

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
1. April 2010 (01.04.2010)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2010/034301 A2**

- (51) Internationale Patentklassifikation:  
*G01B 11/25* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2009/001331
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
23. September 2009 (23.09.2009)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
10 2008 048 963.8  
25. September 2008 (25.09.2008) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG CAROLO-WILHELMINA** [DE/DE]; Pockelsstrasse 14, 38106 Braunschweig (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **WINKELBACH, Simon** [DE/DE]; Leipziger Strasse 82, 38124 Braunschweig (DE).
- (74) Anwalt: **PLÖGER, Jan**; Gramm, Lins & Partner GbR, Theodor-Heuss-Strasse 1, 38122 Braunschweig (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

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

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

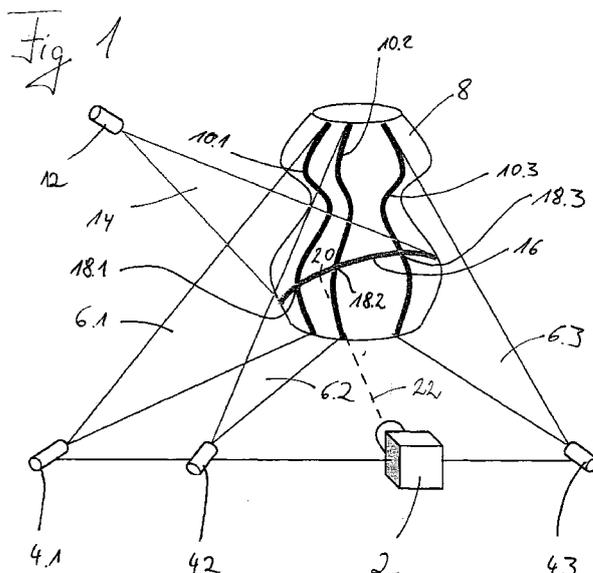
Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: 3D GEOMETRICAL ACQUISITION METHOD AND DEVICE

(54) Bezeichnung : 3D-GEOMETRIE-ERFASSUNGSVERFAHREN UND -VORRICHTUNG



(57) Abstract: Disclosed is a 3D detection method comprising the following steps: an object is provided that has a surface, the geometry of which is to be measured; reference coordinates of reference points are determined in a predefined coordinate system; light is emitted on a dynamic light plane such that the surface of the object is illuminated and a sufficient number of reference points lie on the dynamic light plane in order to determine a position of the dynamic light plane in the coordinate system; images of the illuminated object are taken by means of a camera which is located outside the dynamic light plane and the position of which in the coordinate system is known; the position of the dynamic light plane is calculated at least also from the reference coordinates of reference points lying on the dynamic light plane; surface coordinates of the object on the dynamic light plane are calculated from the position of the dynamic light plane and data of the images taken by the camera. According to the invention, the reference points lie on the surface of the object.

(57) Zusammenfassung: 3D-Geometrie-Erfassungsverfahren mit den Schritten: Bereitstellen eines Objektes mit einer

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2010/034301 A2



---

**Veröffentlicht:**

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

---

Oberfläche, deren Geometrie zu vermessen ist, Bestimmung von Stützkoordinaten von Stützpunkten in einem vorgegebenen Koordinatensystem, Aussenden von Licht in einer dynamischen Lichtebeine, so dass die Oberfläche des Objektes beleuchtet wird und genügend Stützpunkte in der dynamischen Lichtebeine liegen, um eine Lage der dynamischen Lichtebeine in dem Koordinatensystem zu berechnen, Aufnehmen von Kamerabildern des beleuchteten Objektes mit einer außerhalb der dynamischen Lichtebeine angeordneten Kamera, deren Position in dem Koordinatensystem bekannt ist, Errechnen der Lage der dynamischen Lichtebeine zumindest auch aus den Stützkoordinaten von Stützpunkten, die in der dynamischen Lichtebeine liegen, Errechnen von Oberflächenkoordinaten des Objektes in der dynamischen Lichtebeine aus der Lage der dynamischen Lichtebeine und Daten der Kamerabilder. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die Stützpunkte auf der Oberfläche des Objektes liegen.

### **3D-Geometrie-Erfassungsverfahren und -vorrichtung**

Die Erfindung betrifft ein 3D-Geometrie-Erfassungsverfahren und eine 3D-Geometrie-Erfassungsvorrichtung.

Verfahren, mit denen die dreidimensionale Geometrie eines zu vermessenden Objektes erfasst werden können, sind in Form von triangulationsbasierten Laserscan- und Lichtschnitttechniken seit über 20 Jahren bekannt. Bei den meisten bekannten Ansätzen werden zwei Kameras und/oder ein relativ teurer Lichtprojektor benötigt. Andere Systeme arbeiten mit nur einer Kamera und einer Licht- bzw. Laserebene. Dazu kann beispielsweise ein Laserstrahl per Linse zu einer Ebene aufgefächert werden.

Mit einer derartigen Laserebene wird die Oberfläche des zu vermessenden Objektes beleuchtet, und die an der Oberfläche des zu scannenden Objektes reflektierten Lichtstrahlen mit der Kamera aufgefangen. Ist die räumliche Lage der Laserebene bezüglich der Kamera bekannt, kann per Triangulation, also durch Bestimmen des Schnittpunktes des Sehstrahls der Kamera mit der Laserebene der Punkt auf der Oberfläche des Objektes exakt bestimmt werden.

Die Lichtquelle zum Erzeugen der Licht- oder Laserebene wird meist per Schrittmotor über das zu vermessende Objekt geschwenkt, um über die Oberfläche des Objektes zu rastern und so ein dreidimensionales Abbild des zu vermessenden Objektes zu erhalten. Alternativ kann die Laserebene auch mit einem externen Messsystem bestimmt werden. Dabei wird die Winkelposition der Lichtquelle durch einen Winkelsensor gemessen und die Kamera so mit dem Schrittmotor synchronisiert, dass jedem Bild genau eine Winkelposition zugeordnet werden kann.

Neuere Arbeiten auf diesem Gebiet schlagen vor, die räumliche Lage der Licht- oder Laserebene über eine automatische Analyse des Kamerabildes zu vermessen. Dazu muss stets eine bekannte Kalibriergeometrie im Kamerabild sichtbar sein. Beispielsweise kann aus der Lage der projizierten Lichtlinien auf der Kalibriergeometrie die Lage der zugehörigen Lichtebene errechnet werden.

Nachteilig bei den bekannten Lösungen ist, dass entweder die Laser- oder Lichtebene über zusätzliche Aktorik rotiert und verschoben oder die Lage der Ebene über eine externe Sensorik vermessen werden muss. Aufgrund der hohen Genauigkeit, die bei der 3D-Geometrie-Erfassung benötigt wird, sind beide Lösungen teuer. Zudem ist eine beispielsweise per Schrittmotor schwenkbare Laserebene unflexibel, da insbesondere bei komplizierten zu vermessenden Objekten manche Bereiche der Oberfläche nicht erfasst werden können, da sie im Schatten anderer Bereiche liegen.

Aus der US 6,415,051 B1 ist ein gattungsgemäßes Verfahren bekannt. Nachteilig an dem Verfahren ist, dass stets eine Referenzfläche vorhanden sein muss, deren Lage relativ zur Kamera bekannt ist. Wird aber die Lage der Licht- oder Laserebene über eine Analyse des Kamerabildes bestimmt, muss immer eine bekannte Geometrie in die zu vermessende Szene gestellt werden. Dies macht das Verfahren unflexibel, da insbesondere große Objekte und Ausschnitte großer Objekte nicht vermessen werden können, da in diesen Fällen keine Kalibriergeometrie im Kamerabild sichtbar ist. Zudem ist es nicht immer möglich, eine Kalibriergeometrie in das Kamerabild zu stellen, beispielsweise wenn archäologische Funde vermessen werden sollen, die sich noch im Erdboden befinden.

Aus der US 2005/0231734 A1 ist eine Messvorrichtung bekannt, bei der die Geometrie von Objekten erfasst wird, die auf einem Förderband bewegt werden. Nachteilig hieran ist, dass beispielsweise bei Feldversuchen kein entsprechend eingerichtetes Förderband vorhanden ist.

Aus der DE 101 37 241 A1 ist ein Verfahren zum Registrieren von Tiefenbildern mittels optisch projizierter Marken bekannt. Nachteilig ist hieran, dass eine große Anzahl an Marken auf das Objekt projiziert werden muss, damit die Oberfläche des zu vermessenden Objekts mit einer hohen Auflösung erfasst werden kann.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die 3D-Geometrie-Erfassung so zu verbessern, dass keine Referenzfläche notwendig und eine schnelle Erfassung möglich ist.

Die Erfindung löst die Aufgabe durch ein 3D-Geometrie-Erfassungsverfahren gemäß Anspruch 1 und eine 3D-Geometrie-Erfassungsvorrichtung gemäß Anspruch 5.

Im erfindungsgemäßen Verfahren sollen die Koordinaten der Punkte auf der Oberfläche des Objektes bestimmt werden, die in der dynamischen Lichtebene liegen. Dazu wird im Verfahrensschritt c) Licht in der dynamischen Lichtebene ausgesandt, so dass auf der Oberfläche des Objektes ein beleuchteter Streifen erscheint.

Im Verfahrensschritt d) werden Kamerabilder des so beleuchteten Objektes mit einer Kamera aufgenommen, die außerhalb der dynamischen Lichtebene angeordnet ist.

Einige der Punkte auf der Oberfläche, die auf dem beleuchteten Streifen liegen, sind Stützpunkte, deren Stützkoordinaten im Verfahrensschritt b) bestimmt wurden. Durch Auswerten der in Verfahrensschritt d) aufgenommenen Kamerabilder werden die Stützpunkte identifiziert, die in der dynamischen Lichtebene liegen, die also auf dem beleuchteten Streifen liegen. Aus den Stützkoordinaten dieser Stützpunkte wird die Lage der dynamischen Lichtebene errechnet. Ist die Lage der dynamischen Lichtebene bekannt, können dann die Oberflächenkoordinaten der Oberflächenpunkte des Objektes bestimmt werden, die auf dem

beleuchteten Streifen liegen, indem der Sehstrahl der Kamera mit der Lichtebe-  
ne geschnitten wird. Zum Errechnen der Lage der dynamischen Lichtebe-  
ne im Verfahrensschritt e) ist es beispielsweise ausreichend, wenn die Stützkoordina-  
ten dreier Stützpunkte in der dynamischen Lichtebe-  
ne bekannt sind, sofern die-  
se nicht auf einer Geraden liegen.

Zum Bestimmen von Koordinaten weiterer Punkte auf der Oberfläche des Ob-  
jektes wird anschließend das Verfahren ab Verfahrensschritt c) mit dem Aus-  
senden von Licht in einer neuen dynamischen Lichtebe-  
ne wiederholt. Die im  
Verfahrensschritt f) errechneten Oberflächenkoordinaten werden dabei vorteil-  
hafterweise als weitere Stützkoordinaten für das Errechnen der Lage der neuen  
dynamischen Lichtebe-  
ne mit verwendet.

Erfindungsgemäß umfasst der Verfahrensschritt b) die folgenden Schritte:

- b1) Aussenden von Licht in zumindest einer statischen Lichtebe-  
ne, deren  
Lage im Koordinatensystem bekannt ist, so dass die Oberfläche des Ob-  
jektes bestrahlt wird,
- b2) Aufnehmen von Stützpunktkamerabildern des beleuchteten Objektes mit  
der Kamera, die außerhalb der mindestens einen statischen Lichtebe-  
ne angeordnet ist,
- b3) Errechnen von Stützkoordinaten auf der Oberfläche des Objektes in der  
mindestens einen statischen Lichtebe-  
ne aus Daten der Stützpunktkame-  
rabilder und der Lage der mindestens einen statischen Lichtebe-  
ne.

Im Verfahrensschritt b3) werden wieder über die Triangulation die Schnittpunkte  
der Sehstrahlen der Kamera mit der mindestens einen statischen Lichtebe-  
ne berechnet. Da die Lage der mindestens einen statischen Lichtebe-  
ne im Koordi-  
natensystem bekannt ist, ist dies ohne Probleme möglich. Die so gewonnenen  
Stützkoordinaten von Stützpunkten auf der Oberfläche des Objektes werden im  
Verfahrensschritt e) zum Errechnen der Lage der dynamischen Lichtebe-  
ne  
verwendet.

Vorteilhafterweise wird im Verfahrensschritt b1) Licht in zumindest drei statischen Lichtebenen ausgesandt, die parallel zueinander verlaufen, beispielsweise vertikal. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass jede dynamische Lichtebene, in der im Verfahrensschritt c) Licht ausgesandt wird und die nicht parallel zu den statischen Lichtebenen ist, zumindest drei statische Lichtebenen schneidet und somit wenigstens drei Stützpunkte enthält, deren Stützkoordinaten bekannt sind. Sofern diese mindestens drei Stützpunkte nicht auf einer Geraden liegen, kann die Lage der dynamischen Lichtebene ermittelt werden.

Vorzugsweise werden beim Errechnen der Lage der dynamischen Lichtebene im Verfahrensschritt e) Stützkoordinaten von wenigstens zwei Punkten auf der Oberfläche des zu vermessenden Objektes in der dynamischen Lichtebene verwendet. Sind die Stützkoordinaten von mehr als zwei Stützpunkten in der dynamischen Lichtebene bekannt, wird die Lage der dynamischen Lichtebene aus diesen Stützkoordinaten errechnet.

Enthält die dynamische Lichtebene jedoch nur zwei Stützpunkte, deren Stützkoordinaten bekannt sind, wird zum Errechnen der Lage der dynamischen Lichtebene ein weiterer Punkt benötigt. Dies ist beispielsweise die Position der Lichtquelle, die das Licht in der dynamischen Lichtebene aussendet.

Vorzugsweise werden beim Errechnen der Lage der dynamischen Lichtebene im Verfahrensschritt e) die Stützkoordinaten wenigstens eines Punktes auf der Oberfläche des zu vermessenden Objektes in der dynamischen Lichtebene und ein Winkel der dynamischen Lichtebene zur Horizontalen verwendet.

Vorzugsweise wird im Verfahrensschritt c) die Oberfläche des Objektes sowohl direkt, indirekt über einen ersten Spiegel, als auch indirekt über einen zweiten Spiegel bestrahlt, so dass das Objekt über seinen Umfang in der dynamischen Lichtebene beleuchtet wird und die Kamera im Verfahrensschritt d) Bilder des vollständigen beleuchteten Umfangs des Objektes in der dynamischen Lichtebene aufnimmt. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass auch der von der Ka-

mera abgewandte Teil der Oberfläche des zu vermessenden Objektes mit erfasst wird.

Eine erfindungsgemäße 3D-Geometrie-Erfassungsvorrichtung umfasst mindestens eine statische Lichtquelle, die eingerichtet ist zum Abgeben von Licht in einer statischen Lichtebene und eine außerhalb der statischen Lichtquelle relativ zu der mindestens einen statischen Lichtquelle unbeweglich angeordnete Kamera sowie eine elektrische Steuerung, die eingerichtet ist zum Durchführen eines oben beschriebenen Verfahrens..

Ein zu vermessendes 3D-Objekt wird dann so angeordnet, dass es sowohl vom Licht der statischen Lichtquelle bestrahlt wird, als sich auch in dem Kamerabild der Kamera befindet. Da die statische Lichtquelle relativ zur Kamera unbeweglich ist, ist ihre Position im Koordinatensystem der Kamera bekannt. Somit ist auch die Lage der mindestens einen statischen Lichtebene bekannt. Die Vermessung der Oberflächenkoordinaten einer von einem statischen Laser beleuchteten Oberfläche ist mathematisch einfach und schnell durchführbar.

Durch die erfindungsgemäße Vorrichtung ist es folglich möglich, die für die Durchführung eines erfindungsgemäßen 3D-Geometrie-Erfassungsverfahrens notwendigen Stützkoordinaten von Stützpunkten auf der Oberfläche zu bestimmen. Dazu werden einfach die im Kamerabild sichtbaren Laser- bzw. Lichtlinien analysiert, die beim Auftreffen des von der mindestens einen statischen Lichtquelle ausgesandten Lichtes auf der Oberfläche des zu erfassenden Objektes entstehen.

Vorzugsweise umfasst die 3D-Geometrie-Erfassungsvorrichtung eine dynamische Lichtquelle, die eingerichtet ist zum Abgeben von Licht in einer dynamischen Lichtebene. Bevorzugt ist diese dynamische Lichtquelle ein separates Bauteil ohne Verbindung zur Kamera. Dabei handelt es sich beispielsweise um eine frei bewegliche, handgeführte Lichtquelle, die Licht in einer Lichtebene abgeben kann, nämlich der oben beschriebenen dynamischen Lichtebene. Sobald

die dynamische Lichtebene der frei beweglichen Lichtquelle auf bereits vermessene Punkte der Oberfläche trifft, kann die räumliche Lage der dynamischen Lichtebene einfach automatisch berechnet werden, wodurch im Folgenden die restlichen Oberflächenpunkte entlang der Lichtlinie vermessen werden können. Dadurch, dass die dynamische Lichtquelle frei beweglich und ohne Verbindung zur Kamera ist, können insbesondere alle Punkte der Oberfläche des Objektes vermessen werden. Beispielsweise ist die dynamische Lichtquelle ein Hand-Fächerlaser.

Alternativ ist die dynamische Lichtquelle schwenkbar mit der Kamera verbunden. Auf diese Weise ist die Lage der dynamischen Lichtebene bis auf einen Freiheitsgrad/Parameter bekannt, so dass zum Errechnen der Lage der dynamischen Lichtebene die Koordinaten der dynamischen Lichtquelle mit verwendet werden und somit weniger Stützpunkte auf der Oberfläche des Objektes benötigt werden.

Vorteilhaft an der Erfindung ist, dass ein externes Sensorsystem zur Vermessung der räumlichen Lage der dynamischen Lichtebene entbehrlich ist. Dadurch werden die Herstellungskosten für die 3D-Geometrie-Erfassungsvorrichtung deutlich reduziert. Zudem wird keine Aktorik benötigt, um die dynamische Lichtebene über das zu erfassende Objekt wandern zu lassen. Da die Kamera unsynchronisiert arbeiten kann, ist zum Beispiel eine einfache Webcam verwendbar. Zudem sind das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung äußerst flexibel, da auch große Objekte oder Objekte, die durch ihre Lage die Verwendung einer separaten Kalibriergeometrie unmöglich machen, vermessen werden können.

Die Anwendungsgebiete eines erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. einer erfindungsgemäßen Vorrichtung finden sich im Rapid Prototyping, der Qualitätskontrolle, der Orthopädie, Dentaltechnik oder Archäologie ebenso wie in der Computergrafik oder Modellierung, dem Design, der Architektur oder der Kriminologie.

Vorteilhafterweise umfasst die 3D-Geometrie-Erfassungsvorrichtung einen ersten Spiegel und einen zweiten Spiegel zum Reflektieren eines Teils des von der dynamischen Lichtquelle ausgesandten Lichtes, wobei die beiden Spiegel einen Winkel von weniger als  $180^\circ$  bilden und so angeordnet sind, dass das zu vermessende Objekt über seinen Umfang in der dynamischen Lichtebe-  
leuchtbar ist und mit der Kamera ein Bild des vollständigen Umfangs des Objektes in der dynamischen Lichtebe-  
ne aufnehmbar ist. Auf diese Weise kann auch die der Kamera abgewandte Seite der Oberfläche des zu vermessenden Objektes vermessen werden, ohne dass das Objekt bewegt oder die Vorrichtung umgebaut werden müsste. Dadurch wird die Dauer der Vermessung eines Objektes deutlich reduziert, was insbesondere dann von Vorteil ist, wenn das Objekt sich bewegt.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt

Figur 1 den schematischen Aufbau einer 3D-Geometrie-Erfassungsvorrichtung nach einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung und

Figur 2 den schematischen Aufbau einer 3D-Geometrie-Erfassungsvorrichtung nach einem anderen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

In Figur 1 ist der schematische Aufbau einer 3D-Geometrie-Erfassungsvorrichtung nach einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung gezeigt. Die dort gezeigte 3D-Geometrie-Erfassungsvorrichtung umfasst eine Kamera 2, die unbeweglich mit drei statischen Lichtquellen 4.1, 4.2, 4.3 verbunden ist. Die statischen Lichtquellen 4.1, 4.2, 4.3 sind eingerichtet zum Aussenden von Licht einer ersten Farbe, beispielsweise rot, in jeweils einer statischen Lichtebene 6.1, 6.2, 6.3. Das von den statischen Lichtquellen 4.1, 4.2, 4.3 ausgesandte Licht trifft auf ein zu vermessendes Objekt 8. Auf diesem Objekt 8 entstehen durch das von den statischen Lichtquellen 4.1, 4.2, 4.3 ausgesandte Licht statische Lichtlinien 10.1, 10.2, 10.3.

Die Position der statischen Lichtquellen 4.1, 4.2, 4.3 relativ zur Kamera 2 ist bekannt. Somit ist auch die Lage der statischen Lichtebenen 6.1, 6.2, 6.3 im Koordinatensystem der Kamera 2 bekannt. Über Triangulation können somit die Stützkoordinaten der Stützpunkte auf den statischen Lichtlinien 10.1, 10.2, 10.3 einfach errechnet werden.

Die in Figur 1 gezeigte 3D-Geometrie-Erfassungsvorrichtung umfasst weiter eine dynamische Lichtquelle 12, im vorliegenden Fall in Form eines Hand-Fächerlasers, der grünes Licht abgibt. Die dynamischen Lichtquelle 12 sendet

Licht in einer dynamischen Lichtebene 14 aus. Auch das von der dynamischen Lichtquelle 12 ausgesandte Licht trifft auf das zu vermessende Objekt und bildet dort eine dynamische Lichtlinie 16. Die dynamischen Lichtquelle 12 ist im in Figur 1 gezeigten Ausführungsbeispiel frei beweg- und schwenkbar, so dass in der Regel weder ihre Position im Koordinatensystem der Kamera 2 noch die Lage der dynamischen Lichtebene 14 in diesem Koordinatensystem bekannt sind.

Die dynamischen Lichtlinie 16 schneidet im in Figur 1 gezeigten Beispiel die drei statischen Lichtlinien 10.1, 10.2, 10.3, deren Stützkoordinaten bekannt sind. Die dynamischen Lichtlinie 16 umfasst folglich drei Stützpunkte 18.1, 18.2, 18.3, die im in Figur 1 gezeigten Ausführungsbeispiel nicht auf einer Geraden liegen. Aus den Stützkoordinaten dieser drei Stützpunkte 18.1, 18.2, 18.3 wird die Lage der dynamischen Lichtebene 14 im Koordinatensystem der Kamera 2 bestimmt. Sobald die Lage der dynamischen Lichtebene 14 bestimmt ist, wird über Triangulation die gesamte dynamische Lichtlinie 16 vermessen. Beispielsweise werden die Koordinaten eines Punkts 20 dadurch bestimmt, dass der Schnittpunkt zwischen der nun bekannten dynamischen Lichtebene 14 mit einem Sehstrahl 22 berechnet wird. Der Sehstrahl 22 wird errechnet aus dem von der Kamera 2 aufgenommenen Bild des Punkts 20.

Anschließend wird die dynamische Lichtquelle 12 weiterbewegt, so dass eine neue dynamische Lichtebene 14 entsteht. Auch diese lässt, solange sie nicht parallel zu den statischen Lichtebenen 6.1, 6.2, 6.3 ist, eine dynamische Lichtlinie 16 auf der Oberfläche des Objektes 8 entstehen lassen, die die drei statischen Lichtlinien 10.1, 10.2, 10.3 schneidet, so dass auch auf der neuen dynamischen Lichtlinie 16 die Stützkoordinaten von wenigstens drei Stützpunkten bekannt sind.

Die dynamische Lichtquelle wird nun so lange in unterschiedlichen Richtungen auf dem Objekt gerichtet, bis für hinreichend viele Punkte auf der Oberfläche die Koordinaten bestimmt sind. Es ist möglich, mehr als eine dynamische Licht-

quelle zu verwenden, die vorzugsweise Licht verschiedener Farben aussenden.

In Figur 2 ist eine 3D-Geometrie-Erfassungsvorrichtung gemäß einem anderen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung gezeigt. Sie umfasst ebenfalls eine Kamera 2, die mit einer statischen Lichtquelle 4.1 unbeweglich verbunden ist.

Die statische Lichtquelle 4.1 sendet Licht in der statischen Lichtebene 6.1 auf das zu vermessende Objekt 8, so dass auf diesem die statische Lichtlinie 10.1 entsteht. Die Stützkoordinaten der Punkte auf der statischen Lichtlinie 10.1 werden über von der Kamera 2 aufgenommene Bilder einfach errechnet, da sowohl die Position der statischen Lichtquelle 4.1 als auch die Lage der statischen Ebene 6.1 im Koordinatensystem der Kamera 2 bekannt ist.

Die in Figur 2 gezeigte 3D-Geometrie-Erfassungsvorrichtung umfasst die dynamische Lichtquelle 12, deren Position relativ zur Kamera 2 unveränderlich ist. Die dynamische Lichtquelle 12 sendet Licht in der dynamischen Lichtebene 14 aus, das auf das zu vermessende Objekt 8 trifft und dort die dynamische Lichtlinie 16 entstehen lässt. Die dynamische Lichtquelle 12 ist in dem in Figur 2 gezeigten Ausführungsbeispiel um eine Schwenkachse A um einen Winkel  $\varphi$  schwenkbar gelagert. Dabei ist die Lage der Schwenkachse A bekannt.

Die dynamische Lichtlinie 16 schneidet im in Figur 2 gezeigten Ausführungsbeispiel lediglich eine statische Lichtlinie 10.1. Sie umfasst folglich auch nur einen Stützpunkt 18, dessen Koordinaten aus denen der Lage der dynamischen Lichtebene 14 berechnet wird.

Ist die Lage der dynamischen Lichtebene 14 im Raum bekannt, werden die Koordinaten der anderen Punkte auf der dynamischen Lichtlinie 16, beispielsweise Punkt 20, mittels Triangulation ermittelt. Anschließend wird der Winkel  $\varphi$  der dynamischen Lichtebene 14 verändert, so dass eine neue dynamische Lichtlinie 16 auf dem zu vermessenden Objekt 8 entsteht. Solange die dynamische Licht-

ebene 14 nicht parallel zur statischen Lichtebene 6.1 ist, werden die beiden Lichtebenen 6.1, 14 sich schneiden, so dass auch hier wieder die Stützkoordinaten eines Stützpunktes bekannt sind.

Für die Berechnung der Punkte auf der Oberfläche des Objekts 8 muss der Winkel  $\varphi$  - anders als bei bekannten Verfahren - nicht gemessen werden, weil er viel genauer anhand des Stützpunkts 18 berechnet werden kann. Dadurch kann ein etwaig vorhandener Schwenkantrieb für die dynamische Lichtquelle 14 unsynchronisiert zur Kamera 2 sein. Auch ist ein Winkelmesser entbehrlich.

**Bezugszeichenliste**

2	Kamera
4.1, 4.2, 4.3	statische Lichtquelle
6.1, 6.2, 6.3	statische Lichtebene
8	Objekt
10.1, 10.2, 10.3	statische Lichtlinie
12	dynamische Lichtquelle
14	dynamische Lichtebene
16	dynamischen Lichtlinie
18	Stützpunkt
20	Punkt
22	Sehstrahl
A	Schwenkachse
$\Phi$	Winkel

**Ansprüche:**

1. 3D-Geometrie-Erfassungsverfahren mit den Schritten
  - (a) Bereitstellen eines Objektes mit einer Oberfläche, deren Geometrie zu vermessen ist,
  - (b) Bestimmung von Stützkoordinaten von Stützpunkten in einem vorgegebenen Koordinatensystem,
  - (c) Aussenden von Licht in einer dynamischen Lichtebene, so dass die Oberfläche des Objektes beleuchtet wird und genügend Stützpunkte in der dynamischen Lichtebene liegen, um eine Lage der dynamischen Lichtebene in dem Koordinatensystem zu berechnen,
  - (d) Aufnehmen von Kamerabildern des beleuchteten Objektes mit einer außerhalb der dynamischen Lichtebene angeordneten Kamera, deren Position in dem Koordinatensystem bekannt ist,
  - (e) Errechnen der Lage der dynamischen Lichtebene zumindest auch aus den Stützkoordinaten von Stützpunkten, die in der dynamischen Lichtebene liegen,
  - (f) Errechnen von Oberflächenkoordinaten des Objektes in der dynamischen Lichtebene aus der Lage der dynamischen Lichtebene und Daten der Kamerabilder, dadurch gekennzeichnet, dass
  - (g) die Stützpunkte auf der Oberfläche des Objektes liegen.
  
2. 3D-Geometrie-Erfassungsverfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Verfahrensschritt b) die folgenden Schritte umfasst:
  - b1) Aussenden von Licht in zumindest einer statischen Lichtebene, deren Lage im Koordinatensystem bekannt ist, so dass die Oberfläche des Objektes bestrahlt wird,
  - b2) Aufnehmen von Stützpunkt-Kamerabildern des beleuchteten Objektes mit der Kamera, die außerhalb der mindestens einen statischen Lichtebene angeordnet ist,
  - b3) Errechnen von Stützkoordinaten auf der Oberfläche des Objektes in

der mindestens einen statischen Lichtebe-  
ne aus Daten der Stütz-  
punkt-Kamerabilder und der Lage der mindestens einen statischen  
Lichtebe-  
ne.

3. 3D-Geometrie-Erfassungsverfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass beim Errechnen der Lage der dynamischen Lichtebe-  
ne im Verfahrensschritt e) Stützkoordinaten von wenigstens zwei Punkten  
auf der Oberfläche des zu vermessenden Objektes in der dynamischen  
Lichtebe-  
ne verwendet werden.
4. 3D-Geometrie-Erfassungsverfahren nach einem der vorstehenden An-  
sprüche, dadurch gekennzeichnet, dass beim Errechnen der Lage der dy-  
namischen Lichtebe-  
ne im Verfahrensschritt e) die Stützkoordinaten we-  
nigstens eines Punktes auf der Oberfläche des zu vermessenden Objek-  
tes in der dynamischen Lichtebe-  
ne und ein Winkel der dynamischen  
Lichtebe-  
ne zur Horizontalen verwendet werden.
5. 3D-Geometrie-Erfassungsverfahren nach einem der vorstehenden An-  
sprüche dadurch gekennzeichnet, dass  
im Verfahrensschritt c) die Oberfläche des Objektes
  - i) direkt,
  - ii) indirekt über einen ersten Spiegel, und
  - iii) indirekt über einen zweiten Spiegel  
bestrahlt wird,sodass das Objekt über seinen Umfang in der dynamischen Lichtebe-  
ne beleuchtet wird und  
die Kamera im Verfahrensschritt d) Bilder des vollständigen beleuchteten  
Umfangs des Objektes in der dynamischen Lichtebe-  
ne aufnimmt.
6. 3D-Geometrie-Erfassungsvorrichtung mit
  - mindestens einer statischen Lichtquelle, die eingerichtet ist zum Ab-  
geben von Licht in einer statischen Lichtebe-  
ne und

- einer außerhalb der statischen Lichtebene relativ zu der mindestens einen statischen Lichtquelle unbeweglich angeordneten Kamera.
7. 3D-Geometrie-Erfassungsvorrichtung nach Anspruch 6 gekennzeichnet durch eine dynamische Lichtquelle, die eingerichtet ist zum Abgeben von Licht in einer dynamischen Lichtebene.
  8. 3D-Geometrie-Erfassungsvorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die dynamische Lichtquelle ein separates Bauteil ohne Verbindung zur Kamera ist.
  9. 3D-Geometrie-Erfassungsvorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die dynamische Lichtquelle schwenkbar mit der Kamera verbunden ist.
  10. 3D-Geometrie-Erfassungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 9, gekennzeichnet durch eine elektrische Steuerung, die eingerichtet ist zum Durchführen eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5.
  11. 3D-Geometrie-Erfassungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 10, gekennzeichnet durch
    - einen ersten Spiegel und
    - einen zweiten Spiegel zum Reflektieren eines Teils des von der dynamischen Lichtquelle ausgesandten Lichtes,
    - wobei die Spiegel, die einen Winkel von weniger als  $180^\circ$  bilden und so angeordnet sind, dass das Objekt über seinen Umfang in der dynamischen Lichtebene beleuchtbar ist und mit der Kamera ein Bild des vollständigen Umfangs des Objektes in der dynamischen Lichtebene aufnehmbar ist.

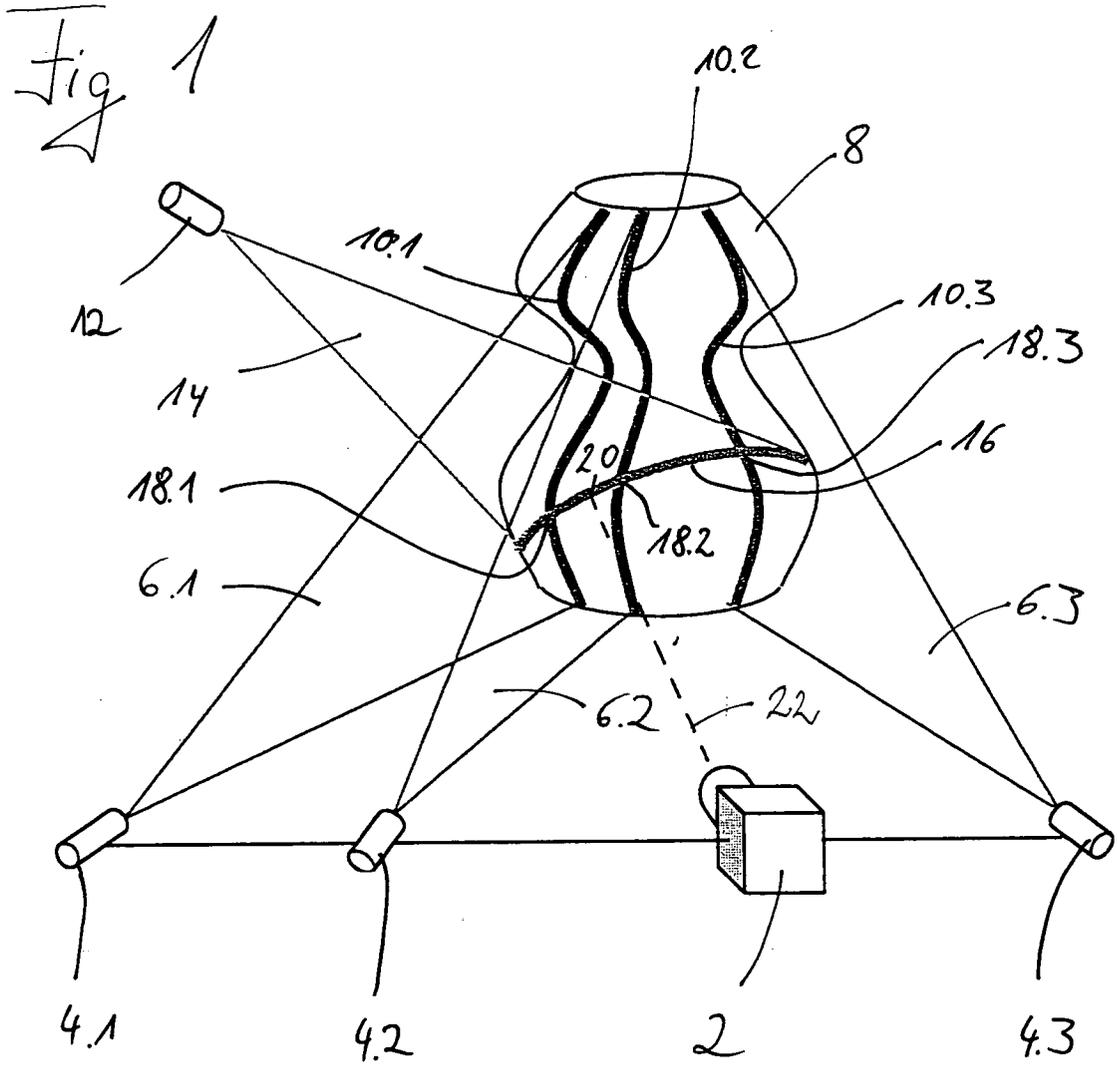


Fig 2

