

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50411/2019
(22) Anmeldetag: 07.05.2019
(43) Veröffentlicht am: 15.10.2020

(51) Int. Cl.: **G01B 11/25** (2006.01)
G03B 21/00 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
US 2005030486 A1
WO 2011143684 A1
WO 2007100258 A1

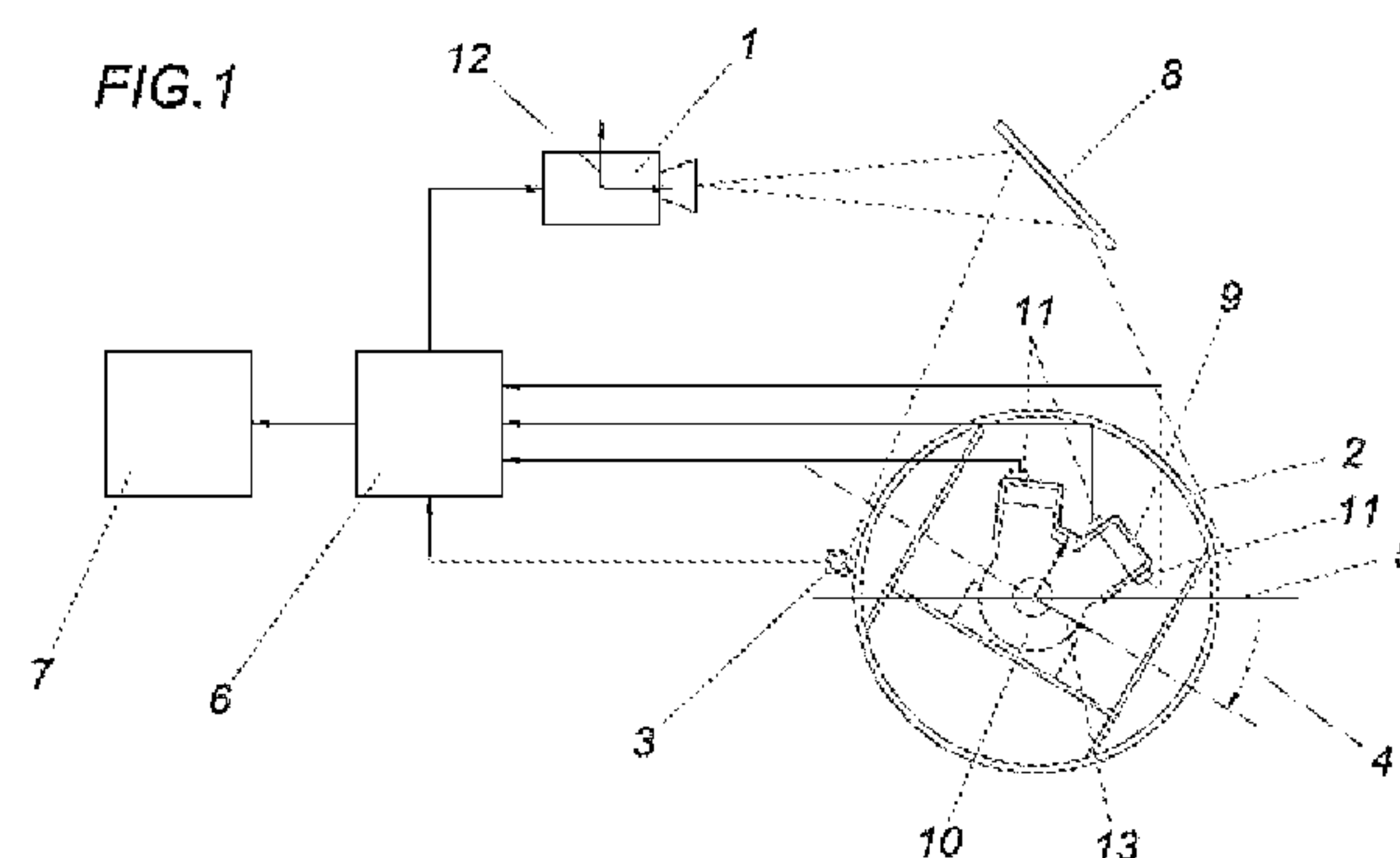
(71) Patentanmelder:
PROFACTOR GmbH
4407 Steyr-Gleink (AT)

(72) Erfinder:
Pönitz Thomas
4407 Steyr-Gleink (AT)
Ebenhofer Gerhard
4407 Steyr-Gleink (AT)
Heindl Christoph
4407 Steyr-Gleink (AT)
Stübl Gernot Dr.
4407 Steyr-Gleink (AT)
Bauer Harald
4407 Steyr-Gleink (AT)

(74) Vertreter:
Hübscher & Partner Patentanwälte GmbH
4020 Linz (AT)

(54) **Kalibrierverfahren für einen Projektor**

(57) Es wird ein Kalibrierverfahren für einen Projektor (1) beschrieben, wobei mit Hilfe des Projektors (1) verschiedene Kalibriermuster auf einen Kalibrierkörper (9) mit einzelnen, voneinander in einer bekannten relativen Lage beabstandeten Photodetektoren (11) projiziert und je Kalibriermuster die Messwerte der Photodetektoren (11) erfasst werden, wonach aus den Kalibriermustern und den erfassten Messwerten ein Abbildungsmodell zwischen dem Projektor (1) und dem Kalibrierkörper (9) berechnet und in einem Kalibrierdatenspeicher (7) abgelegt wird. Zur Verbesserung des Kalibrierverfahrens wird vorgeschlagen, dass der Kalibrierkörper (9) auf einem beweglichen Rahmen (2) fest angeordnet wird, dass gemeinsam mit den Messwerten der Photodetektoren (11) die relative Lage (4) des Rahmens (2) zu einer Bezugslage (5) erfasst wird und dass als Abbildungsmodell ein Zentralprojektionsmodell des Projektors (1) sowie ein Orientierungsmodell zwischen dem Projektor (1) und dem Kalibrierkörper (9) in Bezugslage (5) des Rahmens (2) berechnet und im Kalibrierdatenspeicher (7) abgelegt wird.



Zusammenfassung

Es wird ein Kalibrierverfahren für einen Projektor (1) beschrieben, wobei mit Hilfe des Projektors (1) verschiedene Kalibriermuster auf einen Kalibrierkörper (9) mit einzelnen, voneinander in einer bekannten relativen Lage beabstandeten Photodetektoren (11) projiziert und je Kalibriermuster die Messwerte der Photodetektoren (11) erfasst werden, wonach aus den Kalibriermustern und den erfassten Messwerten ein Abbildungsmodell zwischen dem Projektor (1) und dem Kalibrierkörper (9) berechnet und in einem Kalibrierdatenspeicher (7) abgelegt wird. Zur Verbesserung des Kalibrierverfahrens wird vorgeschlagen, dass der Kalibrierkörper (9) auf einem beweglichen Rahmen (2) fest angeordnet wird, dass gemeinsam mit den Messwerten der Photodetektoren (11) die relative Lage (4) des Rahmens (2) zu einer Bezugslage (5) erfasst wird und dass als Abbildungsmodell ein Zentralprojektionsmodell des Projektors (1) sowie ein Orientierungsmodell zwischen dem Projektor (1) und dem Kalibrierkörper (9) in Bezugslage (5) des Rahmens (2) berechnet und im Kalibrierdatenspeicher (7) abgelegt wird.

(Fig. 1)

Die Erfindung bezieht sich auf ein Kalibrierverfahren für einen Projektor, wobei mit Hilfe des Projektors verschiedene Kalibriermuster auf einen Kalibrierkörper mit einzelnen, voneinander in einer bekannten relativen Lage beabstandeten Photodetektoren projiziert und je Kalibriermuster die Messwerte der Photodetektoren erfasst werden, wonach aus den Kalibriermustern und den erfassten Messwerten ein Abbildungsmodell zwischen dem Projektor und dem Kalibrierkörper berechnet und in einem Kalibrierdatenspeicher abgelegt wird.

Aus der US7001023B2 ist ein Verfahren zum Kalibrieren eines Projektors bekannt. Hierzu werden vorzugsweise gray - kodierte Kalibriermuster auf Photodetektoren bekannter Koordinaten projiziert, wobei aufgrund der von den Photodetektoren erfassten Lichtintensität auf die lokale Übereinstimmung zwischen den projizierten Kalibriermuster und der Position der Photodetektoren geschlossen werden kann. Mit dieser Information wird ein intrinsische und extrinsische Parameter umfassendes Abbildungsmodell des Projektors erstellt, das eine auf Homographie basierende Projektion von Informationen auf beliebig geformte Oberflächen erlaubt. Soll der Projektor eine ordnungsgemäße Projektion auf verschiedene Objekte mit unterschiedlichen Ausgestaltungsformen ermöglichen, so muss vor jeder Projektion eine vollständige Kalibrierung des gesamten Abbildungsmodells durchgeführt werden. Vor allem bei komplexen Objekten mit einer Vielzahl an Photodetektoren ergibt sich einerseits durch das Anbringen der Photodetektoren und andererseits durch die Komplexität der Rechenschritte ein beträchtlicher Zeitaufwand.

Die US7519501 offenbart demgegenüber ein Verfahren zur Projektion von Informationen auf zu inspizierende Bauteile. Damit ein gerendertes, mit

Informationen erweitertes Abbild des Bauteiles exakt auf das zu inspizierende Bauteil projiziert werden kann, sind am Bauteil Marker mit bekannter Position angebracht, deren relative Lage zu Referenzpunkten des gerenderten Abbilds durch eine Kamera festgestellt wird. Dadurch kann die Ausrichtung des Abbilds auf das Bauteil angepasst werden. Die Notwendigkeit einer Kamera ist jedoch sowohl aufgrund des benötigten Rechenaufwandes als auch aus datenschutzrechtlichen Gründen problematisch. Außerdem führen kamerabasierte Verfahren bei schlechtem Umgebungslicht oder spiegelnden Oberflächen zu unerwünschten Projektionsfehlern.

Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, ein Kalibrierverfahren für einen Projektor der eingangs erwähnten Art vorzuschlagen, das unabhängig von den Betriebsbedingungen eine exakte Projektion von Informationen während der Inspektion oder Fertigung von Bauteilen verschiedener Bauteiltypen ermöglicht, ohne dass die Bauteile hierfür adaptiert werden müssten und ohne dass datenschutzrechtlich bedenkliche Eingriffe in die Privatsphäre des Inspektors bzw. des Bearbeiters erforderlich wären.

Die Erfindung löst die gestellte Aufgabe dadurch, dass der Kalibrierkörper auf einem beweglichen Rahmen fest angeordnet wird, dass gemeinsam mit den Messwerten der Photodetektoren die relative Lage des Rahmens zu einer Bezugslage erfasst wird und dass als Abbildungsmodell ein Zentralprojektionsmodell des Projektors sowie ein Orientierungsmodell zwischen dem Projektor und dem Kalibrierkörper in Bezugslage des Rahmens berechnet wird. Zusage dieser Maßnahmen kann die Kalibrierung für einen fest, das heißt unbeweglich aber lösbar am Rahmen angeordneten Kalibrierkörper in einer beliebigen Lage des Rahmens durchgeführt werden, ohne dass hierfür eine herkömmliche Kamera benötigt wird und ohne dass das abgespeicherte Abbildungsmodell aus Zentralprojektionsmodell des Projektors sowie Orientierungsmodell zwischen dem Projektor und dem Kalibrierkörper auf diese beliebige Lage beschränkt wäre. Das Orientierungsmodell wird nämlich vor dem Ablegen in den Kalibrierdatenspeicher um die ebenfalls erfasste relative Lage des Rahmens zu einer Bezugslage korrigiert, sodass das abgelegte

Orientierungsmodell eine Transformation zwischen dem Projektorkoordinatensystem und dem Koordinatensystem des Kalibrierkörpers in Bezugslage des Rahmens ermöglicht. Dadurch können die Kalibrierergebnisse insbesondere des Zentralprojektionsmodells gerade bei nur ein geringes Volumen aufspannenden, wie beispielsweise plattenförmigen Kalibrierkörpern verbessert werden, wenn deren primäre Ausdehnungsfläche entsprechend zur optischen Achse des Projektors geneigt wird. Als Zentralprojektionsmodell kann beispielsweise ein klassisches Lochkameramodell verwendet werden, das die Bildebene und das Linsensystem des Projektors annähert. Beim Orientierungsmodell kann es sich auf der anderen Seite um eine sowohl Rotation als auch Translation umfassende homogene euklidische Transformationsmatrix handeln.

Um auf Basis des vorgeschlagenen Kalibrierverfahrens die Kalibrierergebnisse trotz einer geringen Anzahl von Photodetektoren zu verbessern, wird vorgeschlagen, dass zwischen der Projektion zweier Kalibriermuster die relative Lage des Rahmens verändert wird. Demzufolge wird die Anzahl der für die Berechnung des Abbildungsmodells herangezogenen Korrespondenzen zwischen Bildpunkten im Projektorkoordinatensystem und dem Koordinatensystem des Kalibrierkörpers durch die veränderte Lage des Rahmens und damit des Kalibrierkörpers erhöht, wobei allerdings aufgrund der erfassten und damit bekannten relativen Lage des Rahmens zu einer Bezugslage keine zusätzlichen unbekannten Freiheitsgrade eingeführt werden. Es spielt dabei grundsätzlich keine Rolle, ob die relative Lage nach der Projektion jedes Kalibriermusters variiert wird oder ob dies gruppenweise nach mehreren Kalibriermustern erfolgt, ebenso ist es unerheblich, ob die Lageänderung des Rahmens zwischen zwei übereinstimmenden oder unterschiedlichen Kalibriermustern vorgenommen wird.

Das beschriebene Kalibrierverfahren verbessert insbesondere die Projektion von Informationen auf zu inspizierende oder zu fertigende Bauteile unterschiedlicher Bauteiltypen in einem Bauteilkoordinatensystem, indem zunächst für jeden Bauteiltyp ein Abbildungsmodell berechnet und gemeinsam mit dem Bauteiltyp im

Kalibrierdatenspeicher abgelegt wird, wobei der Kalibrierkörper im Bereich der Photodetektoren die Form eines Bauteiles des Bauteiltyps aufweist, wonach anhand des Bauteiltyps eines auf dem Rahmen angeordneten Bauteiles das korrespondierende Abbildungsmodell aus dem Kalibrierdatenspeicher abgerufen, die relative Lage des Rahmens zu dessen Bezugslage erfasst und die Informationen im Bauteilkoordinatensystem anhand des Abbildungsmodells und der relativen Lage des Rahmens in ein Projektorkoordinatensystem transformiert und dem Projektor zur Projektion übergeben werden. Auf diese Weise muss für ein beweglich gelagertes Bauteil nicht wie beim bekannten Stand der Technik jedes einzelne Bauteil online in Echtzeit kalibriert werden, sondern es genügt, für jeden Bauteiltyp ein Abbildungsmodell zu hinterlegen, das bereits vor der Inspektion bzw. der Fertigung offline kalibriert werden kann. Eine Kalibrierung für unterschiedliche Bauteiltypen ist dabei deshalb erforderlich, weil die Lagerung der unterschiedlichen Bauteiltypen am Rahmen nicht nur bestimmten, bauteiltypabhängigen Toleranzen unterworfen ist, sondern auch abhängig vom Bauteiltyp unterschiedliche Befestigungen am Rahmen gewählt werden können, sodass eine reine Kalibrierung auf den Rahmen und nicht auf das am Rahmen angeordnete Bauteil unzureichend wäre. Während der Inspektion bzw. Fertigung wird das abgelegte Abbildungsmodell aus dem Kalibrierdatenspeicher abgerufen und die Informationen, beispielsweise zu prüfende Inspektionspunkte oder Punkte für einzusetzende Schrauben, im dreidimensionalen Bauteilkoordinatensystem anhand des Abbildungsmodells und der erfassten relativen Lage des Rahmens in ein zweidimensionales Projektorkoordinatensystem transformiert und dem Projektor zur Projektion übergeben. Dabei handelt es sich grundsätzlich um einfache Berechnungsschritte, die auch mit geringen Leistungsanforderungen in Echtzeit durchgeführt werden können.

In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens kann nach dem Erfassen der relativen Lage des Rahmens zu dessen Bezugslage überprüft werden, ob die zu projizierenden Informationen auf einem dem Projektor zugewandten Abschnitt des Bauteils liegen und der Rahmen so lange bewegt werden, bis dieser Abschnitt dem Projektor zugewandt ist. Die Bewegung

des Rahmens kann dabei entweder automatisiert erfolgen oder aber dem Inspekteur bzw. Bearbeiter können auf die dem Projektor zugewandten Abschnitte des Bauteils Anweisungen, beispielsweise in Form einfacher Pfeildarstellungen, gegeben werden, damit der Inspekteur bzw. Bearbeiter den Rahmen in eine entsprechende relative Lage bewegen kann.

Die Erfindung bezieht sich auch auf eine Vorrichtung zur Durchführung des beschriebenen Verfahrens, mit einem von einer Steuereinheit angesteuerten Projektor, einem mit der Steuereinheit verbundenen Kalibrierdatenspeicher und einem Kalibrierkörper, der einzelne voneinander in einer bekannten relativen Lage beabstandet angeordnete Photodetektoren umfasst, wobei der Kalibrierkörper an einem beweglichen Rahmen angeordnet ist, der einen mit der Steuereinheit verbundenen Positionsgeber zur Erfassung der relativen Lage des Rahmens zu einer Bezugslage aufweist. Der Positionsgeber kann beispielsweise ein mit dem Rahmen verbundener Inkrementalgeber oder aber ein entsprechend ansteuerbarer Antrieb für den Rahmen sein, wie beispielsweise ein Schrittmotor. Für besonders platzsparende Konstruktionsbedingungen kann das Projektionsbild des Projektors auch über im Strahlengang angeordnete Spiegel umgelenkt werden.

Der Kalibrierkörper kann entweder im Bereich der Photodetektoren die Form eines Bauteiles des zu kalibrierenden Bauteiltyps aufweisen und damit auch beispielsweise ein Bauteil selbst bilden, an dem Photodetektoren mit bekannter relativer Lage zueinander angeordnet werden. Der Kalibrierkörper kann aber auch eine mit Photodetektoren versehene Schablone für ein Bauteil bilden, was den Kalibriervorgang weiter beschleunigt, eine exakte Ausrichtung der Photodetektoren zueinander begünstigt und etwaige Beschädigungen des Bauteils, die aufgrund der Befestigung der Photodetektoren entstehen können, vermeidet.

In der Zeichnung ist der Erfindungsgegenstand beispielsweise dargestellt. Es zeigen

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Kalibrierverfahrens und

Fig. 2 eine der Fig. 1 entsprechenden schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Projektion von Informationen auf zu inspizierende Bauteile unterschiedlicher Bauteiltypen.

Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Durchführung der erfindungsgemäßen Verfahren umfasst einen Projektor 1 und einen beweglichen Rahmen 2, der in der dargestellten Ausführungsform beispielsweise ein drehbar gelagertes Rhönrad bildet. Dieser Rahmen 2 ist mit einem Positionsgeber 3 verbunden, der die relative Lage 4 des Rahmens 2 zu einer Bezugslage 5 erfasst.

Der Projektor 1 wird von einer Steuereinheit 6 angesteuert, die mit einem Kalibrierdatenspeicher 7 und dem Positionsgeber 3 verbunden ist. In dem in den Figs. 1 und 2 dargestellten Ausführungsbeispiel wird der Strahlengang zwischen dem Projektor 1 und dem Rahmen 2 über einen Spiegel 8 umgelenkt.

Unter Bezugnahme auf die Fig. 1 wird im Folgenden das erfindungsgemäße Kalibrierverfahren näher beschrieben: Zunächst wird auf dem Rahmen 2 ein Kalibrierkörper 9 angeordnet, das im dargestellten Ausführungsbeispiel eine Schablone für ein Bauteil 10 eines bestimmten Bauteiltyps ist. Auf dem Kalibrierkörper 9 sind einzelne, voneinander beabstandete Photodetektoren 11 angeordnet, die ebenfalls mit der Steuereinheit 6 zum Erfassen der gemessenen Helligkeitswerte verbunden sind. Zur Durchführung der Kalibrierung werden unterschiedliche Kalibriermuster, vorzugsweise in einer Gray – Kodierung, im Projektorkoordinatensystem 12 dem Projektor 1 zur Projektion auf das Kalibrierkörper 9 vorgegeben. Der Kalibrierkörper 9 befindet sich dabei in einer über den Positionsgeber 3 erfassten relativen Lage 4 zur Bezugslage 5 des Rahmens 2 und die Photodetektoren 11 erfassen entsprechende Helligkeitswerte an deren Positionen im Koordinatensystem des Kalibrierkörpers 9 bzw. im damit übereinstimmenden Bauteilkoordinatensystem 13. Aufgrund der auf diese Weise erfassbaren korrespondierenden Punkte im Projektorkoordinatensystem 12 und im Bauteilkoordinatensystem 13 kann ein Abbildungsmodell berechnet werden, das einerseits ein Zentralprojektionsmodell des Projektors 1 sowie ein

Orientierungsmodell zwischen dem Projektor 1 und dem Kalibrierkörper 9 umfasst. Das Orientierungsmodell wird dabei um die über den Positionsgeber 3 erfasste relative Lage 4 des Rahmens 2 so korrigiert, dass es die relative Orientierung des Projektors 1 und des Kalibrierkörpers 9 in der Bezugslage 5 des Rahmens 2 widerspiegelt. Dieses Abbildungsmodell kann gemeinsam mit dem Bauteiltyp des Bauteils 10 im Kalibrierdatenspeicher 7 abgelegt werden.

Für eine in der Fig. 2 dargestellte Inspektion oder Fertigung eines Bauteils 10 wird aus dem Kalibrierdatenspeicher 7 das Abbildungsmodell für den Bauteiltyp des Bauteils 10 abgerufen. Auf Basis des Abbildungsmodells und der durch den Positionsgeber 3 ermittelten relativen Lage 4 des Rahmens 2 zu dessen Bezugslage 5 kann die zu projizierende Information aus dem Bauteilkoordinatensystem 13 in das Projektorkoordinatensystem 12 transformiert werden, wodurch eine exakte und rechenunintensive Projektion der Information vom Projektor 1 auf das Bauteil 10 ermöglicht wird. Im Falle einer Bewegung des Rahmens 2, wie beispielsweise einer Rotation desselben, reicht es aus, die relativen Lage 4 des Rahmens 2 mit Hilfe des Positionsgebers 3 neu zu ermitteln und die zu projizierende Information anhand der neuen relativen Lage 4 aus dem Bauteilkoordinatensystem 13 in das Projektorkoordinatensystem 12 zu transformieren und dem Projektor 1 zur Projektion zu übergeben. Diese Verfahrensschritte können ohne großen Ressourcenbedarf in Echtzeit durchgeführt werden.

Patentansprüche

1. Kalibrierverfahren für einen Projektor (1), wobei mit Hilfe des Projektors (1) verschiedene Kalibriermuster auf einen Kalibrierkörper (9) mit einzelnen, voneinander in einer bekannten relativen Lage beabstandeten Photodetektoren (11) projiziert und je Kalibriermuster die Messwerte der Photodetektoren (11) erfasst werden, wonach aus den Kalibriermustern und den erfassten Messwerten ein Abbildungsmodell zwischen dem Projektor (1) und dem Kalibrierkörper (9) berechnet und in einem Kalibrierdatenspeicher (7) abgelegt wird, dadurch gekennzeichnet, dass der Kalibrierkörper (9) auf einem beweglichen Rahmen (2) fest angeordnet wird, dass gemeinsam mit den Messwerten der Photodetektoren (11) die relative Lage (4) des Rahmens (2) zu einer Bezugslage (5) erfasst wird und dass als Abbildungsmodell ein Zentralprojektionsmodell des Projektors (1) sowie ein Orientierungsmodell zwischen dem Projektor (1) und dem Kalibrierkörper (9) in Bezugslage (5) des Rahmens (2) berechnet und im Kalibrierdatenspeicher (7) abgelegt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Projektion zweier Kalibriermuster die relative Lage (4) des Rahmens (2) verändert wird.

3. Verfahren zur Projektion von Informationen auf zu inspizierende oder zu fertigende Bauteile (10) unterschiedlicher Bauteiltypen in einem Bauteilkoordinatensystem (13) mit einem Kalibrierverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zunächst für jeden Bauteiltyp ein Abbildungsmodell berechnet und gemeinsam mit dem Bauteiltyp im

Kalibrierdatenspeicher (7) abgelegt wird, wobei der Kalibrierkörper (9) im Bereich der Photodetektoren (11) die Form eines Bauteiles (10) des Bauteiltyps aufweist, wonach anhand des Bauteiltyps eines auf dem Rahmen (2) angeordneten Bauteiles (10) das korrespondierende Abbildungsmodell aus dem Kalibrierdatenspeicher (7) abgerufen, die relative Lage (4) des Rahmens (2) zu dessen Bezugslage (5) erfasst und die Informationen im Bauteilkoordinatensystem (13) anhand des Abbildungsmodells und der relativen Lage (4) des Rahmens (2) in ein Projektorkoordinatensystem (12) transformiert und dem Projektor (1) zur Projektion übergeben werden.

4. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorangegangenen Ansprüche mit einem von einer Steuereinheit (6) angesteuerten Projektor (1), einem mit der Steuereinheit (6) verbundenen Kalibrierdatenspeicher (7) und einem Kalibrierkörper (9), der einzelne voneinander in einer bekannten relativen Lage (4) beabstandet angeordnete Photodetektoren (11) umfasst, dadurch gekennzeichnet, dass der Kalibrierkörper (9) an einem beweglichen Rahmen (2) angeordnet ist, der einen mit der Steuereinheit (6) verbundenen Positionsgeber (3) zu Erfassung der relativen Lage (4) des Rahmens (2) zu einer Bezugslage (5) aufweist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Kalibrierkörper (9) eine mit Photodetektoren (11) versehene Schablone für ein Bauteil (10) bildet.

