

(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
12. Januar 2017 (12.01.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/005675 A1

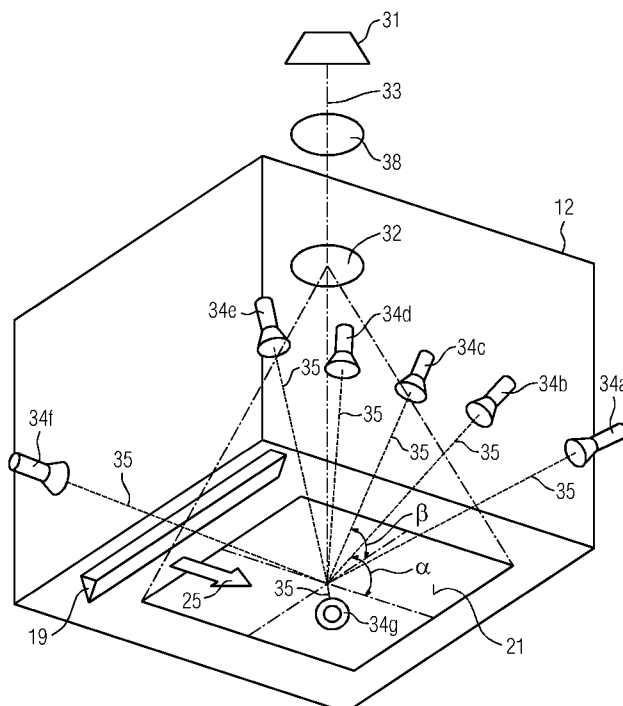
- (51) **Internationale Patentklassifikation:**
G01N 21/85 (2006.01) *B29C 67/00* (2017.01)
B23K 26/00 (2014.01)
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP2016/065660
- (22) **Internationales Anmeldedatum:**
4. Juli 2016 (04.07.2016)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:**
10 2015 212 837.7 9. Juli 2015 (09.07.2015) DE
- (71) **Anmelder:** SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
[DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).
- (72) **Erfinder:** KRÜGER, Ursus; Krampnitzer Weg 11, 14089
Berlin (DE). STIER, Oliver; Zimmermannstraße 29,
12163 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 FOR MONITORING A PROCESS FOR POWDER-BED BASED ADDITIVE MANUFACTURING OF A COMPONENT AND SUCH A SYSTEM

(54) **Bezeichnung :** VERFAHREN ZUR ÜBERWACHUNG EINES PROZESSES ZUR PULVERBETTBASIERTEN ADDITIVEN HERSTELLUNG EINES BAUTEILS UND SOLCHE ANLAGE

FIG 2



(57) **Abstract:** The invention relates to a method for monitoring a process for powder-based additive manufacturing of components and to a system that is suited to carry out said method. According to the invention an image sensor (31) is used, on which the surface (21) of a powder bed can be pictured. According to the invention the surface (21) is illuminated by one or more light sources (34a to 34g), wherein the illumination is done from above at an angle. Therefore, defects, such as grooves generated by a doctor blade (19), generate strongly shaded images on the image sensor (31) and can advantageously reliably be evaluated in order to timely interrupt the process for quality assurance purposes. In this way, the number of reject components can be advantageously reduced.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung eines Prozesses

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2017/005675 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)*

zur pulverbettbasierten additiven Herstellung von Bauteilen und eine Anlage, die zur Durchführung dieses Verfahrens geeignet ist. Es ist vorgesehen, dass ein Bildsensor (31) verwendet wird, auf dem die Oberfläche (21) eines Pulverbetts abgebildet werden kann. Es ist vorgesehen, dass die Oberfläche (21) durch eine oder mehrere Lichtquellen (34a bis 34g) beleuchtet wird, wobei die Beleuchtung von schräg oben erfolgt. Daher erzeugen Defekte, wie durch eine Rakel (19) erzeugte Furchen, stark schattierte Abbilder auf dem Bildsensor (31) und können vorteilhaft zuverlässig ausgewertet werden, um rechtzeitig den Prozess zu Qualitätssicherungszwecken zu unterbrechen. Ein Ausschuss von Bauteilen lässt sich auf diesem Wege vorteilhaft verringern.

VERFAHREN ZUR ÜBERWACHUNG EINES PROZESSES ZUR PULVERBETTBASIERTEN ADDITIVEN HERSTELLUNG
EINES BAUTEILS UND SOLCHE ANLAGE

Verfahren zur Überwachung eines Prozesses zur pulverbettba-
sierten additiven Herstellung eines Bauteils und Anlage, die
5 für ein solches Verfahren geeignet ist

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung eines
Prozesses zur pulverbettbasierten additiven Herstellung eines
Bauteils in einem Pulverbett. Außerdem betrifft die Erfindung
10 eine Anlage zum pulverbettbasierten additiven Herstellen ei-
nes Bauteils, aufweisend eine Aufnahmevorrichtung für ein
Pulverbett, die in einer Prozesskammer angeordnet ist.

Additive Herstellungsverfahren zur Herstellung von Bauteilen
15 sind allgemein bekannt. Hierunter fallen auch additive Her-
stellungsverfahren, die pulverbettbasiert sind. Hierbei wird
das Bauteil lagenweise aus einem Pulverbett hergestellt, wo-
bei in dem Pulverbett jeweils eine Lage Pulver mit einer kon-
stanten Dicke aufgebracht wird und anschließend mit einer
20 Energiequelle dieses Pulver aufgeschmolzen oder gesintert
wird, um in dem Pulverbett eine Lage des herzustellenden Bau-
teils zu erzeugen. Die Energiequelle erzeugt zu diesem Zweck
vorzugsweise einen Laserstrahl oder einen Elektronenstrahl.
Als laserbasierte Verfahren lassen sich beispielsweise das
25 selektive Laserschmelzen (SLM) und das selektive Lasersintern
(SLS) nennen. Als elektronenstrahlbasiertes Verfahren kann
das Elektronenstrahlschmelzen (EBM) genannt werden.

Die Lagen des Pulverbetts werden vorzugsweise aufgerakelt.
30 Das bedeutet, dass eine Rakel mit ihrer Rakellippe über die
Oberfläche des Pulverbetts gezogen wird und diese dadurch
glättet und ein definiertes Niveau derselben einstellt. Bei
diesem Aufrakeln können größere Klümpchen von Pulver die Ent-
stehung von Liniendefekten verursachen. Liniendefekte bilden
35 sich dann in der Oberfläche des Pulverbetts als Furchen aus.
Weiterhin können die genannten Klümpchen auch im Pulverbett
zu liegen kommen und dabei im Vergleich zur Oberfläche des
Pulverbetts erhaben sein bzw. in ihrer direkten Umgebung der

Oberfläche des Pulverbetts Krater erzeugen. Die Klümpchen im Pulverbett kommen beispielsweise dadurch zustande, dass während des Aufschmelzens der Pulverlage Spritzer von angeschmolzenen Pulverpartikeln vom Laserstrahl weg in das Pulverbett geschleudert werden.

Die beschriebenen Defekte, insbesondere die Liniendefekte können im Herstellungsschritt des Bauteils durch den Laser oder den Elektronenstrahl zu Defekten in der ausgebildeten Lage des Bauteils führen, die im weiteren Verlauf des Verfahrens nicht mehr ausgeglichen werden können und somit zu einem Ausschuss des zu erzeugenden Bauteils führen können. Hierdurch entstehen hohe Kosten, insbesondere wenn das Bauteil bereits fast fertiggestellt ist.

Allgemein sind optische Verfahren zur Überwachung von Oberflächen im Einsatz, die jedoch wegen der diffusen Oberfläche des Pulverbetts keine zuverlässigen Ergebnisse hinsichtlich einer Untersuchung des erzeugten Pulverbetts liefern. Allgemein bekannt ist weiterhin ein optisches Verfahren zur Untersuchung von keramischen Hitzeschildplatten, welches in der EP 2 006 804 A1 beschrieben ist.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, einen Verfahrensschritt zur Überwachung eines Prozesses zur pulverbettbasierten additiven Herstellung anzugeben, mit dem Fehler in der Oberfläche des Pulverbetts zuverlässig erkannt werden können. Außerdem ist es Aufgabe der Erfindung eine Anlage zum pulverbettbasierten additiven Herstellen eines Bauteils anzugeben, mit der eine Überwachung der Oberfläche des Pulverbetts zuverlässig durchgeführt werden kann.

Die erstgenannte Aufgabe wird mit dem eingangs angegebenen Verfahren erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass ein Bildsensor verwendet wird, auf dem eine Oberfläche des Pulverbetts mit einer Optik abgebildet wird, während die Oberfläche des Pulverbetts durch mindestens eine Lichtquelle aus mindestens einer Richtung von schräg oben beleuchtet wird. Mit dem Bild-

sensor wird dann ein digitales Bild der Oberfläche generiert, wobei Defekte in der Oberfläche durch einen Schattenwurf gut erkennbar sind, da die Lichtquelle von schräg oben auf die Oberfläche des Pulverbetts leuchtet. Hiermit ist gemeint,
5 dass der Winkel des beleuchtenden Lichts in Bezug auf die Oberfläche des Pulverbetts ungleich 90° ist. Vorteilhaft ist der Beleuchtungswinkel $< 45^\circ$, noch bevorzugter ist der Beleuchtungswinkel $< 30^\circ$.

10 Das erzeugte Bild macht vorteilhaft eine Auswertung nach dem sogenannten Shape from Shading Verfahren möglich, wie dieses in der eingangs angegebenen EP 2 006 804 A1 ausführlich beschrieben wird. Das Verfahren ist ein Beispiel für einen Algorithmus, mit dem zur Überwachung die Oberfläche des Pulverbetts
15 ein auf dem Bildsensor abgebildetes Bild ausgewertet werden kann. Das Auswertungsergebnis kann vorteilhaft im Verfahrensablauf dazu verwendet werden, um ein Entscheidungskriterium zu erzeugen, ob das Verfahren unterbrochen wird, um qualitätssichernde Maßnahmen einzuleiten. Diese können beispielsweise daraus bestehen, dass ein nicht zureichende Oberfläche des Pulverbetts durch wiederholtes Rakeln derselben
20 verbessert wird. Ist beispielsweise durch das Rakeln ein Klumpen an den Rand des Pulverbetts transportiert worden, so erzeugt dieser Klumpen anschließend keine Effekte mehr in der Oberfläche des Pulverbetts. Sind die Verunreinigungen durch Klumpen in der Oberfläche des Pulverbetts zu groß geworden, so kann beispielsweise das Pulverbett ganz oder teilweise aus der Aufnahmevorrichtung für das Pulver entfernt werden und das Pulverbett mit nichtverunreinigtem Pulver neu aufgebaut
25 werden. In jedem Fall wird die Qualität des herzustellenden Bauteils im nachfolgenden Herstellungsschritt nicht leiden, wenn eine intakte Oberfläche des Pulverbetts hergestellt wird. Ein Ausschuss an Bauteilen aufgrund einer schlechten Qualität der Oberfläche des Pulverbetts kann somit vorteilhaft
30 weitgehend vermieden werden. Das Verfahren ist vorteilhaft so zuverlässig, dass zumindest Defekte in der Oberfläche des Pulverbetts, die in ihrer Größe die Qualität des herzustellenden Bauteils gefährden würden, zuverlässig erkannt

werden. Kleinere Defekte in der Oberfläche des Pulverbetts, die durch das erfindungsgemäße Verfahren zur Überwachung nicht erkannt werden, sind üblicherweise so geringfügig, dass sie die Qualität des Bauteils nicht beeinflussen.

5

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass der Bildsensor vertikal über dem Pulverbett angeordnet ist, wobei die optische Achse der Optik senkrecht auf der Oberfläche des Pulverbetts steht. Dies hat den Vorteil, dass das Abbild von der Oberfläche weitgehend verzerrungsfrei und mit einer großen Bildschärfe über die gesamte Bildfläche erzeugt werden kann, was die Erkennung von Defekten vorteilhaft beeinflusst.

15 Gemäß einer anderen Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Auflösung des Bildsensors so gewählt wird, dass in einem Pixel des erzeugten Bilds des Pulverbetts eine Vielzahl von Partikeln, bevorzugt 10, noch bevorzugter 50 Partikel des verwendeten Pulvers abgebildet werden, wobei üblicherweise Pulver mit einem Intervall für die im Pulver vor-

20 kommenden Partikelgrößen zwischen 10 und 50 μm verwendet werden (der massegewichtete Mittelwert der Partikelgröße liegt dabei zwischen 20 und 30 μm). Mit anderen Worten kann für die Durchführung des Überwachungsverfahrens vorteilhaft ein vergleichsweise kostengünstiger Bildsensor verwendet werden, da

25 die Auflösung weit hinter der auf dem Bildsensor abgebildeten mittleren Partikelgröße zurückbleiben kann. Dies liegt daran, dass die Defekte in der Oberfläche des Pulverbetts größer sein müssen, als die Partikel. Es ist sogar vorteilhaft, wenn

30 die Auflösung des Bildsensors in der oben angegebenen Weise gewählt wird, da die Textur der Oberfläche des fehlerfreien Pulverbetts auf diese Weise nicht als Defekt in der Oberfläche fehlinterpretiert werden kann. Es sind also keine Maßnahmen zur Bildbearbeitung notwendig, um eine Fehlerkennung der

35 Textur des Pulverbetts als Fehler auszuschließen, wenn die Auflösung des Bildsensors richtig gewählt wird.

Gemäß einer anderen Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Ausrichtung eines Pixelarrays des Bildsensors in Bezug auf die Bewegungsrichtung einer Rakel zur Glättung des Pulverbetts um die optische Achse der Optik um einen Winkel zwischen 30 und 60° verdreht ist. Da die Bewegungsrichtung der Rakel über die Oberfläche des Pulverbetts ursächlich für die Entstehung der oben bereits beschriebenen Furchen ist, sind diese normalerweise genau in Bewegungsrichtung der Rakel ausgerichtet. Wenn das Pixelarray gegenüber dieser Ausrichtung der Furchen verdreht ist, so ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Furche auf Bildpunkte des Bildsensors trifft, vorteilhaft erhöht, so dass eine dünne Linie, wie sie optisch durch die Furche erzeugt wird, leichter erkannt werden kann. Besonders bevorzugt kann für die Verdrehung des Bildsensors ein Winkel von 45° gewählt werden.

Eine wieder andere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die Lichtquelle derart angeordnet ist, dass eine Beleuchtungsrichtung von der Bewegungsrichtung einer Rakel zur Glättung des Pulverbetts abweicht. Dabei ist die Beleuchtungsrichtung in einer Blickrichtung senkrecht zur Oberfläche des Pulverbetts gemeint, mit anderen Worten diejenige Richtungskomponente der Beleuchtung, die in einer senkrechten Projektion auf die Oberfläche des Pulverbettes gemessen werden kann. Wenn die Beleuchtungsrichtung der Lichtquelle von der Bewegungsrichtung der Rakel abweicht, so werden auch entstandene Furchen mit ihrer Ausdehnung genau in Bewegungsrichtung der Rakel durch einen starken Schattenwurf vorteilhaft leichter detektiert, da ihr Schattenbild auf dem Bildsensor ausgeprägter ist. Vorteilhaft ist die besagte Beleuchtungsrichtung der Lichtquelle in einem Winkel von 80 - 100° ausgerichtet, insbesondere wird ein Winkel von 90° zur Bewegungsrichtung der Rakel gewählt. Auf diese Weise ist der Schattenwurf aufgrund des oben angegebenen Effekts vorteilhaft maximiert.

Gemäß einer anderen Ausgestaltung der Erfindung wird vorgesehen, dass die Beleuchtung durch mehrere Lichtquellen in meh-

reren Beleuchtungsrichtungen beleuchtet wird. Diese mehreren Beleuchtungsrichtungen sind gesehen in einer Blickrichtung senkrecht zur Oberfläche des Pulverbetts unterschiedlich. Dies bedeutet, dass jede der Lichtquellen ein anderes Schattenbild der Defekte erzeugt. Die Lichtquellen können nun beispielsweise nacheinander aktiviert werden, so dass verschiedenen Schattenbilder einzeln ausgewertet werden können und in einem zweiten Schritt die so gewonnenen Informationen kombiniert werden, so dass durch eine gemeinsame Auswertung der erzeugten Bildinformationen die Zuverlässigkeit der Erkennung von Defekten in der Oberfläche des Pulverbetts vorteilhaft steigt.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Lichtquelle oder die mehreren Lichtquellen Licht in einem Wellenlängenspektrum aussendet oder aussenden, welches sich von dem Spektrum der Wärmestrahlung des erwärmten Pulverbetts und dem des in Herstellung befindlichen Bauteils unterscheidet. Hierdurch ist es vorteilhaft möglich, dass auch bei einer intensiven Prozessrückstrahlung von Wärme aufgrund der thermischen Verhältnisse im Pulverbett ein Schattenwurf von Defekten zuverlässig erkannt werden kann, da dieser nicht durch die Temperaturstrahlung des Bauteils und des Pulverbetts überstrahlt wird.

Insbesondere kann die Lichtquelle monochromatisches Licht oder mehrere Lichtquellen jeweils monochromatisches Licht mit jeweils unterschiedlichen Wellenlängen aussenden, wobei diese Wellenlängen, wie bereits erwähnt, außerhalb des Spektrums der Wärmestrahlung liegen. Bei der Wärmestrahlung handelt es sich um Wellenlängen der Schwarzkörperstrahlung bis 1500°C, wodurch selbst das Licht des aufgeschmolzenen Pulvers zuverlässig von dem Untersuchungslicht unterschieden werden kann.

Eine weitere Maßnahme besteht erfindungsgemäß darin, dass der Bildsensor unempfindlich für das Spektrum der Wärmestrahlung des erwärmten Pulverbetts und das des in Herstellung befindlichen Bauteils ist. Hierdurch kann vermieden werden, dass

das Licht der Wärmestrahlung überhaupt durch den Bildsensor detektiert wird. Eine andere Möglichkeit besteht darin, dass in der Optik ein Filter für das Spektrum der Wärmestrahlung des erwärmten Pulverbetts und das des in Herstellung befindlichen Bauteils vorgesehen ist. Dies bedeutet, dass die Wärmestrahlung durch den Filter ausgefiltert wird und an dem Bildsensor nur das Messlicht ankommt.

Alternativ oder zusätzlich kann das erwärmte Pulverbett ohne Beleuchtung durch die Lichtquelle mit dem Bildsensor aufgenommen werden, um der Anteil der Wärmestrahlung des Pulverbettes zu eliminieren. Dabei ist vorteilhaft vorgesehen, dass die Oberfläche des Pulverbettes mit der Optik auf dem Bildsensor abgebildet wird, bevor die Oberfläche des Pulverbettes durch die mindestens eine Lichtquelle beleuchtet wird, und danach die Oberfläche des Pulverbettes mit der Optik auf dem Bildsensor noch einmal abgebildet wird, während die Oberfläche des Pulverbettes durch mindestens eine Lichtquelle aus mindestens einer Richtung von schräg oben beleuchtet wird. Von beiden Abbildungen wird ein Bild erstellt und danach wird bei der Auswertung das Bild der Oberfläche ohne Beleuchtung von dem Bild der Oberfläche mit Beleuchtung subtrahiert. Anschließend verbleibt ein Bild mit dem Beleuchtungsanteil der Lichtquelle zur Beurteilung des Schattenwurfes eventueller Defekte in der Oberfläche des Pulverbettes.

Gemäß einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung kann bei der Auswertung der Bilder auch Beachtung finden, ob sich eine erkannte Furche in einem Bereich des Pulverbetts befindet, in dem die aktuell herzustellende Lage des Bauteils liegt. Der Prozess wird dann nur unterbrochen, wenn dies der Fall ist, da nur dann das Herstellungsergebnis des Bauteils gefährdet ist. Wenn die Furche in einem Teilbereich liegt, wo das Pulver der aktuellen Lage nicht aufgeschmolzen werden soll, kann in einem nachfolgenden Aufbringungsschritt von Pulver mit der Rakel untersucht werden, ob die Störung der Oberfläche ausgeglichen wird oder ob diese in einem Teil des Pulverbetts transportiert wurde, wo die Herstellung des Bauteils gefähr-

det ist. Die Areale, die durch den Laserstrahl im Pulverbett aufgeschmolzen werden sollen, lassen sich vorteilhaft leicht durch die Auswertung der Prozesssteuerung zur Herstellung des Bauteils ermitteln, da diese ohnehin bekannt sein müssen.

5

Gemäß einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass auch die Oberfläche des in Entstehung befindlichen Bauteils auf Unebenheiten untersucht wird. Hierbei sind dieselben Algorithmen anwendbar, welche für das Pulverbett zum Einsatz kommen. Es ist allerdings ein weiterer optischer Untersuchungsschritt erforderlich, der vor der Aufbringung einer neuen Lage des Pulvers durchgeführt wird. Mit diesem Überwachungsschritt lassen sich unvorhergesehene Fehler in der aktuell hergestellten Oberfläche der Bauteillage feststellen, so dass entschieden werden kann, ob diese Fehler zu einem Verwurf des Bauteils führen müssen und weiterer Fertigungsaufwand für ein Bauteil eingespart werden kann, welches sonst erst am Ende als Ausschuss aussortiert werden müsste.

10

15

20

25

Weiterhin wird die Aufgabe der Erfindung durch die eingangs angegebene Anlage gelöst, in der ein Bildsensor vorgesehen ist, mit dem das oben genannte Verfahren durchgeführt werden kann. Außerdem sind Lichtquellen vorgesehen, damit das genannte Verfahren durchgeführt werden kann. Die mit dem Betrieb der erfindungsgemäßen Anlage verbundenen Vorteile sind oben bereits ausführlich erläutert worden.

30

Weitere Einzelheiten der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung beschrieben. Gleiche oder sich entsprechende Zeichnungselemente sind jeweils mit dem gleichen Bezugszeichen versehen und werden nur insoweit mehrfach erläutert, wie sich Unterschiede zwischen den einzelnen Figuren ergeben. Es zeigen:

35

Figur 1 ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Anlage im schematischen Schnitt,

Figur 2 ein Ausführungsbeispiel der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

5 Figur 3 und 4 Aufsichten auf die Oberfläche eines Pulverbetts bei der Durchführung des Verfahrens gemäß Figur 2 bei unterschiedlichen Beleuchtungsrichtungen und

10 Figur 5 schematisch ein Bild, was durch eine Auswertung bei dem Verfahren gemäß Figur 2 ermittelt wurde.

In Figur 1 ist eine Anlage 11 zum selektivem Laserschmelzen dargestellt. Diese weist eine Prozesskammer 12 auf, in der
15 eine Aufnahmevorrichtung 13 für ein Pulverbett 14 vorgesehen ist. Diese Aufnahmevorrichtung 13 besteht aus einer Bauplattform 15, auf der ein Bauteil 16 hergestellt werden kann. Die Bauplattform 15 kann über einen Zylinder 17 abgesenkt werden, wobei Seitenwände der Aufnahmevorrichtung 13 dafür sorgen,
20 dass das Pulverbett 14 zur Seite hin Halt findet.

Das Pulverbett 14 wird durch eine Rakel 19 lagenweise geglättet, wobei diese Rakel 19 zunächst über einen Pulvervorrat 20 und anschließend über eine Oberfläche 21 des Pulverbetts 14
25 geführt wird. Dadurch, dass die Bauplattform 15 schrittweise abgesenkt wird, können durch die Rakel 19 immer neue Lagen des Pulverbetts 14 erzeugt werden, wobei diese über eine Führungsschiene 22 bewegt wird. Damit die Rakel dabei Pulver aus dem Pulvervorrat 20 mitführen kann, ist eine Bodenplatte 23
30 über einen weiteren Zylinder 24 höhenverschiebbar gelagert. Die Führungsschiene 22 gibt dabei eine Bewegungsrichtung 25 für die Rakel 19 vor.

In der Wand der Prozesskammer 12 ist ein Fenster 26 vorgesehen, durch den ein Laserstrahl treten kann, der durch einen
35 außerhalb der Prozesskammer 12 angeordneten Laser 28 erzeugt wird. Über einen Umlenkspiegel 29 kann dieser Laser auf der Oberfläche 21 des Pulverbetts 14 bewegt werden, wodurch die

Areale der Oberfläche 21 aufgeschmolzen werden können, aus der das Bauteil 16 lagenweise hergestellt werden soll.

Außerhalb der Prozesskammer 12 ist außerdem eine Überwachungseinrichtung 30 vorgesehen, die einen Bildsensor 31 und eine Optik 32 aufweist. Die Überwachungseinrichtung 30 ist derart oberhalb der Oberfläche 21 des Pulverbetts 14 angeordnet, dass eine optische Achse 33 der Optik 32 genau senkrecht auf der Oberfläche 21 steht. Um mittels des Bildsensors 31 ein Bild aufnehmen zu können, welches die Oberfläche 21 abbildet, ist weiterhin eine Lichtquelle 34, beispielsweise in Form eines LED-Scheinwerfers, in der Prozesskammer 12 angeordnet, die die Oberfläche 21 des Pulverbetts 14 beleuchten kann.

Anhand von Figur 2 kann das Verfahren zur Überwachung der Oberfläche 21 des Pulverbetts genauer erläutert werden. Zu erkennen sind in Figur 2 mehrere Lichtquellen 34a bis 34g, um verschiedene Beleuchtungsverfahren zu erläutern. In einer Anlage gemäß Figur 1 müssen nicht alle dieser Lichtquellen auf einmal untergebracht werden, jedoch ermöglicht die Unterbringung von mehreren Lichtquellen eine Variation der Beleuchtung während der Durchführung des Überwachungsverfahrens. Beispielsweise können die Lichtquellen 34a, 34e, 34f und 34g verwendet werden, um eine Beleuchtung der Oberfläche 21 aus vier rechtwinklig zueinander stehenden Beleuchtungsrichtungen 35 zu ermöglichen. Auf diese Weise lassen sich insbesondere Fehlstellungen in der Oberfläche 21 ermitteln, die nicht die Form einer Furche, sondern beispielsweise die Form von Kratern oder Pulverklumpen aufweisen. Weiterhin gibt es die Lichtquellen 34b, 34c, 34d, die bezüglich der Bewegungsrichtung 25 der Rakel 19 von der Seite auf die Oberfläche 21 des Pulverbetts leuchten. Die Lichtquelle 34c weist dabei eine Beleuchtungsrichtung von 90° zur Bewegungsrichtung 25 auf, wobei dieser Winkel in einer Blickrichtung von oben, also genau in Richtung der optischen Achse 33 gemessen wird. Dieser Winkel ist als Winkel α in der Oberfläche 21 in Figur 2 eingezeichnet. Weiterhin kann ein Neigungswinkel β der Figur 2

entnommen werden, der angibt, in welchem Winkel die Beleuchtung von schräg oben erfolgt. Beide Winkel sind für die Beleuchtungsrichtung 35 der Lichtquelle 34c eingezeichnet. Bei den Lichtquellen 34b und 34d ergeben sich Winkel α von jeweils 105 und 75° (in Figur 2 nicht dargestellt). Durch abwechselnde Beleuchtung mittels der Lichtquellen 34b und 34d und eventuell auch 34c kann ein modifizierter Schattenwurf von Fehlstellen in der Oberfläche 21 erzeugt werden, wodurch durch Überlagerung der so erzeugten Bilder eine Zuverlässigkeit der Erkennung von Fehlstellen gesteigert wird. Statt die Lichtquellen 34a bis 34g nacheinander zu aktivieren, können diese oder zumindest ein Teil von ihnen auch monochromes Licht unterschiedlicher Wellenlänge aussenden und gleichzeitig betrieben werden. Die Signale auf dem Bildsensor können dann aufgrund der unterschiedlichen Wellenlängen voneinander getrennt untersucht werden, auch wenn diese gleichzeitig auf den Bildsensor 31 fallen.

Weiterhin ist Figur 2 zu entnehmen, dass der Bildsensor 31 hinsichtlich seiner Ausrichtung genau um 45° in der optischen Achse 33 gegenüber der Oberfläche 21 des Pulverbetts verdreht ist. Hierdurch kann die Detektion von Fehlstellen verbessert werden, wie im Folgenden zu Figur 5 näher erläutert wird.

Damit die von der Oberfläche 21 ausgehenden Lichtsignale aufgrund der Beleuchtung durch die Lichtquellen 34a bis 34g von einer Wärmestrahlung getrennt ausgewertet werden können, ist ein Filter 38 vorgesehen, der ebenfalls in der optischen Achse 33 liegt. Hierdurch können die Spektren der Wärmestrahlung bei der Messung unberücksichtigt bleiben, die aufgrund der im Prozess entstehenden Wärme bedeutend sein können und die Messsignale aufgrund der Beleuchtung durch die Lichtquellen 34a bis 34g überstrahlen können. Dies ermöglicht eine zuverlässigere Auswertung der Messsignale.

35

Den Figuren 3 und 4 ist zu entnehmen, wie die Oberfläche 21 des Pulverbetts durch die Lichtquellen 34b und 34d aus unterschiedlichen Beleuchtungsrichtungen 35 beleuchtet werden.

Dargestellt ist in den Figuren 3 und 4 eine Furche 36, wie diese zustande kommt, wenn durch die Rakel 19 (vgl. Figur 2) ein Pulverklumpen durch das Pulverbett gezogen wird. Außerdem ist ein Krater 37 dargestellt, der entstehen kann, wenn ein
5 Pulverklumpen aus dem Pulverbett herausgerissen wird. Dieser steht exemplarisch für einen punktförmigen Defekt der Oberfläche 21. Zuletzt ist ein Pulverklumpen 38 dargestellt, der ebenfalls einen punktförmigen Defekt darstellt und aus der Oberfläche 21 des Pulverbetts aufragt. Zuletzt lässt sich die
10 Kontur des in Herstellung befindlichen Bauteils 16 erkennen, die in Wirklichkeit bei Herstellung einer neuen Lage des Pulverbetts nicht zu erkennen ist, da das Bauteil von dieser Lage vollständig bedeckt ist.

15 Die Schraffuren in Figur 3 und 4 sollen eine Helligkeit der beleuchteten Oberfläche veranschaulichen. Das Pulverbett erscheint an seiner Oberfläche 21 in einer diffus verteilten Lichtintensität, während eine dichtere Schraffur den Schattenwurf des Kraters 37 der Furche 36 und des Pulverklumpens
20 38 andeutet. Andere Areale der genannten Defekte werden hingegen fast senkrecht beleuchtet und erscheinen daher ohne Schraffur. Vergleicht man die Figuren 3 und 4 miteinander, so zeigt sich, dass aufgrund der unterschiedlichen Beleuchtungsrichtungen 35 der Schattenwurf variiert, was bei der Beurteilung der dreidimensionalen Ausdehnung der verschiedenen Fehl-
25 stellen hilft.

In Figur 5 ist dargestellt, wie aus dem mit dem Bildsensor 31 gemäß Figur 2 aufgenommenen Bild eine Auswertung erfolgen
30 kann, die beispielsweise auf einer Ausgabeeinrichtung eines Bildschirms angezeigt werden kann. Zu erkennen sind die Defekte 36', 37' und 38', wobei die einzelnen Pixel des Bildsensors angedeutet sind. Diese sind exemplarisch in Figur 5 zu groß dargestellt, um diesen Effekt zu verdeutlichen. Auf-
35 grund der zu Figur 2 beschriebenen Verdrehung des Bildsensors 31 in Bezug auf die Oberfläche 21 des Pulverbetts um 45° wird z.B. durch die Furche 36 eine größere Anzahl von Pixeln durch den Schattenwurf bzw die direkte Beleuchtung angesprochen,

wodurch der Bildsensor empfindlicher auf die durch die Beleuchtung und die Schattierung der Areale in der Furche reagiert.

5 Außerdem ist in Figur 5 die Kontur des Bauteils 16 eingeblendet, wobei diese aus den im Prozess zur Verfügung stehenden Bauteildaten (CAD-Modell) berechnet wird. Davon ausgehend kann eine Entscheidung getroffen werden, ob der Pulverklumpen 38 (also 38' in Figur 5) eine Größe aufweist, die das Bauteilergebnis beeinträchtigt und infolgedessen ein neuer Glättungsversuch der Oberfläche 21 mit der Rakel 19 unternommen werden soll. Weiterhin wird aus einer Auswertung des Ergebnisses gemäß Figur 5 deutlich, dass die Furche 36 und der Krater 37 außerhalb des Bauteils 16 liegen, was durch Beurteilung von deren Abbildern 36' und 37' sofort deutlich wird.

10

15

Patentansprüche

1. Verfahren zur Überwachung eines Prozesses zur pulverbett-
basierten additiven Herstellung eines Bauteils (16) in einem
5 Pulverbett (14),

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass

- ein Bildsensor (31) verwendet wird, auf dem eine Ober-
fläche (21) des Pulverbettes (14) mit einer Optik (32)
10 abgebildet wird, während die Oberfläche (21) des Pulver-
bettes (14) durch mindestens eine Lichtquelle (34) aus
mindestens einer Richtung von schräg oben beleuchtet
wird und
- zur Überwachung die Oberfläche (21) des Pulverbettes ein
15 auf dem Bildsensor abgebildetes Bild ausgewertet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

dass der Bildsensor (31) vertikal über dem Pulverbett ange-
20 ordnet ist, wobei die optische Achse der Optik (32) senkrecht
auf der Oberfläche (21) des Pulverbettes (14) steht.

3. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

25 dass die Auflösung des Bildsensors (31) so gewählt wird, dass
in einem Pixel des erzeugten Bildes des Pulverbettes eine
Vielzahl von Partikeln, bevorzugt 10, noch bevorzugter 50
Partikel des verwendeten Pulvers abgebildet werden.

30 4. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

dass die Ausrichtung eines Pixelarrays des Bildsensors (31)
in Bezug auf die Bewegungsrichtung (25) einer Rakel (19) zur
Glättung des Pulverbettes (14) um die optische Achse der Op-
35 tik (32) um einen Winkel zwischen 30° und 60° verdreht ist.

5. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

dass die Lichtquelle (34) derart angeordnet ist, dass eine Beleuchtungsrichtung (35), gesehen in einer Blickrichtung senkrecht zur Oberfläche des Pulverbettes (14), von der Bewegungsrichtung (25) einer Rakel (19) zur Glättung des Pulverbettes (14) abweicht.

6. Verfahren nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass die besagte Beleuchtungsrichtung (35) der Lichtquelle
10 (34) in einem Winkel von 80° bis 100° zur Bewegungsrichtung (25) der Rakel (19) liegt.

7. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
15 dass die Beleuchtung durch mehrere Lichtquellen (34) in mehreren Beleuchtungsrichtungen (35), die gesehen in einer Blickrichtung senkrecht zur Oberfläche des Pulverbettes (14) unterschiedlich sind, beleuchtet wird.

20 8. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Lichtquelle (34) oder die mehreren Lichtquellen
(34a, 34b, 34c, 34d, 34e, 34f, 34g) Licht in einem Wellenlängenspektrum aussendet oder aussenden, welches sich von dem
25 Spektrum der Wärmestrahlung des erwärmten Pulverbettes (14) und dem des in Herstellung befindlichen Bauteils (16) unterscheidet.

9. Verfahren nach Anspruch 8,
30 dadurch gekennzeichnet,
dass die Lichtquelle (34) monochromatisches Licht aussendet oder mehrere Lichtquellen (34) monochromatisches Licht mit jeweils unterschiedlichen Wellenlängen aussenden.

35 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 oder 9,
dadurch gekennzeichnet,
dass

- der Bildsensor (31) unempfindlich für das Spektrum der Wärmestrahlung des erwärmten Pulverbettes (14) und das des in Herstellung befindlichen Bauteils (16) ist oder
- in der Optik (32) ein Filter (38) für das Spektrum der Wärmestrahlung des erwärmten Pulverbettes (14) und das des in Herstellung befindlichen Bauteils (16) vorgesehen ist.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 oder 9,
dadurch gekennzeichnet,
dass

- die Oberfläche (21) des Pulverbettes (14) mit der Optik (32) auf dem Bildsensor abgebildet wird, bevor die Oberfläche (21) des Pulverbettes (14) durch die mindestens eine Lichtquelle (34) beleuchtet wird,
- danach die Oberfläche (21) des Pulverbettes (14) mit der Optik (32) auf dem Bildsensor abgebildet wird, während die Oberfläche (21) des Pulverbettes (14) durch mindestens eine Lichtquelle (34) aus mindestens einer Richtung von schräg oben beleuchtet wird, und
- danach bei der Auswertung das Bild der Oberfläche (21) ohne Beleuchtung von dem Bild der Oberfläche (21) mit Beleuchtung subtrahiert wird.

12. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Pulverbett (14) auf das Vorhandensein von Furchen (36) untersucht wird, und der Prozess unterbrochen wird, wenn eine Furche (36) im Pulverbett erkannt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Prozess nur unterbrochen wird, wenn sich die erkannte Furche (36) in einem Bereich des Pulverbettes (14) befindet, in dem die aktuell herzustellende Lage des Bauteils (16) liegt.

14. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass auch die Oberfläche des in Entstehung befindlichen Bauteils auf Unebenheiten untersucht wird

- 5 15. Anlage zum pulverbettbasierten additiven Herstellen eines Bauteils, aufweisend eine Aufnahmevorrichtung (13) für ein Pulverbett (14), die in einer Prozesskammer (12) angeordnet ist,
- d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
10 dass eine optische Überwachungseinrichtung (30) vorgesehen ist, die einen Bildsensor (31) und eine auf die Aufnahmevorrichtung (13) gerichtete Optik (32) aufweist, und in der Prozesskammer (12) mindestens eine Lichtquelle (34) schräg über der Aufnahmevorrichtung angeordnet ist, mit der die Aufnahme-
15 vorrichtung direkt beleuchtbar ist.

FIG 1

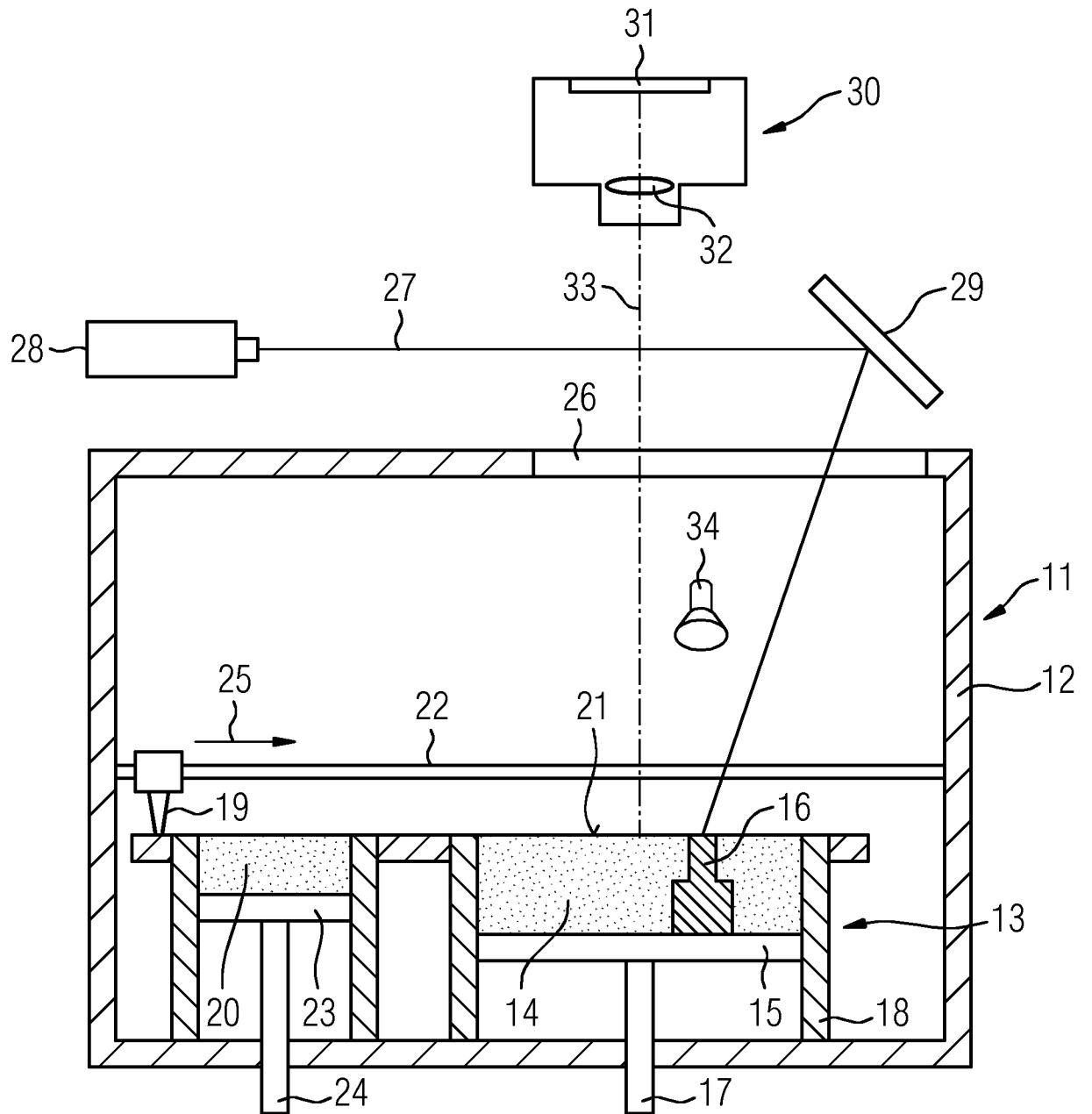


FIG 2

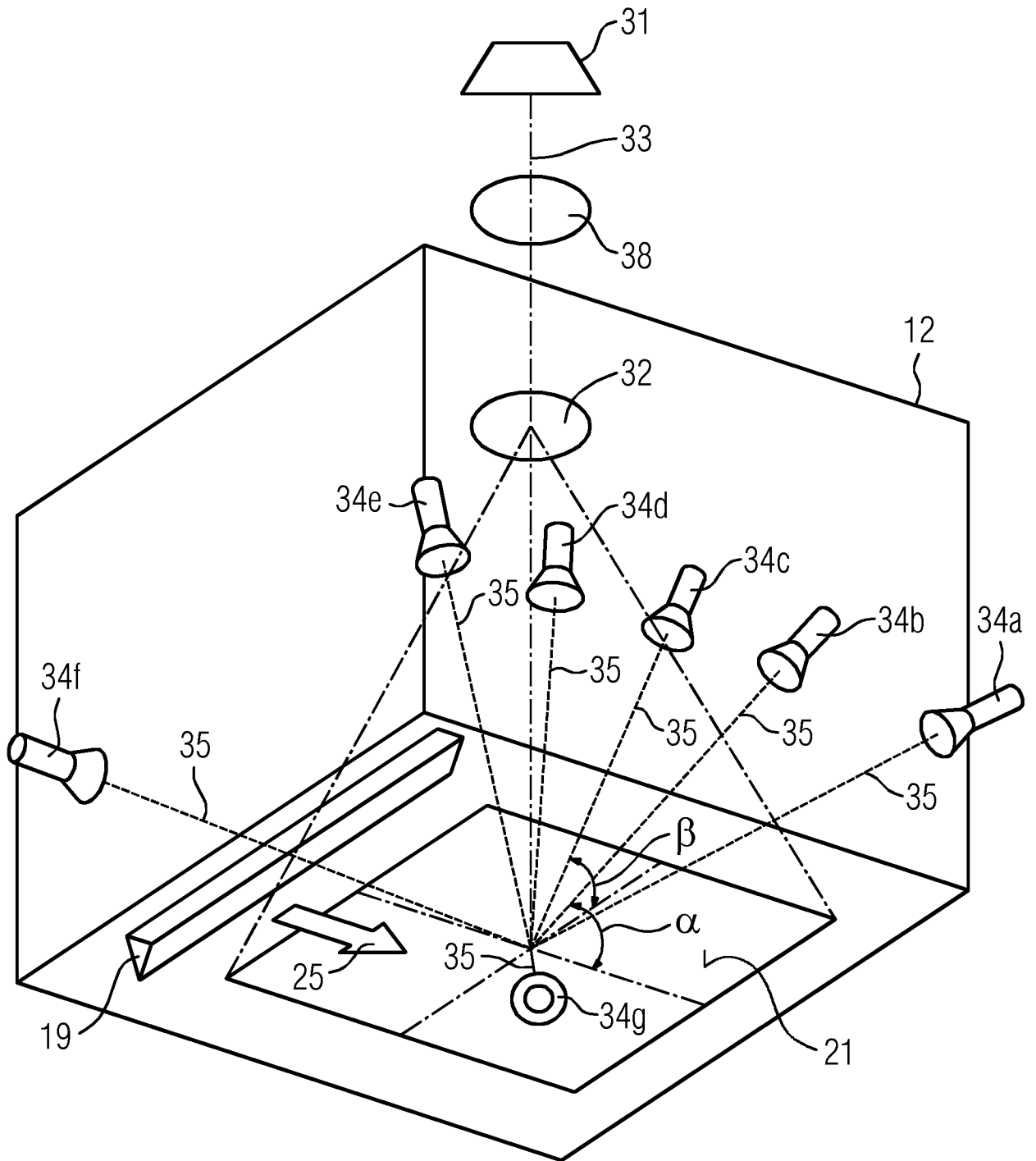


FIG 3

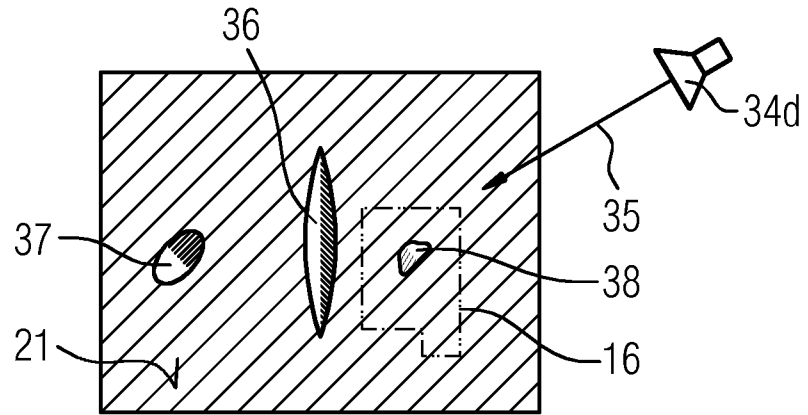


FIG 4

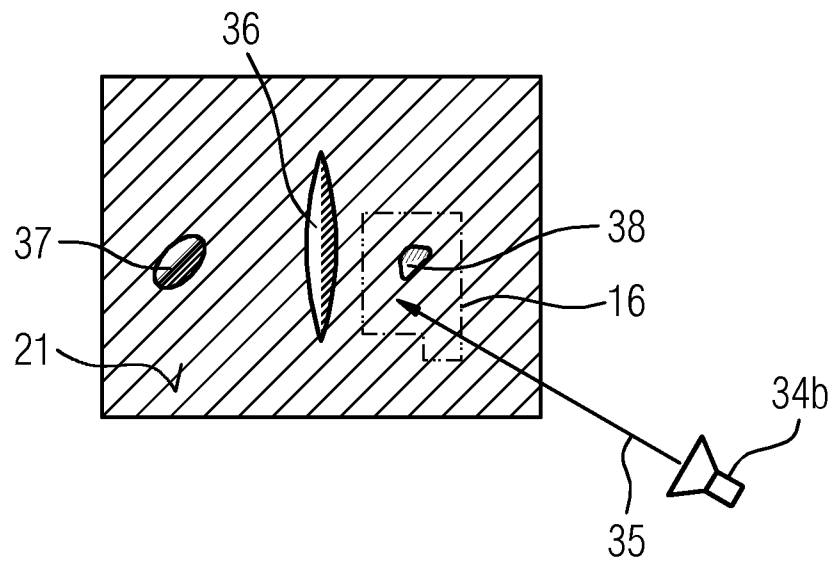
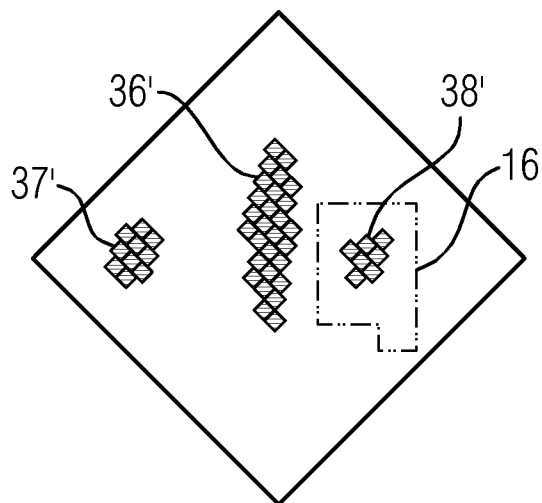


FIG 5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/065660

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. G01N21/85 B23K26/00 B29C67/00
 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)
 G01N B23K B29C

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

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2014/255666 A1 (STUCKER BRENT E [US] ET AL) 11 September 2014 (2014-09-11) the whole document	1-3, 5-12,14, 15
X	US 6 930 278 B1 (CHUNG TAE MARK [US] ET AL) 16 August 2005 (2005-08-16) the whole document	1-3,5-8, 12,14,15
A	US 2015/174658 A1 (LJUNGBLAD ULRIC [SE]) 25 June 2015 (2015-06-25) paragraphs [0043], [0080]; figure 1	1

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

<p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"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</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>
---	---

Date of the actual completion of the international search 6 October 2016	Date of mailing of the international search report 14/10/2016
---	--

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 Prasse, Torsten
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2016/065660

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2014255666	A1	11-09-2014	NONE
US 6930278	B1	16-08-2005	AT 450360 T 15-12-2009
		DE 102005026884	A1 23-03-2006
		EP 1634694	A2 15-03-2006
		JP 4076091	B2 16-04-2008
		JP 2006053127	A 23-02-2006
		US 6930278	B1 16-08-2005
US 2015174658	A1	25-06-2015	CN 105828985 A 03-08-2016
		EP 3083110	A1 26-10-2016
		US 2015174658	A1 25-06-2015
		WO 2015091813	A1 25-06-2015

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/065660

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G01N21/85 B23K26/00 B29C67/00
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G01N B23K B29C

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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2014/255666 A1 (STUCKER BRENT E [US] ET AL) 11. September 2014 (2014-09-11) das ganze Dokument -----	1-3, 5-12,14, 15
X	US 6 930 278 B1 (CHUNG TAE MARK [US] ET AL) 16. August 2005 (2005-08-16) das ganze Dokument -----	1-3,5-8, 12,14,15
A	US 2015/174658 A1 (LJUNGBLAD ULRIC [SE]) 25. Juni 2015 (2015-06-25) Absätze [0043], [0080]; Abbildung 1 -----	1

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
6. Oktober 2016	14/10/2016

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 Prasse, Torsten
--	--

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/065660

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2014255666	A1	11-09-2014	KEINE

US 6930278	B1	16-08-2005	AT 450360 T 15-12-2009 DE 102005026884 A1 23-03-2006 EP 1634694 A2 15-03-2006 JP 4076091 B2 16-04-2008 JP 2006053127 A 23-02-2006 US 6930278 B1 16-08-2005

US 2015174658	A1	25-06-2015	CN 105828985 A 03-08-2016 EP 3083110 A1 26-10-2016 US 2015174658 A1 25-06-2015 WO 2015091813 A1 25-06-2015
