeinrichtung entsprechend zu kalibrieren.

**[0057]** Gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel wird dazu in einem zweiten Verfahrensschritt **S202** ein erstes digitales Bild mit der Bildsensoreinrichtung aufgenommen. Da die Zielachse der optischen Anordnung auf ein geeignet erscheinendes Objekt ausgerichtet ist, wird das erste digitale Bild dieses Objekt abbilden.

**[0058]** Die Bildsensoreinrichtung umfasst, wie erwähnt, vorzugsweise eine Vielzahl von lichtempfindlichen Elementen, und dementsprechend umfasst das erste aufgenommene digitale Bild eine dementsprechende Anzahl von Bildpunkten bzw. Pixeln.

**[0059]** Es wird dann in einem Verfahrensschritt **S203** ein charakteristischer Bildbereich im ersten digitalen Bild bestimmt. Dieser charakteristische Bildbereich kann durch eine geometrische Form um die Position der Zielachse auf der Bildsensoreinrichtung, also im ersten digitalen Bild, definiert sein, beispielsweise ein Quadrat, ein Rechteck, ein Kreis, etc., wie erwähnt, oder aber auch durch das gesamte erste digitale Bild.

**[0060]** In einem Verfahrensschritt **S204** werden dann Pixelpositionen des charakteristischen Bildbereichs auf der Bildsensoreinrichtung bestimmt, d.h. die lichtempfindlichen Elemente der Bildsensoreinrichtung, die dem charakteristischen Bildbereich des ersten digitalen ersten Bildes entsprechen.

**[0061]** In einem Verfahrensschritt **S205** wird darauf folgend die Zielachse der optischen Anordnung der Bildsensoreinrichtung in der zweiten Lage ausgerichtet, in dem die Messeinrichtung „durchgeschlagen“ wird, wie erläutert. Auf Grund der real vorkommenden Fehler wird jedoch in der zweiten Lage die Zielachse der optischen Anordnung nicht oder zumindest vermutlich nicht identisch der Ausrichtung der Zielachse der optischen Anordnung in der ersten Lage sein.

**[0062]** In einem Verfahrensschritt **S206** wird dann mit der Bildsensoreinrichtung ein zweites digitales Bild aufgenommen.

**[0063]** In einem Verfahrensschritt **S207** wird dann der charakteristische Bildbereich im zweiten digitalen Bild gesucht, wobei dazu das erste oder das zweite digitale Bild um  $180^\circ$  in der Bildebene rotiert ist, bzw. vorher mittels der Bildverarbeitungseinrichtung **1202** rotiert wurde. Diese Rotation um  $180^\circ$  ist erforderlich, weil durch das Fahren der optischen Anordnung der Messeinrichtung aus der ersten Lage in die zweite Lage die optische Anordnung um  $180^\circ$  gedreht wird.

**[0064]** Auf Grund von Fehlern wird diese Drehung jedoch nicht genau  $180^\circ$  betragen sondern nur annähernd  $180^\circ$ .

**[0065]** In einem Verfahrensschritt **S208**, nach dem der charakteristische Bildbereich im zweiten digitalen Bild aufgefunden wurde, werden die Pixelpositionen des charakteristischen Bildbereichs im zweiten digitalen Bild bestimmt.

**[0066]** In einem Verfahrensschritt **S209** wird dann ein Versatz zwischen den Pixelpositionen des charakteristischen Bildbereichs im ersten und im zweiten digitalen Bild auf der Bildsensoreinrichtung bestimmt.

**[0067]** Dieser Versatz quantifiziert den Messfehler der Messeinrichtung.

**[0068]** Der Versatz kann mindestens eine Translation und/oder Drehungsversatz des charakteristischen Bildbereichs bzw. des ersten digitalen Bildes gegenüber dem zweiten digitalen Bild sein.

**[0069]** Da z.B. durch die Fehler die Zielachse in der zweiten Lage nicht genau der Zielachsenrichtung der ersten Lage entsprechen, und zudem die Drehung der optischen Anordnung durch Fehler nicht genau  $180^\circ$  betragen kann, kann das aufgenommene zweite digitale Bild etwas gegenüber dem aufgenommenen ersten digitalen Bild, jeweils auf der Bildsensoreinrichtung, verschoben bzw. gedreht oder verschoben und gedreht sein.

**[0070]** Auf Grund der somit erfassten Messfehler kann eine mittels der Messeinrichtung vorgenommene Messung korrigiert werden, so dass ein Messergebnis fehlerfrei wird. Dazu kann vorteilhaft die Ausrichteinrichtung **1203** angepasst sein, auf ein interessierendes Objekt zu zielen, um mittels der Aufnahmeeinrichtung **1201** das erste und zweite digitale Bild des Interessierenden Objekts in der ersten und zweiten Lage der Bildsensoreinrichtung aufzunehmen, beispielsweise wie in Bezug auf die vorhergehenden Ausführungsbeispiele beschrieben, und die Bildverarbeitungseinrichtung **1202** kann dazu angepasst sein, mittels eines so bestimmten Versatzes bzw. Messfehlers eine in den zwei Lagen durchgeführte Winkelmessung des interessierenden Objekts zu korrigieren.

**[0071]** Dazu kann vorteilhaft verwendet werden, dass der Messfehler bzw. der gemessene Versatz einem Winkelfehler entspricht, um den die optische Einrichtung fehlausgerichtet ist. Da durch die Anmessung des Objekts in den zwei Lagen der Messeinrichtung der Winkelfehler sich doppelt bemerkbar macht, ist der auf Grund des Versatzes zu bestimmende Winkelfehler beispielsweise in horizontaler und vertikaler Richtung, das Doppelte des eigentlichen Winkelmessfehlers.



**[0072]** Falls durch Fehler das erste digitale Bild gegenüber dem zweiten digitalen Bild nicht genau um 180° rotiert ist, liegt ein Kippachsfehler vor. Dieser Kippachsfehler kann dadurch quantifiziert werden, in dem der zusätzliche Drehwinkel bestimmt wird, um den die digitalen Bilder gegeneinander zu verdrehen sind, um in Übereinstimmung zueinander gebracht zu werden. Der Kippachsfehler ist dann

$$K = \alpha / (2 * \sin(V)),$$

wobei K der Kippachsfehler,  $\alpha$  die Drehung des Bildes und V der Zenitwinkel bzgl. Gerätehorizont sind.

**[0073]** Das Verfahren kann somit zur Korrektur von Messfehlern einer einzelnen Messung eines Objektes verwendet werden in dem dieses Objekt in zwei Schritten in den zwei Fernrohrlagen angemessen wird und so die Messfehler bestimmt werden.

**[0074]** In **Fig. 3** zeigt eine Anordnung einer Messeinrichtung **500** gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung.

**[0075]** Die Anordnung gemäß **Fig. 3** kann dazu herangezogen werden, nicht nur einen Messfehler einer einzelnen Anmessung eines Objektes zu korrigieren, sondern um die Messeinrichtung insgesamt durch die Anmessung eines Objektes zu kalibrieren, in dem die festgestellten Messfehler bzw. Winkelfehler dazu verwendet werden die Messskalen der Messeinrichtung entsprechend zu kalibrieren bzw. auszurichten.

**[0076]** Die Anordnung der Messeinrichtung nach **Fig. 3** umfasst die Bildsensoreinrichtung mit optischer Anordnung **110**, wie beispielsweise in **Fig. 1** beschrieben, sowie die Aufnahmeeinrichtung **1501**, die Bildverarbeitungseinrichtung **1502** und die Ausrichteinrichtung **1503**, beispielsweise wie gemäß **Fig. 1** beschrieben und zusätzlich eine Kalibriereinrichtung **1504**.

**[0077]** Diese Kalibriereinrichtung **1504** kann dazu verwendet werden, auf Grund des gemessenen Versatzes, beispielsweise translatorischer Art, oder auf Grund einer Drehung der digitalen Bilder gegeneinander, die Messeinrichtung entsprechend zu kalibrieren, so dass bei folgenden Messungen keine bzw. zumindest reduzierte Messfehler auftreten. Dazu können wie erläutert die Winkelfehler um die horizontale Achse bzw. vertikale Achse bzw. Kippachse bestimmt werden und entsprechend die von der Messeinrichtung angezeigten Winkel kalibriert werden. Einfach gesagt wird dazu bei jeder Messung der jeweilige Winkelfehler vom tatsächlich gemessenen Winkel abgezogen bzw. hinzugezählt je nach Richtung des Messfehlers, und nur der so korrigierte Winkel angezeigt.

**[0078]** Während die Kalibriereinrichtung, wie in **Fig. 3** gezeigt, Teil der Messfehlerbestimmungsvorrichtung **150** sein kann, kann in anderen Ausführungsformen die Kalibriereinrichtung **1504** auch extern angeordnet sein, beispielsweise auf einer externen Datenverarbeitungsvorrichtung, die in Kommunikation mit der Messeinrichtung **100** steht. Weiter kann die Kalibrierungseinrichtung bei Auslieferung des Gerätes dazu verwendet werden, die Messeinrichtung der gewünschten Ausrichtungen der Zielachse zu kalibrieren, und kann dann von der Messeinrichtung entkoppelt werden. Diese Kopplung kann bei nachfolgenden Kalibrierungen, beispielsweise auf Zeitbasis, physikalisch oder datentechnisch mit der Messeinrichtung erneut vorgenommen werden, um eine erneute Kalibrierung durchzuführen.

**[0079]** Während der Kalibrierung kann in einem automatisierten Verfahren die Messeinrichtung in die jeweiligen Ausrichtungen der Zielachse gefahren werden, in der jeweiligen ersten und zweiten Lage, und der jeweilige Messfehler und damit Kalibrierungswinkel bestimmt werden.

**[0080]** Die Kalibrierungseinrichtung kann in Software und/oder Hardware realisiert sein. Beispielsweise kann im Programm der Kalibriereinrichtung **1504** auf einem computerlesbaren Medium bereitgestellt sein und zur Durchführung des Kalibrierungsverfahrens auf einer Datenverarbeitungseinrichtung innerhalb oder außerhalb des Messinstruments ausgeführt werden.

**[0081]** Folgend wird ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung mit Bezug auf **Fig. 4** beschrieben. **Fig. 4** zeigt ein Ausführungsbeispiel zur Bestimmung eines vertikalen und horizontalen Winkelfehlers, eines vertikalen Kollimationsfehlers und eines horizontalen Kollimationsfehlers der Messeinrichtung. Der vertikale Kollimationsfehler ist dabei eine Abweichung des gemessenen vertikalen Winkels vom tatsächlichen vertikalen Winkel der Zielachse, und der horizontale Kollimationsfehler ist eine Abweichung des horizontalen Winkels vom tatsächlichen Horizontalwinkel.

**[0082]** Gemäß der Ausführungsform wird die Ausrichteinrichtung **1503** dazu angewiesen, im Schritt **S401** die Bildsensoreinrichtung durch zusätzliche Rotation um die vertikale Achse und horizontale Achse so auszurichten, dass der charakteristische Bildbereich im zweiten Bild über dem charakteristischen Bildbereich im ersten Bild zu liegen kommt. Dabei kann der Verfahrensschritt **S401** beispielsweise nach dem Verfahrensschritt **S208** aus **Fig. 2** ausgeführt werden, **Fig. 4** ist jedoch nicht darauf beschränkt.

**[0083]** Wie erläutert ist die Zielachse nach Fahren der Messeinrichtung in die zweite Lage nicht exakt in der gleichen Richtung wie in der ersten Lage aus-

gerichtet. Durch zusätzliche Rotation um die vertikale und horizontale Achse kann jedoch die Zielachse in der zweiten und ersten Lage in genaue Übereinstimmung gebracht werden. Dies wird dadurch erzielt, dass der charakteristische Bildbereich im zweiten Bild durch zusätzliche Rotation der Anordnung über dem charakteristischen Bildbereich im ersten Bild zu liegen kommt, d.h. die beiden digitalen Bilder in Übereinstimmung miteinander gebracht werden.

**[0084]** Es versteht sich, dass der charakteristische Bereich nicht nur ein Unterbereich des digitalen Bildes sein kann sondern auch das gesamte digitale Bild.

**[0085]** Im Verfahrensschritt **S402** wird ein Bestimmen eines vertikalen Kollimationsfehlers und eines horizontalen Kollimationsfehlers der Messeinrichtung auf Grundlage der entsprechenden zusätzlichen Rotationswinkel durchgeführt. Die durch die zusätzliche Rotation um die vertikale und horizontale Achse erforderlichen Winkel sind, wie erläutert, jeweils Doppelte des Winkelfehlers in vertikaler bzw. horizontaler Richtung.

**[0086]** Zusätzlich kann in einem Verfahrensschritt **S403** mit dem vertikalen Kollimationsfehler und dem horizontalen Kollimationsfehler die Messung korrigiert werden, oder die Messeinrichtung unter Verwendung des vertikalen Kollimationsfehlers und des horizontalen Kollimationsfehlers kalibriert werden.

**[0087]** **Fig. 5** zeigt Schritte zur Bestimmung eines Messfehlers gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung.

**[0088]** In diesem Ausführungsbeispiel wird auf Grundlage eines Versatzes, beispielsweise wie in Verbindung mit **Fig. 1** erläutert, und eines Abbildungsmaßstabs der optischen Anordnung ein vertikaler Kollimationsfehler und ein horizontaler Kollimationsfehler der Messeinrichtung bestimmt, womit die Messeinrichtung kalibriert werden kann.

**[0089]** Dazu wird in einem Verfahrensschritt **S501** eine horizontale und eine vertikale Komponente des Versatzes bestimmt. Schritt **S501** kann beispielsweise den Verfahrensschritt **S208** aus **Fig. 2** folgen, ist jedoch nicht darauf beschränkt. Eine horizontale und eine vertikale Komponente ist dabei eine Komponente des ersten digitalen Bildes gegenüber dem zweiten digitalen Bild in der Ebene der Bildsensoreinrichtung.

**[0090]** In einem folgenden Schritt **S502** kann dann die Messeinrichtung unter Verwendung des vertikalen Kollimationsfehlers und des horizontalen Kollimationsfehlers kalibriert werden. Alternativ kann auch nur eine einzelne Messung mit der Messeinrichtung korrigiert werden, wie erläutert. Die Bestimmung des vertikalen und horizontalen Kollimationsfehlers auf

Grundlage der horizontalen und vertikalen Komponente des Versatzes kann auch vom Abbildungsmaßstab abhängen. Der Abbildungsmaßstab stellt dabei die Verbindung zwischen dem Versatz in der Bildebene der Bildsensoreinrichtung und einer tatsächlichen Winkelrotation bzw. zusätzlichen Rotation um die vertikale und horizontale Achse her, um den Versatz zu kompensieren.

**[0091]** Der Abbildungsmaßstab kann auf verschiedene Art und Weise bestimmt werden. Eine vorteilhafte Möglichkeit zur Bestimmung des Abbildungsmaßstabs der optischen Anordnung ist die Brennweite der optischen Anordnung, da durch sie ein Maß für den Abstand des Objekts von der Messeinrichtung erhalten wird. Andere Verfahren zur Bestimmung des Abbildungsmaßstabs sind möglich, beispielsweise durch Lasermessung, etc.

**[0092]** In einer weiteren Ausführungsform können die Verfahrensschritte der **Fig. 4** und **Fig. 5** aufeinanderfolgend angewendet werden, in diesem Fall kann der Verfahrensschritt **S501** der **Fig. 5** den Verfahrensschritt **S402** der **Figur** folgen. Dadurch kann durch die zusätzliche Rotation der optischen Anordnung der Bildsensoreinrichtung ein erster Teil des vertikalen Kollimationsfehlers und horizontalen Kollimationsfehlers bestimmt werden. Zum Beispiel könnte dieser erste Teil näherungsweise den vertikalen und horizontalen Kollimationsfehlers bestimmen. Durch den Versatz und die Brennweite der Abbildungseinrichtung könnte dann nach der zusätzlichen Rotation ein zweiter bzw. verbleibender Teil des vertikalen Kollimationsfehlers und horizontalen Kollimationsfehlers bestimmt werden. Der erste und zweite Teil der Kollimationsfehler können dann addiert werden, um den die genauen Werte für den vertikalen Kollimationsfehler und den horizontalen Kollimationsfehler zu erhalten.

**[0093]** Diese Verfahren können auch iterativ wiederholt werden, so dass höchste Genauigkeit erzielt wird.

**[0094]** Auf Grundlage des gemessenen Fehlers bzw. der gemessenen Fehler kann dann die Messeinrichtung kalibriert werden oder auch nur ein einzelnes Messergebnis korrigiert werden.

**[0095]** **Fig. 6** zeigt Verfahrensschritte einer weiteren Ausführungsform der Erfindung, um einen Kippachsfehler zu bestimmen.

**[0096]** Wie die Anteile eines Versatzes in der Bildebene der Bildsensoreinrichtung, eines sogenannten Translationsversatzes, kann auch die durch den Kippachsfehler in den zwei Lagen hervorgerufene Verdrehung des ersten digitalen und zweiten digitalen Bildes gegeneinander als Versatz festgestellt werden.

**[0097]** Dazu wird in einem Verfahrensschritt **S601** ein Drehwinkel  $\alpha$  bestimmt, um den das zweite digitale Bild gegenüber dem ersten digitalen Bild in der Bildebene der Bildsensoreinrichtung zusätzlich zu der 180 Grad Drehung rotiert ist.

**[0098]** In einem Verfahrensschritt **S602** kann der Kippachsfehler aus dem Drehwinkel  $\alpha$  bestimmt werden.

**[0099]** Vorzugsweise kann die Drehung mit dem Drehwinkel  $\alpha$  um die Position der Zielachse auf der Bildsensoreinrichtung bzw. im digitalen Bild vorgenommen werden. Alternativ kann auch ein Mittelpunkt des charakteristischen Bildbereichs im ersten und zweiten digitalen Bild für die Drehung verwendet werden.

**[0100]** Nachdem beispielsweise durch Korrelation der charakteristische Bildbereich des ersten digitalen Bildes im zweiten digitalen Bild aufgefunden wurde, beispielsweise durch Verschiebung des charakteristischen Bildbereichs in der Bildebene der Bildsensoreinrichtung, kann durch Bildverarbeitungsverfahren die zusätzliche Rotation um den Winkel  $\alpha$  bestimmt werden. Beispielsweise kann der zusätzliche Drehwinkel  $\alpha$  bestimmt werden, indem die digitalen Bilder bzw. der charakteristische Bildbereich der jeweiligen digitalen Bilder gegeneinander schrittweise verdreht werden und entsprechende Korrelationsergebnisse bestimmt werden. Beim erwünschten zusätzlichen Drehwinkel  $\alpha$  werden das erste und zweite digitale Bild bzw. der charakteristische Bereich bestmöglich aufeinander zu liegen kommen, und das Korrelationsergebnis wird am größten sein.

**[0101]** In einer weiteren Ausführungsform wird der Kippachsfehler der Messeinrichtung nicht nur durch den zusätzlichen Drehwinkel  $\alpha$  bestimmt, sondern auch durch den für die Messung des Objekts und Bestimmung des Messfehlers gewählte vertikalen Winkel. Dies ergibt sich daraus, dass unterschiedliche vertikale Winkel unterschiedliche Auswirkungen des Kippachsfehlers zur Folge haben, wobei die Auswirkung des Kippachsfehlers in horizontaler Ausrichtung der Zielachse maximal ist und bei vertikaler Ausrichtung der Zielachse minimal ist.

**[0102]** Vorteilhafterweise wird das erste bzw. das zweite digitale Bild in der Bildebene um die Pixelposition der Zielachse auf der Bildsensoreinrichtung gedreht.

**[0103]** **Fig. 7** zeigt eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung mit Verfahrensschritten zur Bestimmung des Kippachsfehlers. Schritte gemäß **Fig. 7** können den Schritt **S208** aus **Fig. 2** folgen, sind jedoch nicht darauf beschränkt.

**[0104]** In einem ersten Verfahrensschritt **S701** wird die Bildsensoreinrichtung in einer zweiten ersten Lage mit einem geänderten vertikalen Winkel ausgerichtet. Die vertikalen Winkel sollten sich stark voneinander unterscheiden, um zu einem aussagekräftigen Ergebnis zu führen.

**[0105]** In einem Verfahrensschritt **S702** wird der Versatz zwischen dem charakteristischen Bereich in einem weiteren ersten und zweiten digitalen Bild als zweiter Messfehler bestimmt. Beispielsweise entsprechend den Verfahrensschritten nach **Fig. 2**.

**[0106]** In einem Verfahrensschritt **S703** wird der Kippachsfehler aus den zwei bestimmten Messfehlern errechnet.

**[0107]** In einem Ausführungsbeispiel wird nach einer klassischen Bestimmungsmethode der Kippachsfehler  $k$  und der Kollimationsfehler  $c$  wie folgt berechnet. Gemessen werden die Winkel :

$AH_z^I, AV_{corr}^I$ : Horizontaler Winkel und vertikaler Winkel in der ersten Lage zum Objekt A;

$AH_z^{II}, AV_{corr}^{II}$ : Horizontaler Winkel und vertikaler Winkel in der zweiten Lage zum Objekt A;

$BH_z^I, BV_{corr}^I$  Horizontaler Winkel und vertikaler Winkel in der ersten Lage zum Objekt B;

$BH_z^{II}, BV_{corr}^{II}$  Horizontaler Winkel und vertikaler Winkel in der zweiten Lage zum Objekt B;

**[0108]** Es ergibt sich der Kippachsfehler  $k$  und der Kollimationsfehler  $c$  als:

$$k = \frac{dBH_z \cdot \sin(BV_{corr}) - dAH_z \cdot \sin(AV_{corr})}{\cos(BV_{corr}) - \cos(AV_{corr})}$$

$$c = dAH_z \cdot \sin(AV_{corr}) - k \cdot \cos(AV_{corr})$$

**[0109]** Wobei:

wenn  $AH_z^{II} > AH_z^I$ , dann  $dAH_z = (AH_z^{II} - AH_z^I - \pi)/2$ ,

sonst  $AH_z^{II} < AH_z^I$ , dann:  $dAH_z = (AH_z^{II} - AH_z^I + \pi)/2$

und

wenn  $BH_z^{II} > BH_z^I$ , dann  $dBH_z = (BH_z^{II} - BH_z^I - \pi)/2$

sonst  $BH_z^{II} < BH_z^I$ , dann  $dBH_z = (BH_z^{II} - BH_z^I + \pi)/2$

**[0110]** Bei dieser Bestimmung sollte der vertikale Winkelunterschied zwischen dem Objekt A und Objekt B möglichst groß sein.

[0111] Mathematisch exakt können der Kippachsfehler  $k$  und der Kollimationsfehler  $c$  bestimmt werden über:

$$\tan(c) = \frac{\tan(dAHZ) \cdot \sin(AV'_{corr}) - \sin(k) \cdot \cos(AV'_{corr})}{\cos(k)}$$

$$\sin(k) = \frac{\tan(dBHZ) \cdot \sin(BV'_{corr}) - \tan(dAHZ) \cdot \sin(AV'_{corr})}{\cos(BV'_{corr}) - \cos(AV'_{corr})}$$

[0112] Fig. 8 zeigt eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung mit Verfahrensschritten zum Kalibrieren der Messeinrichtung auf Grundlage des festgestellten Versatzes.

[0113] Die Verfahrensschritte gemäß Fig. 8 können den Verfahrensschritten nach Verfahrensschritt 208 in Fig. 2 folgen, sind jedoch nicht darauf beschränkt.

[0114] Gemäß Fig. 8 wird iterativ vorgegangen. Der Versatz enthält eine Verschiebekomponente und eine Drehkomponente, jeweils in der Bildebene der Bildsensoreinrichtung. Die Bildverarbeitungsvorrichtung ist angepasst, in einem Schritt den Versatz zu bestimmen und dann den Versatz zu korrigieren, in dem das erste und das zweite digitale Bild gegeneinander verschoben und gedreht werden, und dieser Schritt bzw. diese Schritte mindestens einmal wiederholt werden.

[0115] In einem Verfahrensschritt S801 wird eine Verschiebungskomponente des Versatzes bestimmt, beispielsweise in der Bildebene der Bildsensoreinrichtung. In einem Verfahrensschritt S802 wird die Bildsensoreinrichtung durch zusätzlich Rotation um die vertikale und horizontale Achse ausgerichtet, so dass der charakteristische Bildbereich im zweiten Bild über den charakteristischen Bildbereich im ersten Bild zu liegen kommt, beispielsweise wie in Bezug auf die vorliegenden Ausführungsbeispiele beschrieben.

[0116] In einem Schritt S803 wird der zusätzliche Drehwinkel  $\alpha$  bestimmt, um den das zweite digitale Bild gegenüber dem ersten digitalen Bild in der Bildebene zu rotieren ist, um in Übereinstimmung miteinander gebracht zu werden.

[0117] In einem Schritt S804 wird das erste bzw. digitale Bild um den Drehwinkel  $\alpha$  in der Bildebene rotiert. Als Folge werden die digitalen Bilder weitgehend übereinander zu liegen kommen. Die Verschiebung in der Bildebene vor oder nach der Bestimmung und Drehung des ersten oder zweiten digitalen Bildes um den zusätzlichen Drehwinkel  $\alpha$  durchgeführt werden.

[0118] Um das Ergebnis weiter zu verbessern, können die Schritte S801 bis S804 wiederholt werden, um zu einer immer weiter gehenden Übereinstimmung zwischen dem ersten und dem zweiten digitalen Bild zu gelangen. Nachfolgend kann die Messeinrichtung auf Grundlage aller Verschiebungskomponenten und aller zusätzlichen Drehwinkel  $\alpha$  kalibriert werden, bzw. eine einzelne Messung korrigiert werden.

[0119] Im Folgenden wird von Fig. 9a bis Fig. 9g ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung zur Bestimmung eines Messfehlers erläutert.

[0120] In Fig. 9a eröffnet das in unterbrochener Linie dargestellte Rechteck vereinfacht die Bildsensoreinrichtung. Auf der Bildsensoreinrichtung ist eine vordefinierte Bezugsposition  $X_z, Y_z$  festgelegt. Diese kann an beliebiger Stelle auf der Bildsensoreinrichtung liegen, in Ausführungsbeispielen jedoch auch in der Mitteposition.

[0121] Fig. 9b zeigt ein aufgenommenes erstes digitales Bild nach dem die Zielachse auf ein Objekt, in diesem Fall einen Kirchturm, ausgerichtet wurde. Kirchtürme sind auf Grund ihrer prominenten Lage im Gelände oftmals für eine Vermessung von Interesse.

[0122] Fig. 9c zeigt einen festgelegten charakteristischen Bildbereich im ersten digitalen Bild AOI, im vorliegenden Fall ein Quadrat um die Position  $X_z, Y_z$ .

[0123] In Fig. 9d wird der charakteristische Bildbereich des ersten digitalen Bildes um  $180^\circ$  rotiert. Die Rotation erfolgt dabei vorzugsweise um den vordefinierten Punkt  $X_z, Y_z$ .

[0124] Fig. 9e zeigt ein zweites aufgenommenes digitales Bild, nach dem die Messeinrichtung bzw. die optische Anordnung in die zweite Lage gebracht wurde, wie erläutert.

[0125] Fig. 9f zeigt einen Bildbereich des ersten digitalen Bildes in Überlagerung auf dem zweiten digitalen Bild. Der Versatz zwischen dem charakteristischen Bildbereich im ersten und zweiten digitalen Bild ist klar ersichtlich. Es wird darauf hingewiesen, dass sowohl das erste digitale Bild, bzw. der charakteristische Bildbereich des ersten digitalen Bildes als auch das zweite digitale Bild um  $180^\circ$  rotiert werden können, zur besseren Veranschaulichung wurde hier die Rotation des ersten digitalen Bildes um  $180^\circ$  gewählt.

[0126] Fig. 9g zeigt nunmehr, dass der Versatz zwischen dem charakteristischen Bildbereich vom ersten und zweiten digitalen Bild, jeweils relativ vorgegeben durch die Position auf der Bildsensoreinrichtung, bestimmt werden kann. Dieser Versatz kann aus einer translatorischen Komponente  $\Delta X, \Delta Y$  in der Bild-

ebene und/oder einer Rotationskomponente um den zusätzlichen Winkel  $\alpha$  bestehen, wie erläutert.

[0127] Im Folgenden wird ein weiteres Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung mit Bezug auf die Fig. 10 beschrieben. Fig. 10 zeigt Verfahrensschritte der Bestimmung eines Messfehlers, insbesondere zur wahlweisen Bestimmung von horizontalen und vertikalen Kollimationsfehlern und Kippachsfehlern.

[0128] In einem ersten Verfahrensschritt S1001 wird die optische Anordnung und Bildsensoreinrichtung in einer ersten Lage auf ein Objekt ausgerichtet, und auf das Objekt fokussiert.

[0129] In einem Schritt S1002 wird ein erstes digitales Bild mittels der Bildsensoreinrichtung aufgenommen. Es besteht die Möglichkeit, mehrere digitale erste Bilder aufzunehmen, und eine Analyse durchzuführen, ob eine stabile Bildumgebung vorliegt, wie vorhergehend in Ausführungsbeispielen erläutert.

[0130] In einem Schritt S1003 wird der charakteristische Bildbereich des ersten digitalen Bildes festgelegt und kopiert. In einem Schritt S1004 werden jeweilige Korrelationskoeffizienten berechnet, während der charakteristische Bildbereich über das erste digitale Bild bewegt wird. Es wird dabei also der kopierte charakteristische Bildbereich schrittweise in xy Richtung über das erste digitale Bild bewegt, und Korrelationskoeffizienten an den jeweiligen Positionen des charakteristischen Bildbereichs berechnet.

[0131] Nachfolgend wird in einem Schritt S1005 festgestellt, ob ein maximaler Korrelationskoeffizient signifikant ist. Der Korrelationskoeffizient ist dann signifikant, wenn nur ein deutliches Maximum des Korrelationskoeffizienten an der Ursprungsposition des charakteristischen Bildbereichs im ersten digitalen Bild vorliegt. Falls der charakteristische Bildbereich selbst oder in ähnlicher Form mehrfach im ersten digitalen Bild vorkommt, wird das Korrelationsergebnis nicht signifikant sein. Falls das Korrelationsergebnis nicht signifikant ist wird im Schritt S1005 der Ablauf zum Schritt S1001 zurückgeführt.

[0132] Falls das Testergebnis im Schritt S1005 dazu führt, dass der Korrelationskoeffizient signifikant ist, wird in einem Schritt S1006 die optische Anordnung mit der Bildsensoreinrichtung in eine zweite Lage gefahren, wie erläutert.

[0133] In einem Schritt S1007 wird ein zweites digitales Bild aufgenommen und das erste oder das zweite digitale Bild um  $180^\circ$ , vorzugsweise genau  $180^\circ$ , gedreht. Diese Drehung erfolgt in der Bildebene, vorzugsweise um die Position der Zielachse bzw. des Mittelpunktes des charakteristischen Bereichs auf der Bildsensoreinrichtung.

[0134] In einem Schritt S1008 werden jeweilige Korrelationskoeffizienten berechnet, während der charakteristische Bildbereich des ersten digitalen Bildes über das zweite digitale Bild bewegt wird. Die Korrelationseffizienten werden dann maximal sein, wenn der charakteristische Bildbereich des ersten digitalen Bildes genau über dem entsprechenden Bereich des zweiten digitalen Bildes zu liegen kommt.

[0135] In einem Schritt S1009 wird dann ein Translationsversatz zwischen der Position des charakteristischen Bildbereichs im zweiten digitalen Bild mit maximaler Korrelation und der Position des charakteristischen Bildbereichs im ersten digitalen Bild bestimmt.

[0136] In einem Schritt S1010 wird festgestellt, ob der Translationsversatz kleiner als ein vordefiniertes Limit ist. Falls dies nicht der Fall ist, wird das Gerät im Schritt S1015 in die neu berechnete Position gefahren, also entsprechend dem berechneten Versatz bewegt und ein neues zweites Bild aufgenommen. Dann wird der Ablauf zum Schritt S1007 zurückgeführt, eine neue Einstellung und vorgenommen, indem auf dieses oder ein anderes Objekt fokussiert wird. Falls der Translationsversatz in S1010 kleiner als das vordefinierte Limit ist, wird festgestellt, ob auch der Kippachsfehler zu berechnen ist, in einem Schritt S1011. Falls dies nicht der Fall ist, wird der vertikale und horizontale Koordinationsfehler auf Grundlage des festgestellten Versatzes in einem Schritt S1012 bestimmt, wie mit Bezug auf vorhergehende Ausführungsbeispiele erläutert.

[0137] Falls im Schritt S1011 festgestellt wird, dass der Kippachsfehler zu berechnen ist, wird in einem Schritt S1013 gemäß einer ersten Möglichkeit die Prozedur mit einem geänderten vertikalen Winkel wiederholt und der vertikale und horizontale Kollimationsfehler und der Kippachsfehler auf Grund der zwei Messungen bestimmt.

[0138] In einer weiteren Alternative kann in einem Schritt S1014 der Drehwinkel  $\alpha$  bestimmt werden um den das zweite digitale Bild gegenüber dem ersten digitalen Bild in der Bildebene rotiert ist, und der Kippachsfehler bestimmt werden. Daneben können im Schritt S1014 auch der vertikale und horizontale Kollimationsfehler bestimmt werden.

[0139] Die Verfahrensschritte können in Hardware und/oder Software implementiert werden.

[0140] Gemäß einer anderen Ausführungsform kann ein Programm bereitgestellt werden, das Instruktionen enthält, die ausgebildet sind, um bei einer Datenverarbeitungseinheit hervorzurufen, dass diese ein Verfahren mit den Merkmalen der oben beschriebenen Ausführungsformen ausführt.

**[0141]** Gemäß einem anderen Beispiel kann ein computerlesbares Medium, das das Programm verkörpert, bereitgestellt werden.

**[0142]** Gemäß einer anderen Ausführungsform kann ein Computerprogrammprodukt das computerlesbare Medium umfassen.

**[0143]** Gemäß einer anderen Ausführungsform wird ein optisches Instrument bereitgestellt, das die Messfehlerbestimmungsvorrichtung **120** umfasst.

**[0144]** Gemäß einer anderen Ausführungsform wird ein optisches Instrument bereitgestellt, das kalibriert ist gemäß den obigen Verfahrensschritten der oben beschriebenen Ausführungsformen.

### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Bestimmung eines Messfehlers einer Messeinrichtung (100; 500), mit:  
 einer Aufnahmeeinrichtung (1201; 1501) zum Aufnehmen eines ersten digitalen Bildes mit einer Vielzahl von Pixeln mittels einer Bildsensoreinrichtung (110), wobei eine Zielachse einer optischen Anordnung der Bildsensoreinrichtung in einer ersten Lage ausgerichtet ist;  
 eine Bildverarbeitungseinrichtung (1202; 1502) zum Bestimmen eines charakteristischen Bildbereichs im ersten digitalen Bild und zum Bestimmen von Pixelpositionen von Pixeln des charakteristischen Bildbereichs auf der Bildsensoreinrichtung;  
 einer Ausrichteeinrichtung (1203; 1503) zum Ausrichten der Zielachse der optischen Anordnung der Bildsensoreinrichtung in einer zweiten Lage, wobei in der zweiten Lage die Bildsensoreinrichtung mit der optischen Anordnung in der gleichen Richtung wie in der ersten Lage ausgerichtet ist, jedoch mit innerem Wenden infolge Durchschlagens;  
 wobei die Bildverarbeitungseinrichtung (1202; 1502) angepasst ist, den charakteristischen Bildbereich in einem mit der Aufnahmeeinrichtung (1201; 1501) in der zweiten Lage der Bildsensoreinrichtung erlangten zweiten digitalen Bild aufzufinden, wobei dazu das erste oder das zweite digitale Bild um 180 Grad in der Bildebene rotiert ist, Pixelpositionen von Pixeln des charakteristischen Bildbereichs im zweiten digitalen Bild auf der Bildsensoreinrichtung zu bestimmen, und einen Versatz zwischen den Pixelpositionen des charakteristischen Bildbereichs im ersten digitalen Bild auf der Bildsensoreinrichtung und den Pixelpositionen des charakteristischen Bildbereichs im zweiten digitalen Bild auf der Bildsensoreinrichtung als Messfehler zu bestimmen.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, mit einer Kalibriereinrichtung (1504), um einen vertikalen Kollimationsfehler und einen horizontalen Kollimationsfehler der Messeinrichtung zu bestimmen, indem die Ausrichteeinrichtung (1503) angewiesen wird, die Bild-

sensoreinrichtung durch zusätzliche Rotation um die vertikale Achse und horizontale Achse so auszurichten, dass der charakteristische Bildbereich im zweiten Bild über dem charakteristischen Bildbereich im ersten Bild zu liegen kommt und die Messeinrichtung auf Grundlage der entsprechenden zusätzlichen Rotationswinkel zu kalibrieren.

3. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, mit einer Kalibriereinrichtung (1504), um auf Grundlage des Versatzes und eines Abbildungsmaßstabes der optischen Anordnung einen vertikalen Kollimationsfehler und einen horizontalen Kollimationsfehler der Messeinrichtung zu bestimmen und die Messeinrichtung damit zu kalibrieren.

4. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Abbildungsmaßstab der optischen Anordnung durch eine Brennweite der optischen Anordnung bestimmt ist.

5. Vorrichtung nach den vorhergehenden Ansprüchen 3 und 4, wobei die Kalibriereinrichtung (1504) angepasst ist, durch die zusätzliche Rotation der optischen Anordnung der Bildsensoreinrichtung erste Teile des vertikalen Kollimationsfehlers und horizontalen Kollimationsfehlers zu bestimmen, und durch den Versatz und die Brennweite der Abbildungseinrichtung zweite Teile des vertikalen Kollimationsfehlers und horizontalen Kollimationsfehlers zu bestimmen.

6. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Bildverarbeitungseinrichtung (1202; 1502) angepasst ist, als Versatz einen Drehwinkel  $\alpha$  zu bestimmen, um den das zweite digitale Bild gegenüber dem ersten digitalen Bild in der Bildebene rotiert ist, und aus dem Drehwinkel  $\alpha$  den Kippachsfehler zu bestimmen.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, wobei der Kippachsfehler auf Grundlage des Drehwinkels  $\alpha$  und einem vertikalen Winkel der optischen Einrichtung zur vertikalen Drehachse bestimmt wird.

8. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das erste oder das zweite digitale Bild in der Bildebene um die Pixelposition der Zielachse auf der Bildsensoreinrichtung gedreht wird.

9. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Ausrichteeinrichtung (1203; 1503) angepasst ist zum Ausrichten der Bildsensoreinrichtung in einer zweiten ersten Lage mit einem geänderten vertikalen Winkel; wobei die Vorrichtung angepasst ist zum Wiederholen der Bestimmung des Versatzes zwischen einem charakteristischen Bereich in einem weiteren ersten und zwei-

ten digitalen Bild als zweiten Messfehler; und die Bestimmungseinrichtung angepasst ist, aus den zwei bestimmten Messfehlern den Kippachsfehler zu bestimmen.

10. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Versatz eine Verschiebungskomponente und eine Drehkomponente in der Bildebene der Bildsensoreinrichtung enthält und die Bildverarbeitungseinrichtung (1202; 1502) angepasst ist, in einem Schritt den Versatz zu bestimmen und dann den Versatz zu korrigieren, indem das erste und das zweite digitale Bild gegeneinander verschoben und gedreht wird und dieser Schritt mindestens einmal wiederholt wird.

11. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Ausrichteinrichtung (1203; 1503) angepasst ist, ein interessierendes Objekt anzuvisieren, um mittels der Aufnahmeeinrichtung (1201; 1501) das erste und zweite digitale Bild des interessierenden Objekts in der ersten und zweiten Lage der Bildsensoreinrichtung aufzunehmen, und die Bildverarbeitungseinrichtung (1202; 1502) angepasst ist, mittels eines so bestimmten Versatzes eine in den zwei Lagen durchgeführte Winkelmessung des interessierenden Objektes zu korrigieren.

12. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Bildverarbeitungseinrichtung (1202; 1502) angepasst ist, den charakteristischen Bildbereich im ersten digitalen Bild als Bereich um eine Position der Zielachse auf der Bildsensoreinrichtung zu bestimmen.

13. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Bildverarbeitungseinrichtung (1202; 1502) angepasst ist, den charakteristischen Bildbereich des ersten digitalen Bildes im zweiten digitalen Bild durch Korrelation der Pixelwerte des charakteristischen Bildbereichs des ersten digitalen Bildes mit den Pixelwerten zweiten digitalen Bildes und Bestimmen eines maximalen Korrelationskoeffizienten aufzufinden.

14. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Bildverarbeitungseinrichtung (1202; 1502) angepasst ist, durch Interpolation zwischen Pixelwerten des ersten digitalen Bildes und durch Interpolation zwischen Pixelwerten des zweiten digitalen Bildes den Versatz mit einer Genauigkeit zu bestimmen, die größer als die eines Pixelintervalls ist.

15. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Position der Zielachse auf der Bildsensoreinrichtung mit einer Genauigkeit bestimmt wird, die größer als die eines Pixelintervalls ist.

16. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Bildverarbeitungseinrichtung (1202; 1503) angepasst ist, eine Korrelation des charakteristischen Bildbereichs des ersten digitalen Bildes mit anderen Bildbereichen des ersten digitalen Bildes durchzuführen, und um anhand eines Vergleichs der Korrelationsergebnisse mit einem Autokorrelationsergebnis des charakteristischen Bildbereichs zu bestimmen, ob der charakteristische Bildbereich sich von den anderen Bildbereichen unterscheidet.

17. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Aufnahmeeinrichtung (1201; 1501) angepasst ist, mindestens ein weiteres digitales Bild mit der Zielachse der optischen Anordnung der Bildsensoreinrichtung in der ersten Lage aufzunehmen und die Bildverarbeitungseinrichtung (1202; 1502) angepasst ist, einen Vergleich des charakteristischen Bildbereichs des ersten digitalen Bildes mit einem charakteristischen Bildbereich des weiteren digitalen Bildes durchzuführen, und anhand des Vergleichs zu bestimmen, ob ein Bildmotiv unveränderlich ist.

18. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Aufnahmeeinrichtung (1201; 1501) angepasst ist, mindestens ein weiteres digitales Bild in der ersten Lage und der zweiten Lage der optischen Anordnung aufzunehmen und die jeweiligen Bilder in der ersten Lage und der zweiten Lage zu mitteln.

19. Verfahren zur Bestimmung eines Messfehlers einer Messeinrichtung, mit:

Aufnehmen eines ersten digitalen Bildes mit einer Vielzahl von Pixeln mittels einer Bildsensoreinrichtung, wobei eine Zielachse einer optischen Anordnung der Bildsensoreinrichtung in einer ersten Lage ausgerichtet ist;

Bestimmen eines charakteristischen Bildbereichs im ersten digitalen Bild und Bestimmen von Pixelpositionen von Pixeln des charakteristischen Bildbereichs auf der Bildsensoreinrichtung;

Aufnehmen eines zweiten digitalen Bildes mittels der Bildsensoreinrichtung, wobei die Zielachse der optischen Anordnung der Bildsensoreinrichtung in einer zweiten Lage ausgerichtet ist, wobei in der zweiten Lage die Bildsensoreinrichtung mit der optischen Anordnung in der gleichen Richtung wie in der ersten Lage ausgerichtet ist, jedoch mit innerem Wenden infolge Durchschlagens;

Auffinden des charakteristischen Bildbereichs im zweiten digitalen Bild, wobei dazu das erste oder das zweite digitale Bild um 180 Grad in der Bildebene rotiert ist;

Bestimmen der Pixelpositionen von Pixeln des charakteristischen Bildbereichs im zweiten digitalen Bild auf der Bildsensoreinrichtung; und

Bestimmen eines Versatzes zwischen den Pixelpositionen des charakteristischen Bildbereichs im ersten digitalen Bild auf der Bildsensoreinrichtung und den Pixelpositionen des charakteristischen Bildbereichs im zweiten digitalen Bild auf der Bildsensoreinrichtung als Messfehler.

20. Computerlesbares Medium mit einem Programm zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 19, wenn es auf einer Datenverarbeitungseinrichtung einer Vorrichtung nach mindestens einem der Patentansprüche 1-18 ausgeführt wird.

21. Programm zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 19, wenn es auf einer Datenverarbeitungseinrichtung einer Vorrichtung nach mindestens einem der Patentansprüche 1-18 ausgeführt wird.

Es folgen 11 Seiten Zeichnungen



Anhängende Zeichnungen

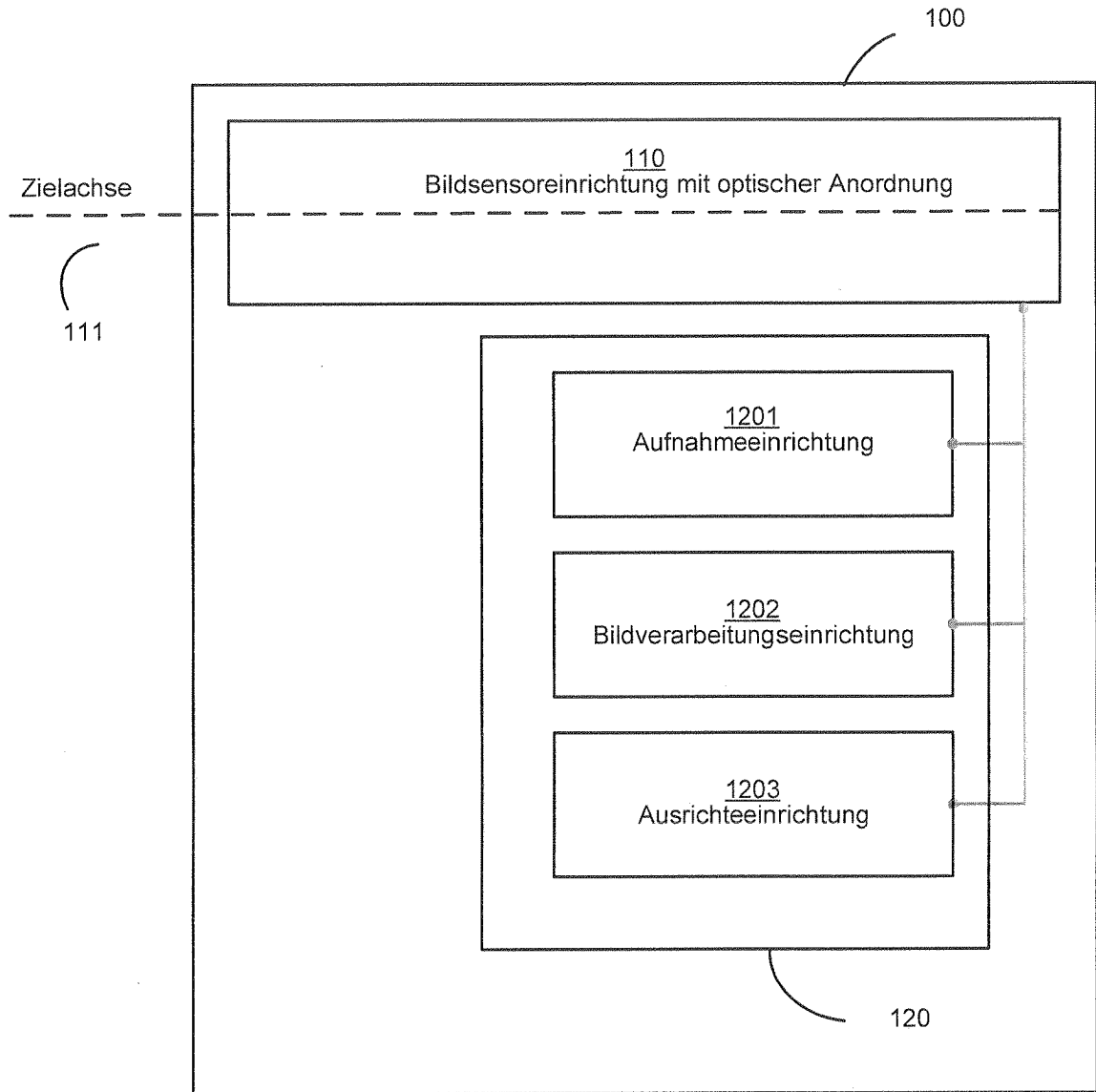


Fig. 1

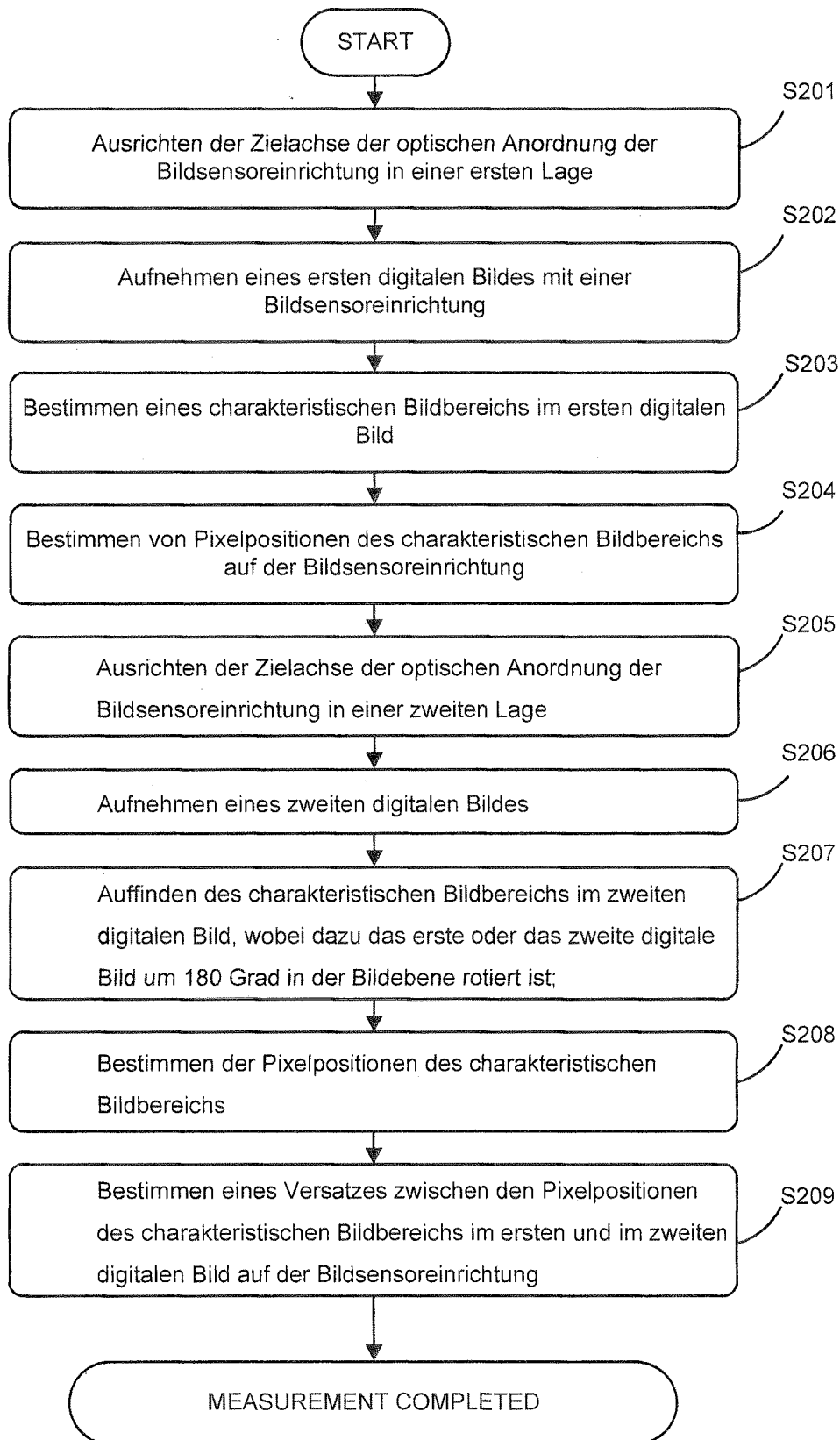


Fig. 2

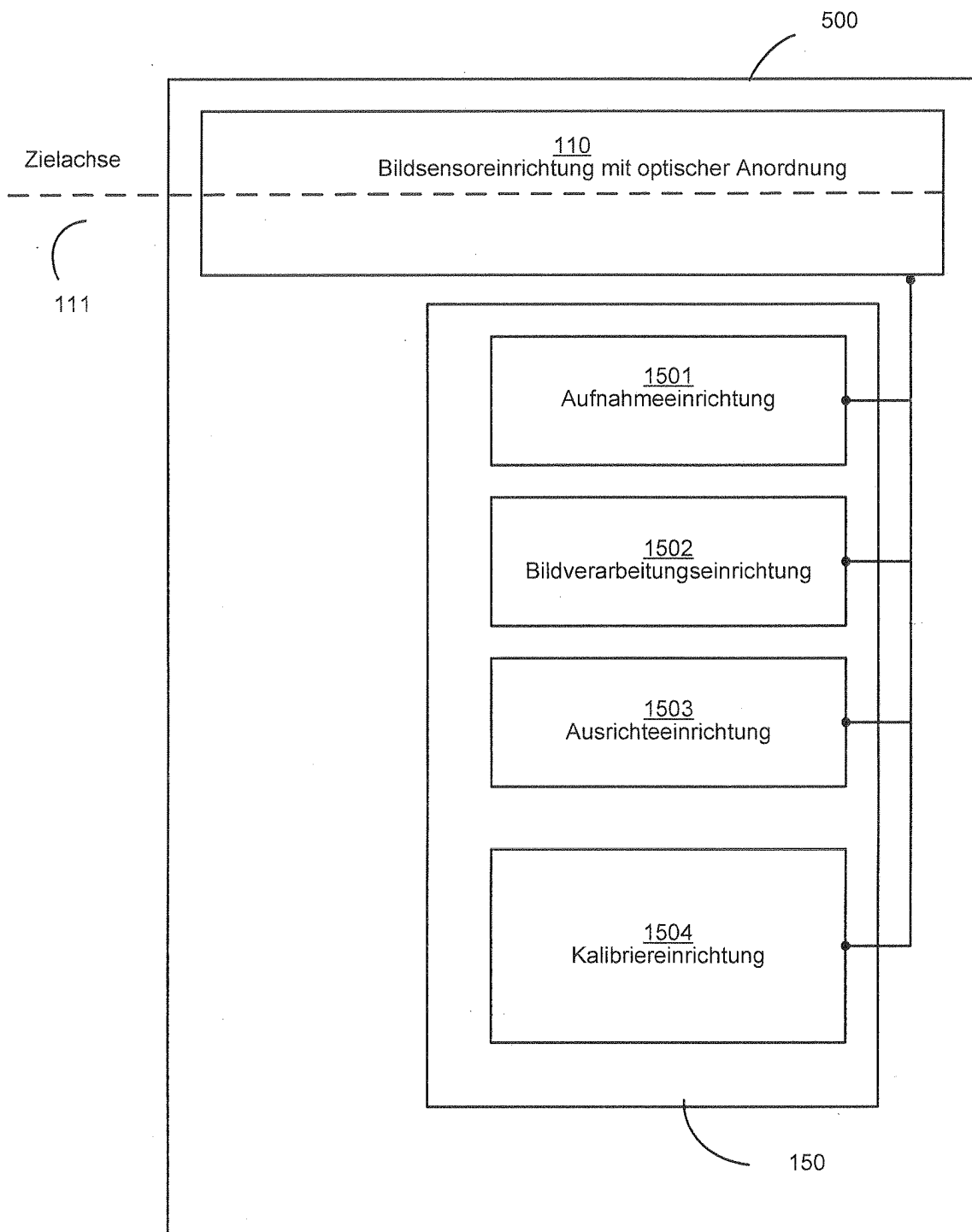


Fig. 3

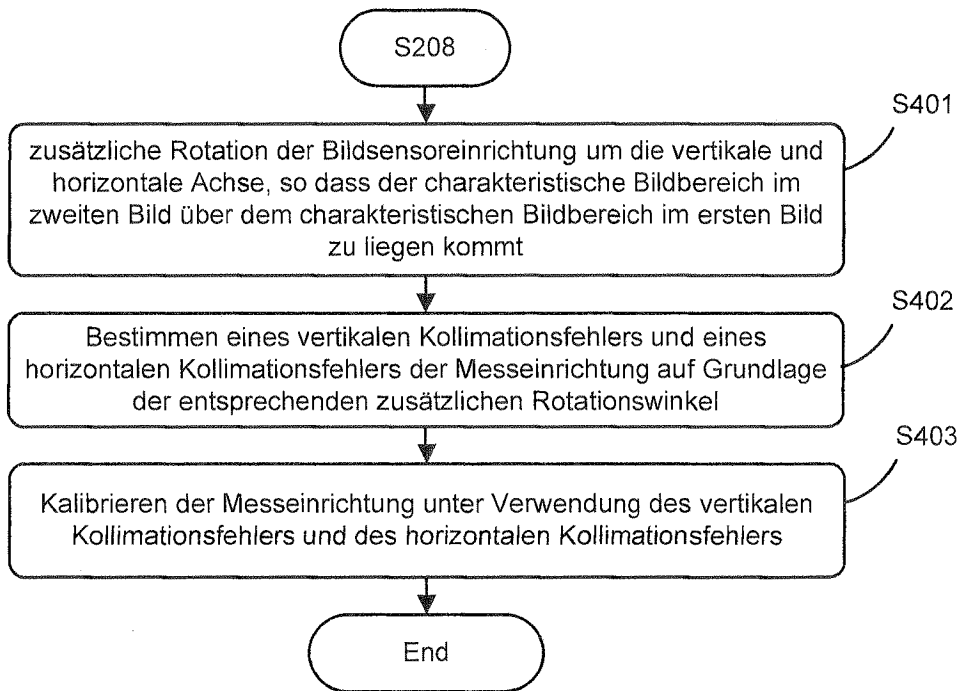


Fig. 4

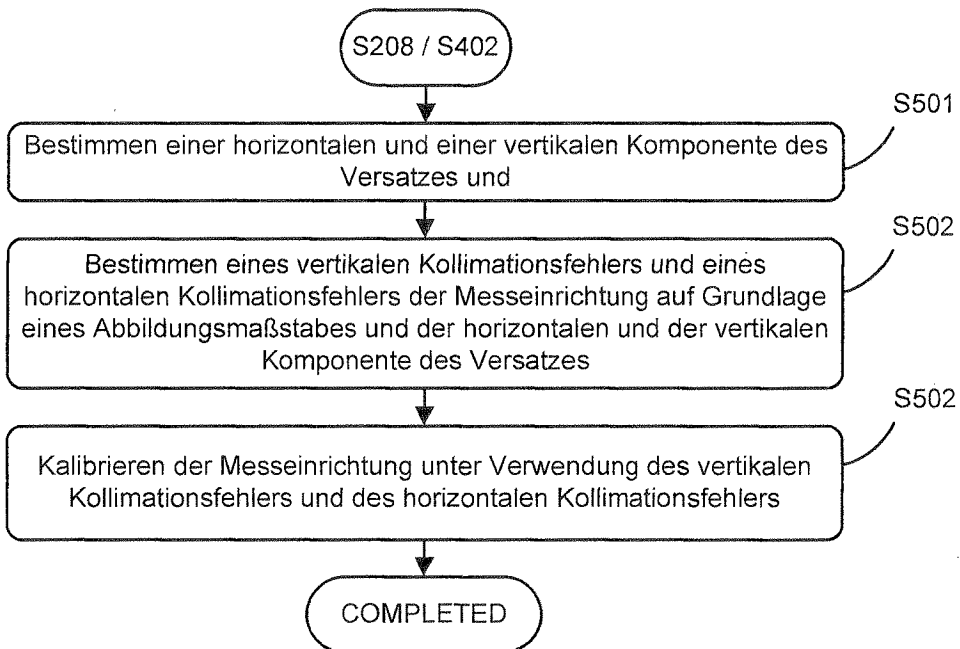


Fig. 5

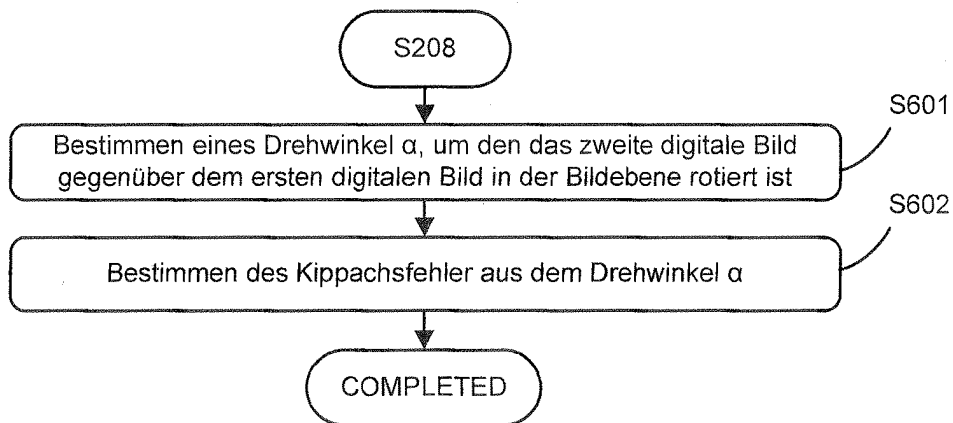


Fig. 6

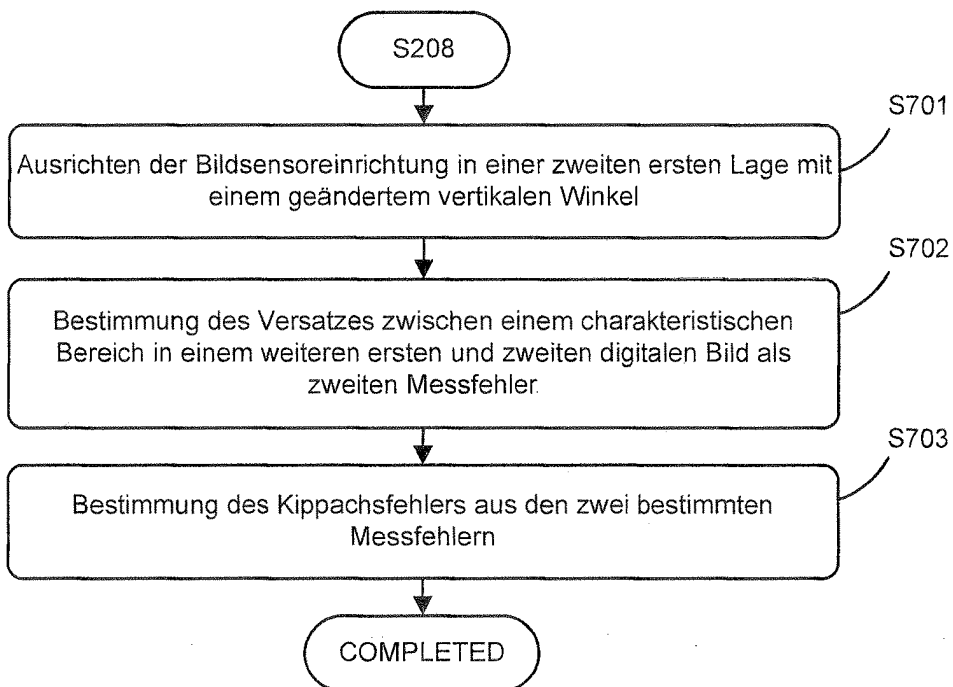


Fig. 7

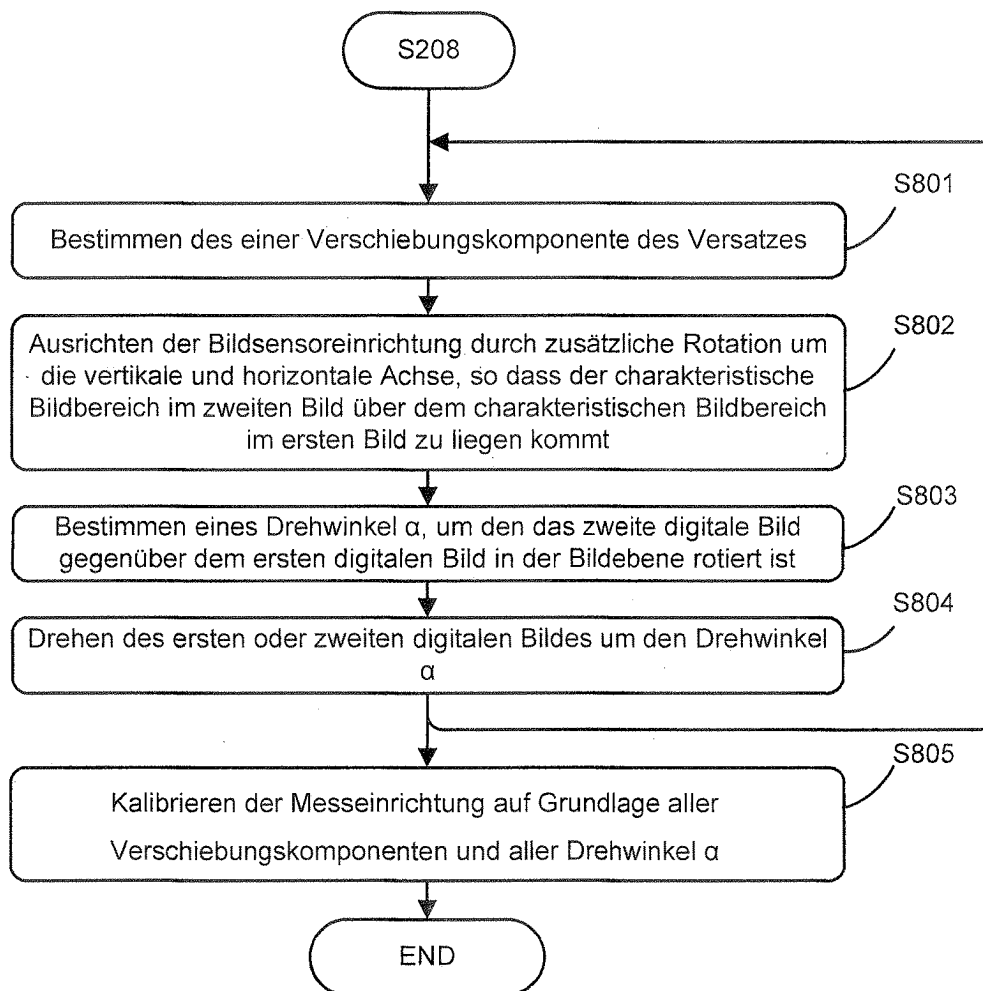


Fig. 8

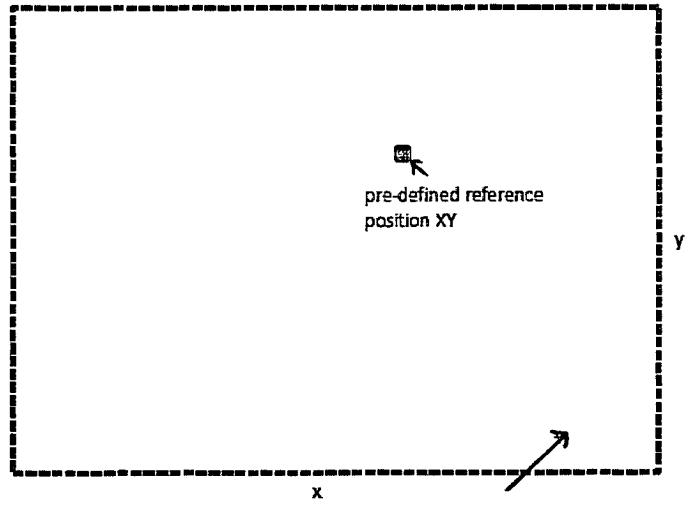


Fig. 9a

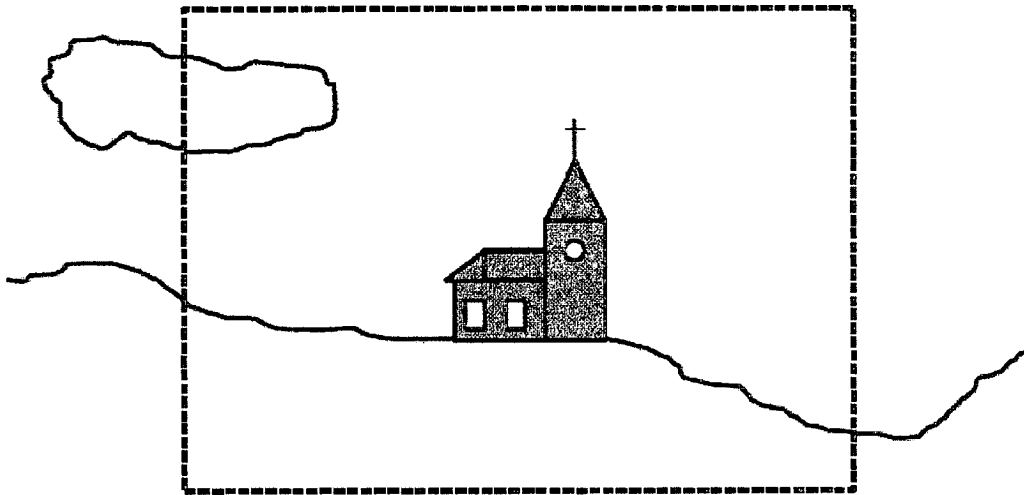


Fig. 9b

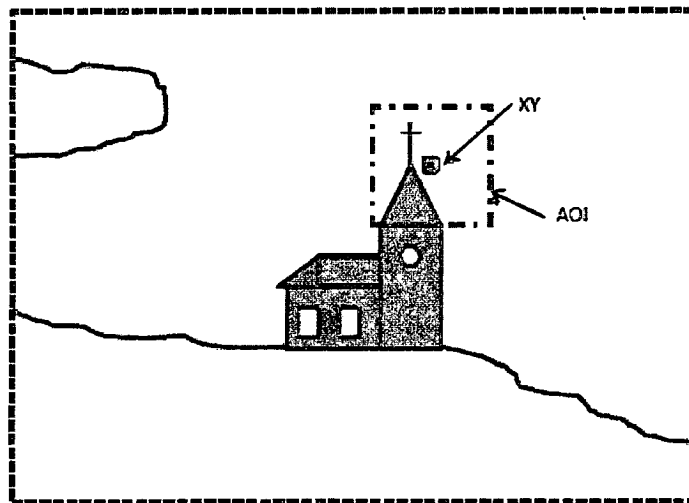


Fig. 9c

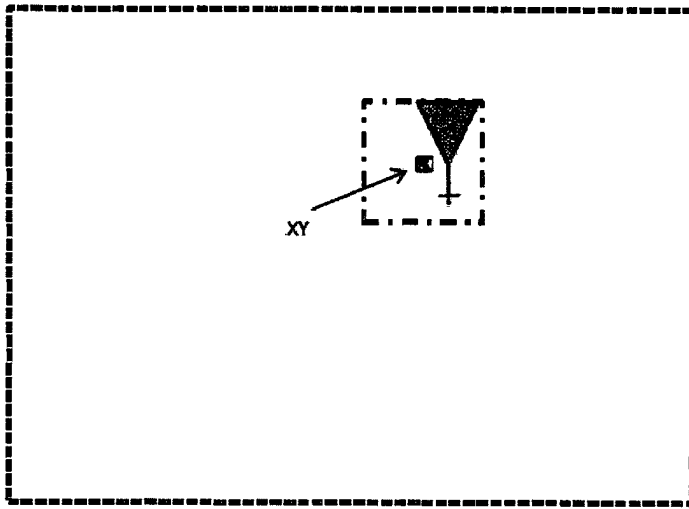


Fig. 9d

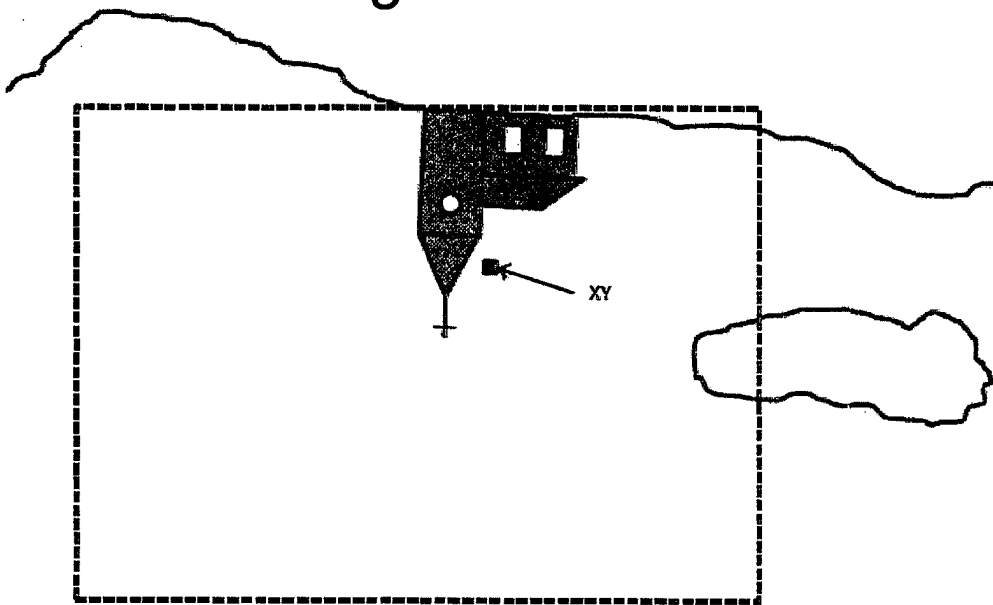


Fig. 9e

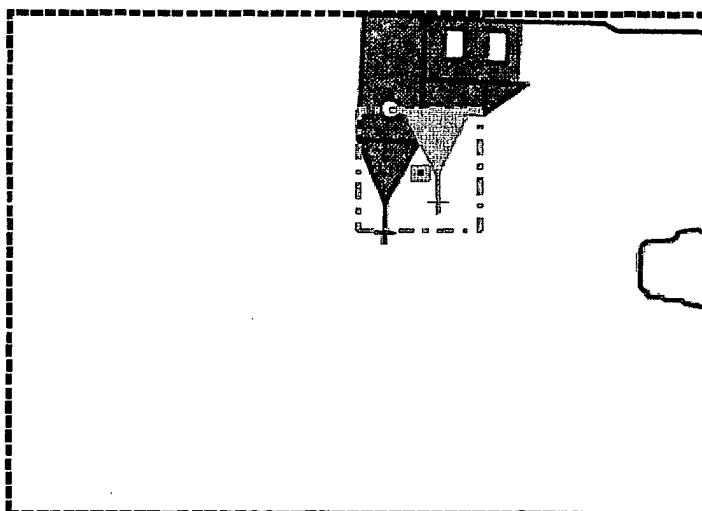


Fig. 9f



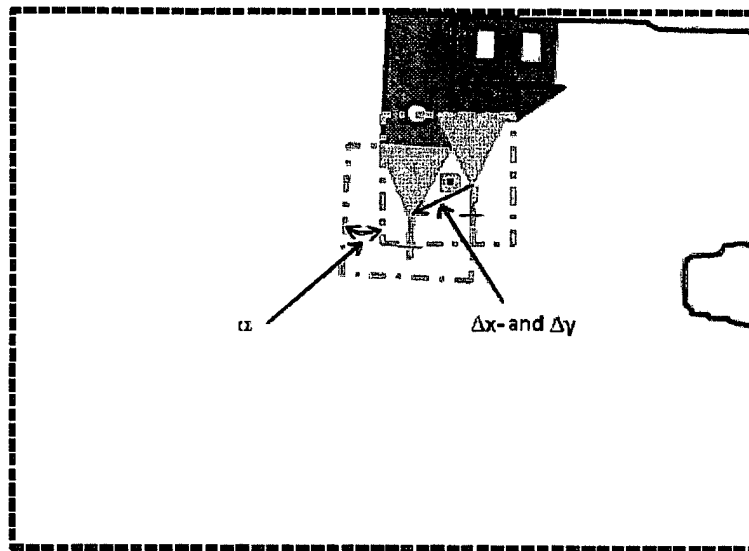


Fig. 9g

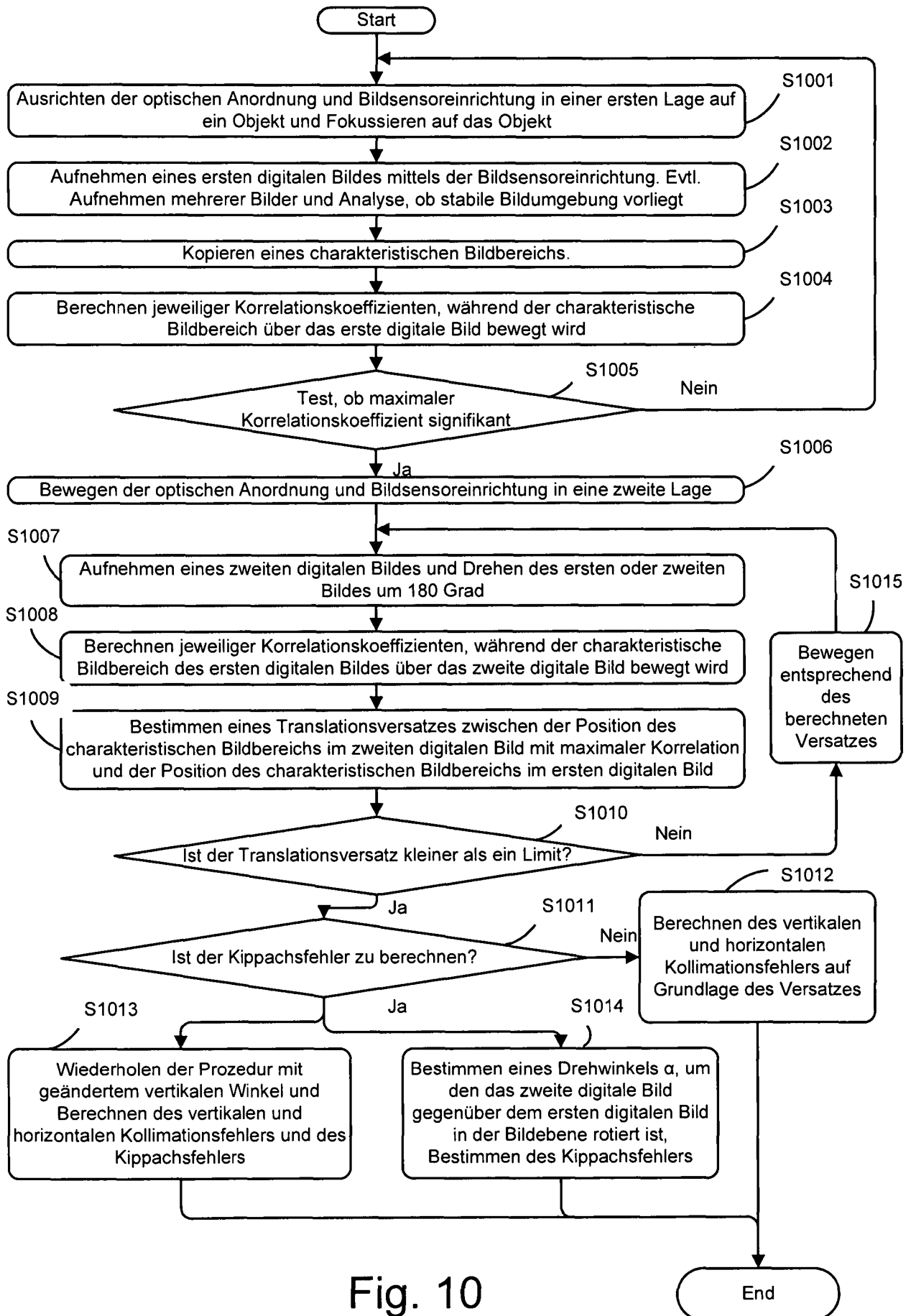


Fig. 10

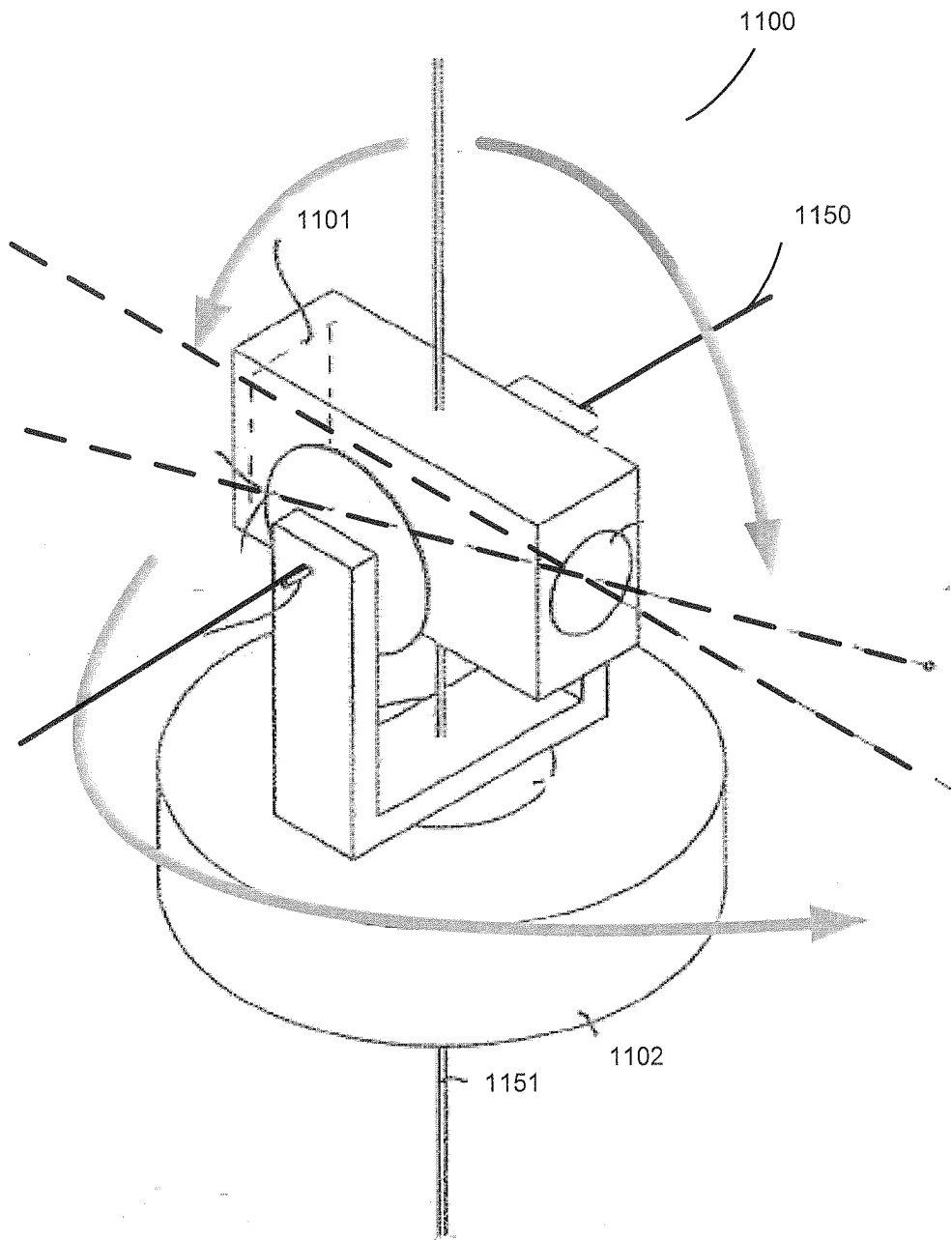


Fig. 11