

(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
29. Dezember 2016 (29.12.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/207442 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01B 11/00 (2006.01) G06T 1/00 (2006.01)
G01B 11/25 (2006.01) G06T 7/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/064888

(22) Internationales Anmeldedatum:
27. Juni 2016 (27.06.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2015 211 954.8 26. Juni 2015 (26.06.2015) DE

(71) Anmelder: FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG
E.V. [DE/DE]; Hansastraße 27c, 80686 München (DE).

(72) Erfinder: BRAHM, Anika; Schleidenstr. 16, 07745 Jena
(DE). NOTNI, Gunther; Franz-Kugler-Str. 14, 07749 Jena
(DE). KÜHMSTEDT, Peter; Am Wiesenbach 20, 07751
Jena (DE).

(74) Anwalt: PFENNING, MEINIG & PARTNER MBB;
Joachimsthaler Straße 12, 10719 Berlin (DE).

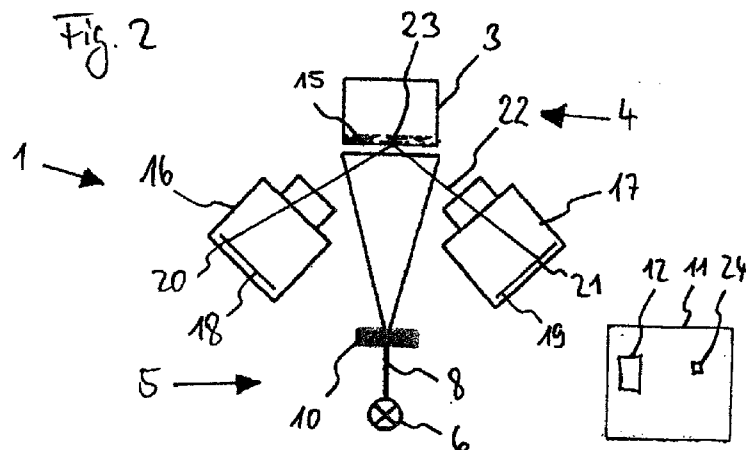
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP,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

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR MEASURING AN OBJECT SURFACE IN A CONTACTLESS MANNER

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM BERÜHRUNGSLOSEN VERMESSEN EINER
OBJEKTOBERFLÄCHE



(57) Abstract: The invention relates to a device (1) and a method for measuring an object surface (2) in a contactless manner. In the method, a temperature distribution (15) on the object surface (2), said temperature distribution changing over time, is produced by imprinting at least one thermal pattern (9) onto the object surface (2). A respective thermal image of the object surface (2) is then simultaneously captured by each of at least two mutually spaced thermal image cameras (16, 17) at multiple successive capturing times such that a sequence of thermal image values are detected for points on an image plane (18, 19) of each of the thermal image cameras (16, 17). Corresponding points (20, 21) are then identified on the image planes (18, 19) of the thermal image cameras (16, 17), wherein a similarity between the sequence of thermal image values detected for the points of each pair is determined for pairs of potentially corresponding points on the basis of a mathematical similarity measure, and the similarity is maximized by varying at least one of the points of each pair. Spatial coordinates of the object surface (2) are then determined by means of triangulation on the basis of the identified corresponding points (20, 21).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2016/207442 A1



RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG). — **Veröffentlicht:** mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung (1) und ein Verfahren zum berührungslosen Vermessen einer Objektoberfläche (2). Bei dem vorgeschlagenen Verfahren wird eine zeitlich veränderliche Temperaturverteilung (15) auf der Objektoberfläche (2) durch Aufprägen mindestens eines thermischen Musters (9) auf die Objektoberfläche (2) erzeugt. Anschließend wird jeweils ein Wärmebild der Objektoberfläche (2) durch jede von mindestens zwei voneinander beabstandeten Wärmebildkameras (16, 17) zu mehreren aufeinanderfolgenden Aufnahmezeitpunkten simultan erfasst, so dass für Punkte in einer Bildebene (18, 19) jeder der Wärmebildkameras (16, 17) jeweils eine Folge von Wärmebildwerten erfasst wird. Daraufhin werden korrespondierende Punkte (20, 21) in den Bildebenen (18, 19) der Wärmebildkameras (16, 17) identifiziert, indem für Paare potentiell korrespondierender Punkte unter Zugrundelegung eines mathematischen Ähnlichkeitsmaßes eine Ähnlichkeit zwischen den für die Punkte des jeweiligen Paares erfassten Folgen von Wärmebildwerten bestimmt wird und die Ähnlichkeit durch Variieren mindestens eines der Punkte des jeweiligen Paares maximiert wird. Dann werden Raumkoordinaten der Objektoberfläche (2) durch Triangulation auf Basis der als korrespondierend identifizierten Punkte (20, 21) bestimmt.

Verfahren und Vorrichtung zum berührungslosen Vermessen einer Objektoberfläche

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum berührungslosen geometrischen Vermessen einer Objektoberfläche. Ferner betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zum berührungslosen geometrischen Vermessen einer Objektoberfläche, mit der sich dieses Verfahren durchführen lässt.

10 Verfahren zum berührungslosen Vermessen von Objektoberflächen sind an sich bekannt. Solche Verfahren verwenden typischerweise einen Projektor zum Aufprojizieren von Mustern auf eine zu vermessende Oberfläche sowie mindestens eine Kamera zum Aufnehmen der Oberfläche mit den darauf projizierten Mustern. So ist beispielsweise in der Druckschrift DE 10 2006 049 695 A1 ein Verfahren beschrieben, bei dem Streifenmuster auf ein Objekt projiziert werden und mittels zweier in einem definierten Abstand zueinander angeordneter Kameraobjektive aus zwei verschiedenen Richtungen jeweils zwei Bilder des Objekts mit den aufprojizierten Streifenmustern aufgenommen werden, so dass für Bildpunkte in den Bildern des Objekts jeweils Phasenwerte ermittelt werden können. Darauf basierend werden dann einander entsprechende Bildpunkte in den mit den beiden Kameraobjektiven aufgenommenen Bildern identifiziert. Auf Basis der einander entsprechenden Bildpunkte werden dann durch Triangulation Tiefeninformationen für auf diese Bildpunkte abgebildete Objektpunkte ermittelt.

15

20

Mit diesem und ähnlichen Verfahren aus dem Stand der Technik können Oberflächen aus einer Reihe von Materialien zufriedenstellend vermessen werden. Bei stark reflektierenden, transparenten, transluzenten oder stark absorbierenden Objektoberflächen liefern solche bekannten Verfahren dagegen keine brauchbaren oder nur sehr ungenaue Ergebnisse. Für Objekte aus einer Vielzahl technologisch relevanter Materialien, wie Glas, Metall oder Faserverbundwerkstoff, und auch für Objekte mit glatten lackierten Oberflächen sind diese Verfahren daher nicht geeignet.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren vorzuschlagen, das auch transparente, transluzente oder stark reflektierende oder absorbierenden Objektoberflächen möglichst einfach und genau berührungslos zu vermessen erlaubt. Außerdem liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine entsprechende Vorrichtung vorzuschlagen, mit der sich auch derartige Oberflächen berührungslos vermessen lassen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Hauptanspruchs sowie durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Nebenanspruchs. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich mit den Merkmalen der abhängigen Ansprüche und der Ausführungsbeispiele.

Bei dem vorgeschlagenen Verfahren zum berührungslosen Vermessen einer Objektoberfläche wird durch Aufprägen mindestens eines thermischen Musters auf die Objektoberfläche eine zeitlich veränderliche Temperaturverteilung auf der Objektoberfläche erzeugt. Dabei wird zu mehreren aufeinanderfolgenden Aufnahmezeitpunkten durch jede von mindestens zwei voneinander beabstandeten Wärmebildkameras simultan jeweils ein Wärmebild der Objektoberfläche erfasst, so dass für Punkte in einer Bildebene jeder der Wärmebildkameras jeweils eine Folge von Wärmebildwerten erfasst wird. Daraufhin werden korrespondierende Punkte in den Bildebenen der Wärmebildkameras identifiziert, indem für Paare potentiell korrespondierender Punkte unter Zugrundelegung eines mathematischen Ähnlichkeitsmaßes eine Ähnlichkeit zwischen den für die Punkte des jeweiligen Paares erfassten Folgen von Wärmebildwerten bestimmt wird und die Ähnlichkeit durch Variieren mindestens eines der Punkte des jeweiligen Paares maximiert wird. Dann

werden Raumkoordinaten der Objektoberfläche durch Triangulation auf Basis der als korrespondierend identifizierten Punkte bestimmt. Als korrespondierend werden in der vorliegenden Schrift jeweils Punkte in den Bildebenen der verschiedenen Wärmebildkameras bezeichnet, die in dem Sinne homolog sind, dass jeweils der gleiche Punkt auf der Objektoberfläche durch die Wärmebildkameras auf diese Punkte abgebildet wird.

Das für die Bestimmung der Ähnlichkeit der Folgen zugrunde gelegte Ähnlichkeitsmaß kann zwar, muss jedoch nicht unbedingt alle Eigenschaften einer Metrik im engeren Sinne des Wortes aufweisen. Wichtig ist hierbei lediglich, dass das Ähnlichkeitsmaß geeignet ist, ein zum Auffinden möglichst ähnlicher Folgen geeignetes Maß für die Ähnlichkeit zwischen Wertefolgen zu liefern. Im Fall der Verwendung einer Metrik im Sinne der mathematischen Definition des Begriffes ergäbe sich das erwähnte Maximieren der Ähnlichkeit natürlich durch ein Minimieren eines durch die Metrik definierten Abstandes.

Zweckmäßigerweise kann die Ähnlichkeit zwischen den Folgen von Wärmebildwerten durch Auswerten einer für Paare von Wertefolgen definierten Korrelationsfunktion bestimmt werden, wobei die korrespondierenden Punkte dann jeweils durch Maximieren oder Minimieren eines Wertes einer so gebildeten Korrelation identifiziert werden können. Die Korrelationsfunktion kann dabei in weiten Grenzen beliebig gewählt werden und muss nur die für Korrelationsfunktionen typische Eigenschaft zeigen, bei Identität der durch Auswertung der Korrelationsfunktion verglichenen Folgen ein Extremum – typischerweise ein Maximum – anzunehmen und diesem Extremum umso näher zu kommen, je ähnlicher die verglichenen Folgen sind.

Durch die Verwendung von Wärmebildkameras eignet sich das Verfahren, anders als vergleichbare Verfahren, bei denen Lichtmuster aufprojiziert und aufgenommen werden, auch zum Vermessen von Objektoberflächen, die im sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums transparent oder transluzent oder auch stark reflektierend oder absorbierend sind. Bei Oberflächen dieser Art wäre ein aufprojiziertes Lichtmuster in einem Bild einer gewöhnlichen Kamera nämlich entweder möglicherweise überhaupt nicht sichtbar, weil aufprojiziertes Licht zu stark absorbiert oder in für die Kamera ungünstiger Richtung gerichtet reflektiert würde, oder es fielen zurückgestreute

Lichtanteile in die Kamera, die aus tieferen Schichten hinter der Objektoberfläche kämen. Beides würde ein zuverlässiges Identifizieren korrespondierender Punkte und daher auch die richtige Ermittlung der nötigen Tiefeninformation durch Triangulation vereiteln. Dieses Problem wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren dadurch gelöst, dass statt Lichtmustern Temperaturverteilungen verwendet werden. Diese lassen sich nämlich einerseits auch bei transparenten oder tansluzenten Materialien leichter auf einen Oberflächenbereich begrenzt erzeugen, während Lichtmuster in diesen Fällen unweigerlich tief ins Material eindringen. Andererseits erlaubt die Aufnahme mit Wärmebildkameras auch dann zuverlässig Bilder der vom jeweiligen thermischen Muster geprägten Objektoberfläche zu erzeugen, wenn man mit einer im sichtbaren Bereich arbeitenden Kamera entweder wegen ungünstiger Reflexion oder starker Absorption nicht genug sähe oder zu tief ins Material hineinschauen würde.

Darüber hinaus bringt die vorgeschlagene Art der Vermessung den Vorteil mit sich, dass die aufprojizierten Muster nicht bekannt sein müssen. Vielmehr können die Muster völlig zufällig gewählt und insbesondere statistischer oder quasistatistischer Natur sein, sofern sie nur hinreichend strukturiert und verschieden sind. Daher muss vorteilhafter Weise auch die innere Geometrie einer zur Durchführung des Verfahrens verwendeten Vorrichtung nicht vollständig bekannt sein. So kommt es z.B. im Fall der Verwendung einer Projektionsvorrichtung zum Erzeugen der thermischen Muster nicht auf deren genaue Anordnung relativ zu den Wärmebildkameras an. Das macht das Verfahren vergleichsweise Robust und insbesondere unempfindlich gegenüber Toleranzen im Aufbau der verwendeten Vorrichtung. Bei alledem basiert die Triangulation auf einer ausgesprochen unkomplizierten Auswertung der Wärmebilder.

Dementsprechend vorteilhaft ist die vorgeschlagene Vorrichtung zum berührungslosen Vermessen von Oberflächen. Die Vorrichtung umfasst eine Einrichtung zum Aufprägen thermischer Muster auf eine zum Vermessen in einem Objektraum anzuordnende Objektoberfläche, zwei voneinander beabstandete Wärmebildkameras zum Aufnehmen von Wärmebildern der Objektoberfläche im Objektraum sowie eine Steuer- und Auswerteeinheit zum Ansteuern der Wärmebildkameras und zum Auswerten der damit aufgenommenen Wärme-

bilder. Dabei ist die Steuer- und Auswerteeinheit eingerichtet, die Wärmebildkameras zu mehreren aufeinanderfolgenden Aufnahmezeitpunkten zum simultanen Erfassen jeweils eines Wärmebildes durch jede der Wärmebildkameras anzusteuern, so dass für Punkte in einer Bildebene jeder der Wärmebildkameras jeweils eine Folge von Wärmebildwerten erfasst wird. Außerdem ist die Steuer- und Auswerteeinheit eingerichtet, korrespondierende Punkte in den Bildebenen der Wärmebildkameras zu identifizieren, indem für Paare potentiell korrespondierender Punkte unter Zugrundelegung eines mathematischen Ähnlichkeitsmaßes eine Ähnlichkeit zwischen den für die Punkte des jeweiligen Paares erfassten Folgen von Wärmebildwerten bestimmt wird und die Ähnlichkeit durch Variieren mindestens eines der Punkte des jeweiligen Paares maximiert wird. Schließlich ist die Steuer- und Auswerteeinheit zum Bestimmen von Raumkoordinaten der Objektoberfläche durch Triangulation auf Basis der als korrespondierend identifizierten Punkte eingerichtet. Damit eignet sich die Vorrichtung in vorteilhafter Weise zur Durchführung des zuvor beschriebenen Verfahrens.

Die Steuer- und Auswerteeinheit kann z.B. eingerichtet sein, die Ähnlichkeit zwischen den Folgen von Wärmebildwerten durch Auswerten einer für Paare von Wertefolgen definierte Korrelationsfunktion zu bestimmen und die korrespondierenden Punkte jeweils durch Maximieren oder Minimieren eines Wertes einer so gebildeten Korrelation zu identifizieren.

Für eine Reduzierung des Suchaufwandes bei der Identifikation der korrespondierenden Punkte kann eine Einschränkung der als potentiell korrespondierend infrage kommenden Punkte unter Ausnutzung der Epipolargeometrie erfolgen. So kann die Variation des mindestens einen der Punkte auf einen eingeschränkten Bereich der jeweiligen Bildebene beschränkt werden, weil als korrespondierende Punkte nur die Punkte in Frage kommen, die auf durch den jeweils anderen Punkt und die innere Geometrie des Systems der zwei Wärmebildkameras definierten Epipolarlinien liegen. So kann das Identifizieren der korrespondierenden Punkte beispielsweise dadurch geschehen, dass für jeden einer Vielzahl von Punkten in der Bildebene einer ersten der Wärmebildkameras auf einer korrespondierenden Epipolarlinie in der Bildebene einer zweiten der Wärmebildkameras nach dem dazu korrespondierenden Punkt gesucht wird, indem die verwendete Korrelationsfunktion bzw. das

Ähnlichkeitsmaß zwischen der Folge von Wärmebildwerten, die für den jeweiligen Punkt in der Bildebene der ersten Wärmebildkamera erfasst worden ist, und den Folgen von Wärmebildwerten, die für die Punkte auf der korrespondierenden Epipolarlinie in der Bildebene der zweiten Wärmebildkamera erfasst worden sind, ausgewertet wird. Der korrespondierende Punkt lässt sich dann finden als der Punkt in der Bildebene der zweiten Kamera, für den die auf diese Weise gebildete Korrelation bzw. Ähnlichkeit den größten Wert annimmt, für den also z.B. die Korrelationsfunktion ein Maximum annimmt und mithin der Wert der Korrelation maximiert wird. Dabei kann der jeweils korrespondierende Punkt subpixelgenau, also inklusive Subpixelinterpolation, bestimmt werden.

Typischerweise ist das mindestens eine aufgeprägte thermische Muster unregelmäßig, so dass die zeitlich veränderliche Temperaturverteilung eine unregelmäßige Ortsabhängigkeit zeigt. Eine unregelmäßige Ortsabhängigkeit stellt geringere Anforderungen beim Aufprägen des Musters als eine regelmäßige Struktur. Vorteilhaft ist, wenn die Temperaturverteilung sowohl zeitlich als auch räumlich in hinreichendem Maß nichtkonstant ist, so dass sich einerseits die Wärmebildwerte für einen Punkt hinreichend stark zeitlich ändern und andererseits die Folgen von Wärmebildwerten von Punkt zu Punkt hinreichend stark unterscheiden. Dadurch kann eine hohe Messgenauigkeit erreicht werden, weil die korrespondierenden Punkte zuverlässig in beschriebener Weise identifiziert werden können. Daher ist die Einrichtung zum Aufprägen thermischer Muster bei zweckmäßigen Ausführungen der vorgeschlagenen Vorrichtung zum Erzeugen mindestens eines unregelmäßigen thermischen Musters eingerichtet, so dass eine durch das thermische Muster erzeugbare Temperaturverteilung auf der Objektoberfläche eine unregelmäßige Ortsabhängigkeit zeigt.

Es kann vorgesehen sein, dass mindestens einer der Aufnahmezeitpunkte in einem Zeitintervall liegt, während dessen kein neues thermisches Muster auf die Objektoberfläche aufgeprägt wird, so dass sich die Temperaturverteilung auf der Objektoberfläche zwischen dem vorangegangenen Aufnahmezeitpunkt und diesem mindestens einen Aufnahmezeitpunkt durch thermische Diffusion verändert. Die Temperaturverteilung auf der Objektoberfläche kann sich zu diesem mindestens einen Aufnahmezeitpunkt also insbesondere von

dem zuletzt auf die Objektoberfläche aufgeprägten thermischen Muster unterscheiden. Die Tatsache, dass sich die Temperaturverteilung auf der Objektoberfläche selbsttätig ändert, kann dadurch in vorteilhafter Weise ausgenutzt werden, um vergleichsweise einfach und rasch hinreichend viele hinreichend unterschiedliche Wärmebildpaare zu erfassen, die dann zum Identifizieren homologer Punkte und zum Triangulieren verwendet werden können.

Sobald ein thermisches Muster auf eine Objektoberfläche aufgeprägt ist, nimmt die Temperaturverteilung durch Thermodiffusion eine zeitliche Entwicklung. In der Regel klingen Temperaturdifferenzen zwischen wärmeren und kälteren Bereichen der Oberflächen zeitlich ab. Dabei muss ein Erfassen und Aufprägen, anders als bei einer Verwendung gewöhnlicher Lichtmuster, nicht zwingend zeitlich synchron erfolgen. Insbesondere kann beispielsweise durch ein einmaliges Aufprägen gefolgt von anschließend mindestens zweimaligem Erfassen von Wärmebildern eine hinreichend starke zeitliche Änderung der Wärmebildwerte erreicht werden. Typischerweise wird ein Aufprägen gefolgt von mehrmaligem Erfassen. Es ist auch denkbar, dass zunächst ein gleichzeitiges Aufprägen und Erfassen erfolgt und anschließend ohne neuerliches Aufprägen mehrmals Wärmebilder erfasst werden. Auch wenn es nicht ausgeschlossen ist, dass vor jedem Erfassen ein neues thermisches Muster aufgeprägt wird oder dass das Erfassen und das Aufprägen grundsätzlich synchron erfolgt, so können jedoch auch bei einem Aufprägen mehrerer thermischer Muster, nach und unter Umständen auch beim Aufprägen jedes dieser thermischen Muster jeweils mehrere Wärmebildpaare aufgenommen werden, bevor das nächste thermische Muster aufgeprägt wird.

Die Steuer- und Auswerteeinheit der vorgeschlagenen Vorrichtung kann zusätzlich auch zum Ansteuern der Einrichtung zum Aufprägen thermischer Muster eingerichtet sein. In diesem Fall ist es im Hinblick auf die erläuterte Möglichkeit der Ausnutzung thermischer Diffusion zweckmäßig, wenn die Steuer- und Auswerteeinheit eingerichtet ist, die Einrichtung zum Aufprägen thermischer Muster und die Wärmebildkameras so anzusteuern, dass mindestens einer der Aufnahmezeitpunkte in einem Zeitintervall liegt, während dessen die Einrichtung zum Aufprägen thermischer Muster kein neues thermisches Muster aufprägt. Das jüngste Aufprägen eines thermischen Musters kann zu diesem mindestens einen Aufnahmezeitpunkt dagegen schon beendet sein.

Das mindestens eine thermische Muster kann z.B. durch eine Projektionsvorrichtung aufgeprägt werden. Die genannte Einrichtung zum Aufprägen thermischer Muster kann also insbesondere eine Projektionsvorrichtung sein. Das Aufprägen der thermischen Muster und mithin das Erzeugen der zeitabhängigen Temperaturverteilung mit einer Projektionsvorrichtung passt nicht nur gut zum berührungslosen Charakter der Vermessung. Es erlaubt auch, die der Vermessung zugrundeliegende zeitabhängige Temperaturverteilung lokal begrenzt in einem Oberflächenbereich zu erzeugen und damit zumindest in gewisser Näherung auf die Objektoberfläche zu begrenzen. Das dient wiederum der Genauigkeit der Vermessung, insbesondere in Fällen, in denen das Material nicht vollständig intransparent ist für die von den Wärmebildkameras erfasste Wärmestrahlung.

Typischerweise weist die Projektionsvorrichtung eine Strahlungsquelle zum Erwärmen der Objektoberfläche mittels elektromagnetischer Strahlung auf. Diese kann breitbandig oder monochromatisch sein, wobei eine Eignung einer Strahlungsquelle vom Material eines zu vermessenden Objektes abhängen kann. Zweckmäßigerweise wird eine Strahlungsquelle verwendet, die eine effiziente Erwärmung des Materials erlaubt. Dabei kann die Strahlungsquelle für eine gepulste oder eine kontinuierliche Abgabe der Strahlungsleistung eingerichtet sein. In vielen Fällen wird die Strahlungsquelle ein Laser sein können.

Alternativ kann das Aufprägen des thermischen Musters auch mit nicht-optischen Methoden erfolgen. Es ist beispielsweise denkbar, dass die Objektoberfläche durch ein Aufsprühen von Wassertropfen bereichsweise gekühlt wird. Alternativ kann das Objekt auch in eine Wanne mit kleinen, erwärmten und gekörnten Gegenständen getaucht werden, so dass die gekörnten Gegenstände Wärme in Kontaktbereichen an die Objektoberfläche abgeben und somit ein thermisches Muster auf diese Aufprägen.

Im Fall der Verwendung einer Projektionsvorrichtung kann es zweckmäßig sein, wenn diese das mindestens eine optische Muster durch Infrarotstrahlung auf die Objektoberfläche aufprägt. Zweckmäßigerweise weist die Projektionsvorrichtung also eine Strahlungsquelle zur Erzeugung von Infrarotstrahlung

lung auf. Beispielsweise kann die Projektionsvorrichtung einen Kohlenstoffdioxidlaser umfassen, der Infrarot-Strahlung mit einer Wellenlänge von etwa 10,6 μm abgibt. Eine solche Strahlungsquelle ist vorteilhaft zum Vermessen von Oberflächen aus Glas, da viele Glassorten in diesem Wellenlängenbereich einen hohen Absorptionskoeffizienten aufweisen, so dass sie sich bei einer Bestrahlung durch einem Kohlenstoffdioxidlaser besonders effizient erwärmen lassen.

Da die Vermessung, anders als bei herkömmlichen Musterprojektionsverfahren, nicht auf einer Detektion von Reflexion oder Streuung elektromagnetischer Strahlung beruht, sondern auf einer Emission elektromagnetischer Strahlung durch das zu vermessende Objekt und auf einer Detektion der so emittierten Strahlung, kann ein Spektralbereich der verwendeten Wärmebildkameras entsprechend der Emissionswellenlängen gewählt bzw. variiert werden. So kann der Spektralbereich der verwendeten Wärmebildkameras z.B. im Bereich der fernen Infrarotstrahlung zwischen 5 μm und 14 μm oder auch im Bereich der mittleren Infrarotstrahlung zwischen 3 μm und 5 μm liegen. Je nachdem, was für Temperaturen die zeitabhängige Temperaturverteilung umfasst, ist unter Umständen auch eine Detektion von elektromagnetischer Strahlung im nahen Infrarot-Bereich oder auch bei Wellenlängen oberhalb von 14 μm denkbar. Zum Vermessen beispielsweise einer Oberfläche eines Objektes aus Glas ist eine Detektion bei Wellenlängen von mehr als 5 μm vorteilhaft, da viele Glassorten in diesem Wellenlängenbereich keine Transparenz aufweisen. Deshalb kann auf diese Weise erreicht werden, dass die mit den Wärmebildkameras detektierte Strahlung von der zu vermessenden Oberfläche des Objektes herrührt und nicht aus dem Volumen des Objektes kommt. Empfindlichkeiten im zuerst genannten Wellenlängenbereich wiederum können insbesondere auch deshalb vorteilhaft sein, weil in diesem Wellenlängenbereich bei einer Erwärmung durch die thermischen Muster ausgehend von üblichen Raumtemperaturen besonders signifikante Intensitätsänderungen der Wärmestrahlung auftreten. Dabei ist es zwar möglich, nicht jedoch notwendig, dass der Empfindlichkeitsbereich der Wärmebildkameras mit dem Spektrum einer zum Erzeugen der thermischen Muster verwendeten Projektionsvorrichtung in Deckung liegt oder sich mit diesem auch nur überschneidet.

Die erfassten Wärmebildwerte können in Form von Temperaturen vorliegen.

Alternativ können die Wärmebildwerte in Form von Strahlungsintensitäten oder Wellenlängen oder anderen sich aus den Strahlungsintensitäten und/oder Wellenlängen ergebenden Parametern der gemessenen elektromagnetischen Strahlung vorliegen.

5

Es kann vorgesehen sein, dass die Projektionsvorrichtung ein optisches Element zur räumlichen und/oder zeitlichen Modulation einer von der Projektionsvorrichtung in den Objektraum abgestrahlten elektromagnetischen Strahlung aufweist. Beispielsweise kann das optische Element als Streuscheibe ausgeführt sein, durch die die elektromagnetische Strahlung transmittiert und/oder reflektiert wird. Eine Streuscheibe ist geeignet, die elektromagnetische Strahlung derart zu verteilen, dass die infolge einer Erwärmung auftretende Temperaturverteilung auf der Objektoberfläche eine unregelmäßige Ortsabhängigkeit zeigt. Alternativ kann auch eine Reflexion und/oder Transmission der elektromagnetischen Strahlung an einem Gitter oder einer anders gestalteten Maske oder auch an einem Freiformelement, z.B. einem Freiformspiegel, erfolgen. Eine zeitliche Modulation des thermischen Musters kann beispielsweise durch eine Drehung oder Verschiebung des optischen Elements und/oder durch ein Bewegen der Strahlungsquelle erreicht werden. Die zeitliche Modulation kann in weiten Grenzen beliebig erfolgen und muss bei dem vorgeschlagenen Verfahren auch nicht einem bekannten Muster folgen. Vielmehr eignen sich auch statistische oder quasi-statistische Modulationen der thermischen Muster um hinreichend diverse Temperaturverteilungen auf der Objektoberfläche zu erzeugen.

10

15

20

25

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Abbildungen beschrieben. Es zeigen

30

Fig. 1 eine schematische Aufsicht auf eine Vorrichtung zum berührungslosen Vermessen einer Objektoberfläche sowie ein Objekt,

35

Fig. 2 eine schematische Aufsicht auf eine weitere Vorrichtung zum berührungslosen Vermessen einer Objektoberfläche sowie ein Objekt,

Fig. 3 eine schematische Darstellung eines auf eine Objektoberfläche aufgeprägten thermischen Musters sowie

Fig. 4 eine Temperaturverteilung auf der Objektoberfläche nach einer zeitlichen Entwicklung.

Fig. 1 zeigt eine Ausführung einer Vorrichtung 1 zum berührungslosen Vermessen einer Objektoberfläche 2 eines Objekts 3 in einem Objektraum 4. Die Vorrichtung 1 umfasst eine Einrichtung 5 zum Aufprägen thermischer Muster 9 auf die Objektoberfläche 2 des Objekts 3. Die Einrichtung 5 ist eine Projektionsvorrichtung und umfasst eine Strahlungsquelle 6, beispielsweise einen Kohlenstoffdioxidlaser, sowie ein optisches Element 7 in Form eines reflektierenden Elements, das zu einer Intensitätsmodulation der Strahlung führt und durch ein Gitter, eine Streuscheibe oder ein Freiformelement gegeben sein kann. Der Kohlenstoffdioxidlaser emittiert Infrarotstrahlung 8, die an dem optischen Element 7 reflektiert oder gebeugt wird und anschließend auf die Objektoberfläche 2 trifft und diese erwärmt.

Das zu vermessende Objekt 3 ist aus Silikat-Glas, und die Oberfläche des Objekts 3 wird durch die am optischen Element 7 reflektierte oder gebeugte Infrarotstrahlung 8 erwärmt, so dass ein räumlich unregelmäßiges thermisches Muster 9 auf die Objektoberfläche 2 aufgeprägt wird. Das unregelmäßige thermische Muster 9 kann beispielsweise ein Speckle-Muster sein.

Eine weitere Ausführung einer Vorrichtung 1 mit einer Projektionsvorrichtung 5 ist in Fig. 2 schematisch dargestellt. Wiederkehrende Merkmale sind in dieser und auch in folgenden Abbildungen mit denselben Bezugszeichen versehen. In dieser Ausführung weist die Projektionsvorrichtung ein transmittierendes optisches Element 10 auf, das wieder ein Gitter, eine Streuscheibe oder ein Freiformelement sein kann und das zwischen der Strahlungsquelle 6 und der Objektoberfläche 2 angeordnet ist. Hierbei erzeugt die Strahlungsquelle 6 eine Infrarotstrahlung 8, die auf das optische Element 10 trifft, durch diese transmittiert und dabei moduliert wird. Die durch die Strahlungsquelle 6 erzeugte Infrarotstrahlung 8 trifft nach Durchgang durch das optische Element 10 auf die Objektoberfläche 2 und erwärmt diese in Form eines räumlich unregelmäßigen thermischen Musters 9.

Außerdem weist die Vorrichtung 1 einen Computer 11 mit einer Steuer- und Auswerteeinheit 12 auf. Die Projektionsvorrichtung 5 wird durch die Steuer- und Auswerteeinheit 12 angesteuert. Diese legt damit fest, zu welchen Zeit-
5 punkten thermische Muster 9 auf die Objektoberfläche 2 aufgeprägt werden. Außerdem ist die Steuer- und Auswerteeinheit 12 eingerichtet zum Verfahren des optischen Elements 7, 10, so dass das thermische Muster 9 durch die Steuer- und Auswerteeinheit 12 räumlich und zeitlich moduliert wird.

Ein aufgeprägtes thermisches Muster 9 ist in Fig. 3 beispielhaft schematisch dargestellt. Das thermische Muster 9 besteht aus räumlich unregelmäßig angeordneten Bereichen 13 der Objektoberfläche 2 mit hoher Temperatur und Bereichen 14 der Objektoberfläche mit niedriger Temperatur. Nach Abschalten der Strahlungsquelle 6 entwickelt sich eine durch das thermische Muster 9
10 aufgeprägte Temperaturverteilung zeitlich durch eine Wärmeleitung in dem Objekt 3. Fig. 4 zeigt schematisch eine resultierende Temperaturverteilung 15 auf der Objektoberfläche 2 nach Ablauf einer Zeit von beispielsweise einer Sekunde oder einigen Sekunden.

Die Vorrichtung 1 umfasst außerdem eine erste Wärmebildkamera 16 und eine zweite Wärmebildkamera 17. Die Wärmebildkameras 16, 17 sind für elektromagnetische Strahlung im IR-Bereich empfindlich, beispielsweise für Wärmestrahlung in einem Wellenlängenbereich zwischen $7,5\ \mu\text{m}$ und $14\ \mu\text{m}$. Die Wärmebildkameras 16, 17 sind voneinander beabstandet angeordnet und
20 werden ebenfalls durch die Steuer- und Auswerteeinheit 12 angesteuert. Die erste Wärmebildkamera 16 und die zweite Wärmebildkamera 17 sind so eingerichtet und ausgerichtet, dass sie die Temperaturverteilung 15 zumindest in einem Bereich der Objektoberfläche 2 in ihren jeweiligen Bildebenen 18, 19
25 simultan, d.h. durch eine zeitgleiche Aufnahme jeweils eines Wärmebildes, erfassen können. Dafür wird die in Punkten 20, 21 in den jeweiligen Bildebenen 18, 19 gemessene Intensität einer Wärmestrahlung 22 ausgewertet.

Bei einer simultanen Erfassung der jeweiligen Wärmebilder wird ein Punkt 23 der Objektoberfläche 2 auf einen ersten Punkt 20 in der Bildebene 18 der ersten Wärmebildkamera 16 und auf einen zweiten Punkt 21 in der Bildebene 19
30 der zweiten Wärmebildkamera 17 abgebildet, wie in Fig. 2 gezeigt ist. Der

erste Punkt 20 und der zweite Punkt 21 bilden ein Paar korrespondierender Punkte.

5 Nach dem Aufprägen des thermischen Musters 9 regelt die Steuer- und Auswerteeinheit 12 ein Abschalten der Strahlungsquelle 6 durch ein Schließen eines Shuttters und löst ein simultanes Erfassen von Wärmebildern durch die Wärmebildkameras 16, 17 aus. Anschließend entwickelt sich die Temperaturverteilung 15 auf der Objektoberfläche 2 durch Wärmeleitung zu der in Fig. 4 gezeigten Temperaturverteilung 15, und die Steuer- und Auswerteeinheit 12
10 löst ein mehrmaliges erneutes simultanes Erfassen von Wärmebildern bei abgeschalteter Strahlungsquelle 6 aus. Die beschriebenen Schritte des Aufprägens eines thermischen Musters 9 und Erfassens von Wärmebildern können einmal oder mehrmals mit unterschiedlichen thermischen Mustern 9 wiederholt werden. Die durch das aufgeprägte oder die aufgeprägten thermischen Muster 9 erzeugte zeitabhängige Temperaturverteilung 15 kann auch
15 während des Aufprägens des mindestens einen thermischen Musters 9 erfasst werden, also ohne vorheriges Schließen eines Shuttters. In dem Fall kann es vorteilhaft sein, durch für Strahlung der Strahlungsquelle 6 undurchlässige Filter oder durch ein die Wellenlänge dieser Strahlung – im vorliegenden Beispiel also $10,6\ \mu\text{m}$ – nicht umfassendes Empfindlichkeitsspektrum der Wärmebildkameras 16, 17 sicherzustellen, dass nur die von der Objektoberfläche 2 emittierte Strahlung erfasst wird, nicht aber die gestreute oder reflektierte Strahlung der Strahlungsquelle 6. Sofern hinreichend viele verschiedene thermische Muster 9 aufgeprägt werden, kann es unter Umständen auch ausreichen, wenn für jedes Aufprägen lediglich ein Paar von Wärmebildern erfasst wird, sei es während des Aufprägens, sei es kurz danach. Möglich ist auch ein Aufnehmen jeweils mindestens eines Wärmebildpaares während des Aufprägens des thermischen Musters 9 oder jedes der thermischen Muster 9 und jeweils ein ein- oder mehrmaliges Erfassen von Wärmebildpaaren nach
20 Schließen des Shuttters und ggf. vor Aufprägen des nächsten thermischen Musters 9. Die jeweiligen Wärmebilder werden auf einem Datenspeicher 24 zwischengespeichert, so dass auf diesem für jeden Punkt in den Bildebenen 18, 19 der Wärmebildkameras 16, 17 jeweils eine Folge von Temperaturwerten gespeichert wird.
25
30
35

In einem nächsten Schritt vergleicht die Steuer- und Auswerteeinheit 12 die

erfasste Folge von Temperaturwerten für jeden Punkt 20 in der Bildebene 18 der ersten Wärmebildkamera 16 mit den Folgen von Temperaturwerten der Punkte in der Bildebene 19 der zweiten Wärmebildkamera 17, um die korrespondierenden Punkte 20, 21 zu identifizieren. Die Steuer- und Auswerteeinheit 12 beschränkt sich beim Auffinden des zum Punkt 20 in der Bildebene 18 der ersten Wärmebildkamera 16 korrespondierenden Punktes 21 in der Bildebene 19 der zweiten Wärmebildkamera 17 auf Punkte in der Bildebene 19 der zweiten Wärmebildkamera 17, die auf einer durch den Punkt 20 in der Bildebene 18 der ersten Wärmebildkamera 16 festgelegten Epipolarlinie liegen.

Die Paare von Folgen von Temperaturwerten werden verglichen, indem die Steuer- und Auswerteeinheit 12 mithilfe einer Korrelationsfunktion jedem der Paare von Folgen einen Ähnlichkeitswert zuordnet, wobei der Ähnlichkeitswert einen großen Wert für eine ausgeprägte Ähnlichkeit der Folgen annimmt und einen niedrigen Wert für sehr unterschiedliche Folgen. Nacheinander wertet die Steuer- und Auswerteeinheit 12 die Korrelationsfunktion die Folgen für potentiell korrespondierende Punkte paarweise aus, und unter Maximieren des Ähnlichkeitswertes können die tatsächlich korrespondierenden Punkte 20, 21 in den Bildebenen 18, 19 der beiden Wärmebildkameras 16, 17 aufgefunden werden. Bei einer anderen Definition der Korrelationsfunktion ist es auch denkbar, dass die korrespondierenden Punkte 20, 21 durch ein Minimieren anstatt durch ein Maximieren eines Ähnlichkeitswertes aufgefunden werden.

Anschließend bestimmt die Steuer- und Auswerteeinheit 12 Raumkoordinaten von Punkten 23 auf der Objektoberfläche 2 anhand der zuvor aufgefundenen korrespondierenden Punkte 20, 21 in den Bildebenen 18, 19 der beiden Wärmebildkameras 16, 17. Dafür wird ausgenutzt, dass die relative Position der Wärmebildkameras 16, 17 bekannt ist, wobei die Raumkoordinaten darauf basierend durch Triangulation bestimmt werden.

Patentansprüche

5

1. Verfahren zum berührungslosen Vermessen einer Objektoberfläche (2) mit folgenden Schritten:

10

- Erzeugen einer zeitlich veränderlichen Temperaturverteilung (15) auf der Objektoberfläche (2) durch Aufprägen mindestens eines thermischen Musters (9) auf die Objektoberfläche (2),

15

- simultanes Erfassen jeweils eines Wärmebildes der Objektoberfläche (2) durch jede von mindestens zwei voneinander beabstandeten Wärmebildkameras (16, 17) zu mehreren aufeinanderfolgenden Aufnahmezeitpunkten, so dass für Punkte in einer Bildebene (18, 21) jeder der Wärmebildkameras (16, 17) jeweils eine Folge von Wärmebildwerten erfasst wird,

20

- Identifizieren korrespondierender Punkte (20, 21) in den Bildebenen (18, 21) der Wärmebildkameras (16, 17), indem für Paare potentiell korrespondierender Punkte unter Zugrundelegung eines mathematischen Ähnlichkeitsmaßes eine Ähnlichkeit zwischen den für die Punkte des jeweiligen Paares erfassten Folgen von Wärmebildwerten bestimmt wird und die Ähnlichkeit durch Variieren mindestens eines der Punkte des jeweiligen Paares maximiert wird,

25

- Bestimmen von Raumkoordinaten der Objektoberfläche (2) durch Triangulation auf Basis der als korrespondierend identifizierten Punkte (20, 21).

30

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens einer der Aufnahmezeitpunkte in einem Zeitintervall liegt, während dessen kein neues thermisches Muster (9) auf die Objektoberfläche (2) aufgeprägt wird, so dass sich die Temperaturverteilung (15) auf der Objektoberfläche (2) zwischen dem vorangegangenen Aufnahmezeit-

35

punkt und diesem mindestens einen Aufnahmezeitpunkt durch thermische Diffusion verändert.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine aufgeprägte thermische Muster (9) unregelmäßig ist, so dass die zeitlich veränderliche Temperaturverteilung (15) eine unregelmäßige Ortsabhängigkeit zeigt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Ähnlichkeit zwischen den Folgen von Wärmebildwerten durch Auswerten einer für Paare von Wertefolgen definierte Korrelationsfunktion bestimmt wird und die korrespondierenden Punkte (20, 21) jeweils durch Maximieren oder Minimieren eines Wertes einer so gebildeten Korrelation identifiziert werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine thermische Muster (9) durch eine Projektionsvorrichtung (5) aufgeprägt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Projektionsvorrichtung (5) das mindestens eine thermische Muster (9) durch Infrarotstrahlung (8) auf die Objektoberfläche (2) aufprägt.

7. Vorrichtung (1) zum berührungslosen Vermessen von Oberflächen (2), umfassend eine Einrichtung (5) zum Aufprägen thermischer Muster (9) auf eine zum Vermessen in einem Objektraum (4) anzuordnende Objektoberfläche (2), zwei voneinander beabstandete Wärmebildkameras (16, 17) zum Aufnehmen von Wärmebildern der Objektoberfläche (2) im Objektraum (4) sowie eine Steuer- und Auswerteeinheit (12) zum Ansteuern der Wärmebildkameras (16, 17) und zum Auswerten der damit aufgenommenen Wärmebilder,

wobei die Steuer- und Auswerteeinheit (12) eingerichtet ist, folgende Schritte auszuführen:

- Ansteuern der Wärmebildkameras (16, 17) zum simultanen Erfassen jeweils eines Wärmebildes durch jede der Wärmebildkameras (16, 17) zu mehreren aufeinanderfolgenden Aufnahmezeitpunkten, so dass für

Punkte in einer Bildebene (18, 19) jeder der Wärmebildkameras (16, 17) jeweils eine Folge von Wärmebildwerten erfasst wird,

- Identifizieren korrespondierender Punkte (20, 21) in den Bildebenen (18, 19) der Wärmebildkameras (16, 17), indem für Paare potentiell korrespondierender Punkte unter Zugrundelegung eines mathematischen Ähnlichkeitsmaßes eine Ähnlichkeit zwischen den für die Punkte des jeweiligen Paares erfassten Folgen von Wärmebildwerten bestimmt wird und die Ähnlichkeit durch Variieren mindestens eines der Punkte des jeweiligen Paares maximiert wird,

- Bestimmen von Raumkoordinaten der Objektoberfläche durch Triangulation auf Basis der als korrespondierend identifizierten Punkte (20, 21).

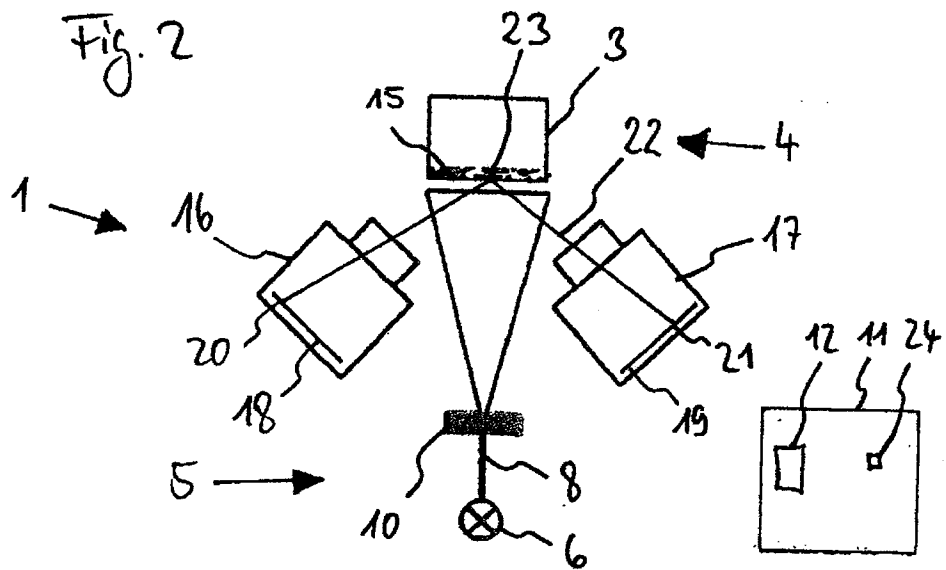
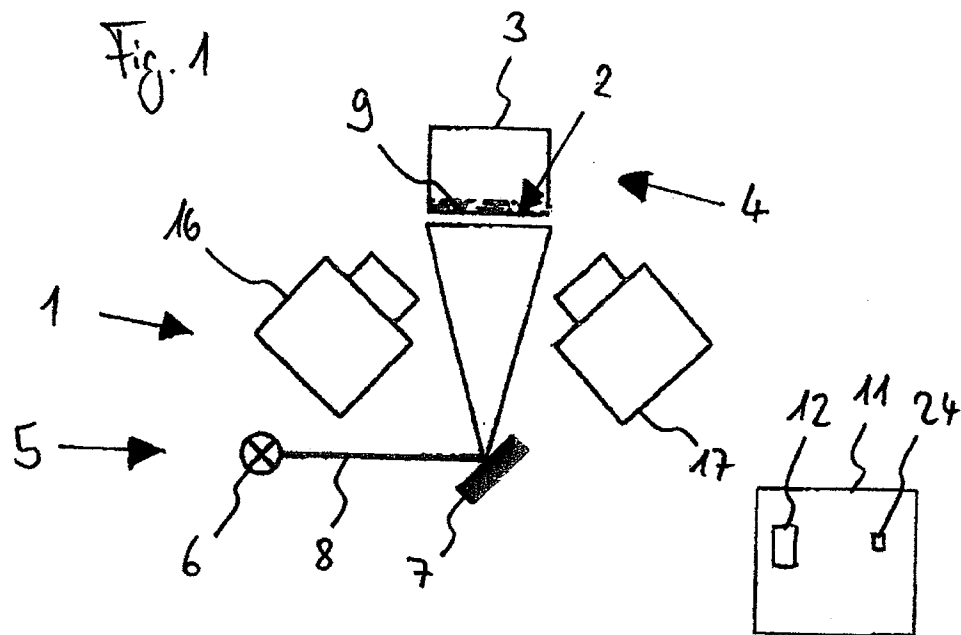
8. Vorrichtung (1) nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuer- und Auswerteeinheit (12) auch zum Ansteuern der Einrichtung (5) zum Aufprägen thermischer Muster (9) eingerichtet ist und ferner eingerichtet ist, die Einrichtung (5) zum Aufprägen thermischer Muster (9) und die Wärmebildkameras (16, 17) so anzusteuern, dass mindestens einer der Aufnahmezeitpunkte in einem Zeitintervall liegt, während dessen die Einrichtung (5) zum Aufprägen thermischer Muster (9) kein neues thermisches Muster (9) aufprägt.

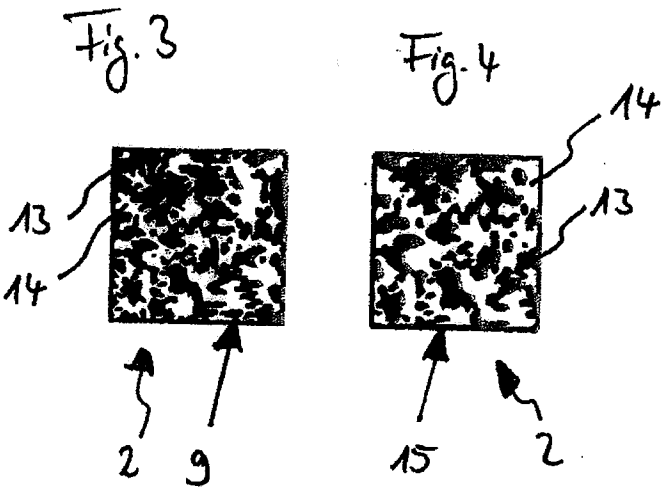
9. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung (5) zum Aufprägen thermischer Muster (9) eine Projektionsvorrichtung (5) ist.

10. Vorrichtung (1) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Projektionsvorrichtung (5) eine Strahlungsquelle (6) zur Erzeugung von Infrarotstrahlung (8) aufweist.

11. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Projektionsvorrichtung (5) ein optisches Element (7; 10) zur räumlichen und/oder zeitlichen Modulation einer von der Projektionsvorrichtung (5) in den Objektraum (4) abgestrahlten elektromagnetischen Strahlung (8) aufweist.

- 5 12. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung (5) zum Aufprägen thermischer Muster (9) zum Erzeugen mindestens eines unregelmäßigen thermischen Musters (9) eingerichtet ist, so dass eine durch das thermische Muster (9) erzeugbare Temperaturverteilung (15) auf der Objektoberfläche eine unregelmäßige Ortsabhängigkeit zeigt.
- 10 13. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuer- und Auswerteeinheit (12) eingerichtet ist, die Ähnlichkeit zwischen den Folgen von Wärmebildwerten durch Auswerten einer für Paare von Wertefolgen definierte Korrelationsfunktion zu bestimmen und die korrespondierenden Punkte (20, 21) jeweils durch Maximieren oder Minimieren eines Wertes einer so gebildeten Korrelation zu identifizieren.





INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/064888

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G01B11/00 G01B11/25 G06T1/00 G06T7/00
ADD.

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01B G06T

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2001 338280 A (NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE) 7 December 2001 (2001-12-07)	1,5-7,
Y	paragraphs [0003], [0009], [0019], [0023], [0032]; figures 1-13	9-11 1-13
X	US 2014/168370 A1 (HEIDEMANN ROLF [DE] ET AL) 19 June 2014 (2014-06-19)	1,5-7,
Y	paragraphs [0008], [0026], [0027], [0031], [0032], [0037], [0039], [0041]; figures 1-6	9-11 1-13
Y	WO 2015/022384 A1 (FRAUNHOFER GES ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E V [DE]) 19 February 2015 (2015-02-19) the whole document	1-13
	----- -/-	



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

5 September 2016

Date of mailing of the international search report

14/09/2016

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Grand, Jean-Yves

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2016/064888

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2010 169590 A (KOBE STEEL LTD; KOBELCO KAKEN KK) 5 August 2010 (2010-08-05) the whole document -----	3,12
Y	US 6 028 672 A (GENG ZHENG JASON [US]) 22 February 2000 (2000-02-22) the whole document -----	1-13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/064888

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 2001338280	A	07-12-2001	NONE

US 2014168370	A1	19-06-2014	DE 102012112322 A1 18-06-2014
			US 2014168370 A1 19-06-2014
			WO 2014091307 A2 19-06-2014

WO 2015022384	A1	19-02-2015	DE 102013013791 A1 12-03-2015
			EP 3033588 A1 22-06-2016
			US 2016202051 A1 14-07-2016
			WO 2015022384 A1 19-02-2015

JP 2010169590	A	05-08-2010	NONE

US 6028672	A	22-02-2000	NONE

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G01B11/00 G01B11/25 G06T1/00 G06T7/00 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G01B G06T		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	JP 2001 338280 A (NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE) 7. Dezember 2001 (2001-12-07)	1,5-7,
Y	Absätze [0003], [0009], [0019], [0023], [0032]; Abbildungen 1-13	9-11 1-13
X	US 2014/168370 A1 (HEIDEMANN ROLF [DE] ET AL) 19. Juni 2014 (2014-06-19)	1,5-7,
Y	Absätze [0008], [0026], [0027], [0031], [0032], [0037], [0039], [0041]; Abbildungen 1-6	9-11 1-13
Y	WO 2015/022384 A1 (FRAUNHOFER GES ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E V [DE]) 19. Februar 2015 (2015-02-19) das ganze Dokument	1-13
	----- -/-	
☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
5. September 2016		14/09/2016
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Grand, Jean-Yves

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	JP 2010 169590 A (KOBE STEEL LTD; KOBELCO KAKEN KK) 5. August 2010 (2010-08-05) das ganze Dokument -----	3,12
Y	US 6 028 672 A (GENG ZHENG JASON [US]) 22. Februar 2000 (2000-02-22) das ganze Dokument -----	1-13

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/064888

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 2001338280 A	07-12-2001	KEINE	
US 2014168370 A1	19-06-2014	DE 102012112322 A1 US 2014168370 A1 WO 2014091307 A2	18-06-2014 19-06-2014 19-06-2014
WO 2015022384 A1	19-02-2015	DE 102013013791 A1 EP 3033588 A1 US 2016202051 A1 WO 2015022384 A1	12-03-2015 22-06-2016 14-07-2016 19-02-2015
JP 2010169590 A	05-08-2010	KEINE	
US 6028672 A	22-02-2000	KEINE	