

(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

14. September 2017 (14.09.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer

WO 2017/153187 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
B29C 67/00 (2017.01) *B22F 3/105* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/054406
- (22) Internationales Anmeldedatum:
24. Februar 2017 (24.02.2017)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2016 203 955.5 10. März 2016 (10.03.2016) DE
- (71) Anmelder: EOS GMBH ELECTRO OPTICAL
SYSTEMS [DE/DE]; Robert-Stirling-Ring 1, 82152
Krailling (DE).
- (72) Erfinder: WEICHSELBAUMER, Andrea; Josef-Brückl-
Str. 23 a, 85276 Pfaffenhofen (DE). GALBA, Michael
Jan; Carl-Spitzweg-Ring 31, 82178 Puchheim (DE).
- (74) Anwalt: PRÜFER & PARTNER MBB
PATENTANWÄLTE RECHTSANWÄLTE;
Sohnckestr. 12, 81479 München (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, DJ, 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, KH,
KN, KP, KR, KW, 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,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

(54) Title: GENERATIVE LAYER CONSTRUCTION METHOD HAVING IMPROVED DETAIL RESOLUTION, AND
DEVICE FOR CARRYING OUT THE SAME

(54) Bezeichnung : GENERATIVES SCHICHTBAUVERFAHREN MIT VERBESSERTER DETAILAUFLÖSUNG UND
VORRICHTUNG ZUR DURCHFÜHRUNG DESSELBEN

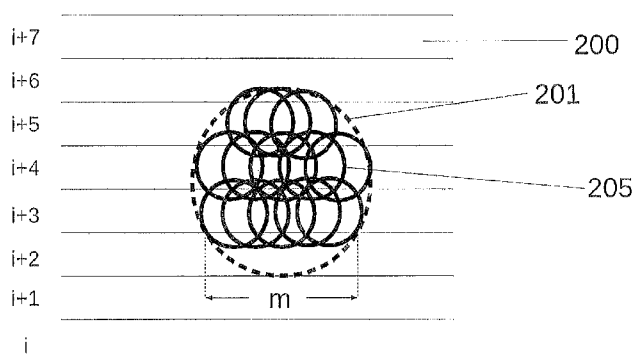


Fig. 2

(57) Abstract: The invention relates to a method for providing a control command set for a generative layer construction device, the method comprising the following steps: providing a first data set, in which points corresponding to an object cross section are marked; detecting, whether or not the length of a connection line between edges of an object cross section falls below a defined minimum dimension (m); generating a second data set, which differs from the first data set such that in the event the defined minimum dimension (m) is undercut, a point that is located within an object cross section on a connection line between edges thereof, the length thereof falls below the minimum dimension, is marked as a point not to be solidified, or marked as a point, to which a reduced amount of radiation energy is to be supplied, and/or for a point that is located outside an object cross section on a connection line between edges, the length of which falls below the minimum dimension (m), points of an object cross section adjacent to said point are marked directly above and/or below as points not to be solidified, or as points that are to be supplied with a reduced amount of radiation energy; integrating the second data set into the control command set.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



Ein Verfahren zur Bereitstellung eines Steuerbefehlssatzes für eine generative Schichtbauvorrichtung weist die folgenden Schritte auf: Bereitstellen eines ersten Datensatzes, in dem einem Objektquerschnitt entsprechende Stellen gekennzeichnet sind, Ermitteln, ob die Länge einer Verbindungslinie zwischen Rändern eines Objektquerschnitts eine festgelegte Mindestabmessung (m) unterschreitet, Generieren eines zweiten Datensatzes, welcher sich von dem ersten Datensatz dadurch unterscheidet, dass, bei Unterschreitung der Mindestabmessung (m) eine Stelle, die innerhalb eines Objektquerschnitts auf einer Verbindungslinie zwischen Rändern desselben liegt, deren Länge die Mindestabmessung (m) unterschreitet, als nicht zu verfestigende Stelle gekennzeichnet ist oder als Stelle, der ein verringerter Strahlungsenergiebetrag zuzuführen ist, und/oder für eine Stelle, die außerhalb eines Objektquerschnitts auf einer Verbindungslinie zwischen Rändern liegt, deren Länge die Mindestabmessung (m) unterschreitet, an diese Stelle angrenzende Stellen eines Objektquerschnitts unmittelbar oberhalb und/oder unterhalb als nicht zu verfestigende Stellen gekennzeichnet sind oder als Stellen, denen ein verringerter Strahlungsenergiebetrag zuzuführen ist, Integrieren des zweiten Datensatzes in den Steuerbefehlssatz.

5

GENERATIVES SCHICHTBAUVERFAHREN MIT VERBESSERTER DETAILAUFLÖ-
SUNG UND VORRICHTUNG ZUR DURCHFÜHRUNG DESSELBEN

10

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum schichtweisen Aufbau von dreidimensionalen Objekten mittels generativer Fertigung und eine dazugehörige Vorrichtung. Insbesondere bezieht sich die vorliegende Erfindung auf ein derartiges Verfahren und eine derartige Vorrichtung, durch welche die
15 Detailauflösung bei den hergestellten Objekten verbessert wird.

WO 95/11100 A1 beschreibt ein Lasersinterverfahren als Spezialfall eines generativen Schichtbauverfahrens. Der Bauvorgang
20 läuft normalerweise so ab, dass ein CAD-Modell eines herzustellenden Objekts angefertigt wird, in Schichten zerlegt wird und nachfolgend das Aufbaumaterial schichtweise entsprechend Querschnitten des CAD-Modells verfestigt wird.

25 Zur Verfestigung des pulverförmigen Aufbaumaterials wird in WO 95/11100 A1 Laserstrahlung auf die Pulverschicht gerichtet, wodurch das Aufbaumaterial am Strahlungsaufreffpunkt aufschmilzt und nach einer Abkühlung dann als Festkörper vorliegt. Die Ausdehnung des aufgeschmolzenen Bereichs und der Grad der

Aufschmelzung, also die Abmessungen des so generierten Schmelzbads, können bei dem Verfahren von Ort zu Ort unterschiedlich sein, bedingt durch das unterschiedliche Wärmeableitvermögen der Umgebung an den entsprechenden Positionen. So leitet beispielsweise unverfestigtes Aufbaumaterialpulver Wärme schlechter als bereits verfestigte Bereiche des herzustellenden Objekts.

WO 2013/079581 A1 beschreibt ein Verfahren zur Herstellung von Formkörpern aus Metall- oder Keramikpulver, bei dem die Temperatur am Bestrahlungsort und damit die Aufschmelzbedingungen innerhalb einer Aufbaumaterialschicht homogener gestaltet werden können. Hierzu wird der örtliche Energieeintrag pro Zeiteinheit an einem Bestrahlungsort in Abhängigkeit von dem im Vorhinein berechneten Wärmeableitvermögen eines definierten dreidimensionalen unmittelbaren Umgebungsbereichs des Bestrahlungsortes gewählt.

Bei der Herstellung von filigranen Strukturen ist das in WO 2013/079581 A1 beschriebene Verfahren nur mit Einschränkungen anwendbar, da die zu definierende lokale Umgebung um einen Strahlungsauftreffpunkt herum äußerst klein gewählt werden muss, um die Verhältnisse während des Bauvorgangs widerzuspiegeln. Die Erfinder haben darüber hinaus festgestellt, dass es gerade bei einer geringen Ausdehnung eines Objektdetails senkrecht zu den Aufbaumaterialschichten mit den im Stand der Technik bekannten Vorgehensweisen nur eingeschränkt möglich ist, die anvisierten Bauteildimensionen detailgetreu zu realisieren, wie anhand von Fig. 4a und 4b beschrieben werden soll.

30

Fig. 4a zeigt mehrere übereinandergestapelte, horizontal verlaufende Aufbaumaterialschichten 400. Das Bezugszeichen 401 be-

zeichnet die Kontur eines senkrecht zu den Schichten 400 verlaufenden Querschnitts eines parallel zu den Schichten 400 (senkrecht zur Bildebene verlaufenden) Zylinders mit kreisförmigem Querschnitt. Dabei handelt es sich bei der Kontur 401 um
5 eine im ursprünglichen CAD-Modell festgelegte geplante Kontur des Zylinders. Fig. 4a zeigt mit dem Bezugszeichen 404 die Kontur eines tatsächlich dann in einem generativen Schichtbauverfahren hergestellten Querschnitts des Zylinders. Wie man erkennt, ist der zunächst anvisierte Querschnitt sowohl nach unten als auch nach oben ausgebaucht. Die Ursache hierfür liegt
10 im unzureichenden Wärmeableitvermögen des Pulvers außerhalb des zu verfestigenden Querschnitts, welches sich infolge des Wärmeaustausch durch das mangelnde Wärmeableitvermögen ebenfalls so stark erhitzt, dass es teilweise aufschmilzt und dadurch zu einer Vergrößerung des Zylinderquerschnitts führt, der entsprechend oval und nicht kreisförmig realisiert wird.
15

Ein ähnliches Problem tritt auf, wenn, wie in Fig. 4b gezeigt, ein sich parallel zu den Aufbaumaterialschichten 400 erstreckender Kanal mit kreisförmigem Querschnitt 403 realisiert werden soll. Wie man in Fig. 4b erkennt, ist der mittels Schraffur gekennzeichnete tatsächliche verfestigte Bereich vergrößert, so dass letztendlich nur ein Kanal mit ovalem Querschnitt 404 realisiert werden kann. Wiederum führt das mangelnde Wärmeableitvermögen des unverfestigten Pulvers innerhalb des zu realisierenden Kanals dazu, dass dieses teilweise aufschmilzt.
20
25

Als weiteres Problem kommt noch hinzu, dass bei einer geringen Ausdehnung von Objektabschnitten parallel zu den Schichten
30 durch das mangelnde Wärmeableitvermögen des unverfestigten Pulvers auch ein zusätzliches unerwünschtes Wachstum der Objektabschnitte

schnitte parallel zu den Schichten stattfindet (nicht dargestellt).

Angesichts der geschilderten Probleme ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Ermöglichung der Herstellung von filigranen Objekten mit guter Detailauflösung sowie eine zugehörige Vorrichtung bereitzustellen.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren nach Anspruch 1, ein Verfahren nach Anspruch 11, eine generative Schichtbauvorrichtung nach Anspruch 12, eine Steuereinrichtung nach Anspruch 14 und ein Computerprogramm nach Anspruch 15. Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben. Dabei können Merkmale, die in den Unteransprüchen bzw. in der folgenden Beschreibung im Zusammenhang mit einer Anspruchskategorie erwähnt werden, auch zur Weiterbildung der Gegenstände jeder anderen Anspruchskategorie verwendet werden, es sei denn, dies wird explizit ausgeschlossen.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Bereitstellung eines Steuerbefehlssatzes zur Herstellung mindestens eines dreidimensionalen Objekts mittels einer generativen Schichtbauvorrichtung, wobei in der generativen Schichtbauvorrichtung das mindestens eine Objekt Schicht für Schicht hergestellt wird durch Verfestigung eines formlosen, d.h. pulverförmigen oder flüssigen, Aufbaumaterials an den dem Querschnitt eines Objekts in einer Schicht entsprechenden Stellen durch Zufuhr von Energiestrahlung oder eines Bindemittels zu diesen Stellen, weist mindestens die folgenden Schritte auf:

Bereitstellen eines ersten Datensatzes, in dem für jede einer Mehrzahl von während eines generativen Schichtbauprozesses selektiv zu verfestigenden und unmittelbar übereinanderlie-

genden Aufbaumaterialschichten einem Objektquerschnitt entsprechende Stellen gekennzeichnet sind, an denen eine Verfestigung des Aufbaumaterials stattfinden soll,

5 Ermitteln, ob in einer Schicht die Länge einer zur Schicht parallelen Verbindungslinie zwischen Rändern eines oder mehrerer Objektquerschnitte eine im Vorhinein festgelegte Mindestabmessung unterschreitet,

10 Generieren eines zweiten Datensatzes, welcher sich von dem ersten Datensatz dadurch unterscheidet, dass, wenn für eine Schicht eine Unterschreitung der Mindestabmessung ermittelt wurde, eine Stelle der Schicht, die innerhalb eines Objektquerschnitts auf einer Verbindungslinie zwischen Rändern desselben liegt, deren Länge die Mindestabmessung unterschreitet, als nicht zu verfestigende Stelle gekennzeichnet ist oder als gekennzeichnet ist, der im Vergleich zu anderen Stellen in der Schicht ein verringerter Strahlungsenergiebetrag oder eine verringerte Bindemittelmenge zuzuführen ist, und/oder
15 für eine Stelle der Schicht, die außerhalb eines Objektquerschnitts auf einer Verbindungslinie zwischen Rändern liegt, deren Länge die Mindestabmessung unterschreitet, an diese Stelle angrenzende Stellen eines Objektquerschnitts in der Schicht unmittelbar oberhalb und/oder unterhalb als nicht zu verfestigende Stellen gekennzeichnet sind oder als Stellen gekennzeichnet sind, denen ein verringerter Strahlungsenergiebetrag oder eine
20 verringerte Bindemittelmenge zuzuführen ist,

Integrieren des zweiten Datensatzes in den Steuerbefehlssatz zur Herstellung des mindestens eines dreidimensionalen Objekts mittels der generativen Schichtbauvorrichtung.

30 Durch das erfindungsgemäße Verfahren ist es möglich, auf Basis des (derart modifizierten) Steuerbefehlssatzes filigrane Abschnitte eines Objekts mit geringer Ausdehnung senkrecht zu den

Schichten des Aufbaumaterials mit guter Detailwiedergabe mittels eines generativen Schichtbauverfahrens herzustellen. Insbesondere ist es nicht notwendig, zur Erzielung einer höheren Detailgenauigkeit die Schichtdicke der Aufbaumaterialschichten zu verringern oder gegebenenfalls den Durchmesser eines zur Verfestigung des Aufbaumaterials über eine Schicht verfahrenen Energiestrahls oder Bindemittelstrahls zu verringern. Beides würde zu einer deutlich längeren Herstellungszeit eines Objekts führen.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann im Vorfeld eines Herstellungsprozesses für das mindestens eine Objekt durchgeführt werden, d.h. vor dem Beginn eines solchen Herstellungsprozesses, und/oder es kann auch während, d.h. im Verlauf, eines solchen Herstellungsprozesses erfolgen. Im letzteren Falle können beispielsweise auch während der Herstellung generierte Messwerte aus dem Herstellungsprozess (zusätzliche) Berücksichtigung finden.

Bei der generativen Schichtbauvorrichtung kann es sich beispielsweise um eine selektive Lasersinter- oder -schmelzvorrichtung handeln. Daneben haben die Erfinder erkannt, dass das erfindungsgemäße Vorgehen auch Vorteile in Zusammenhang mit Stereolithographievorrichtungen und 3D-Druckvorrichtungen bietet:

In einer 3D-Druckvorrichtung wird ein pulverförmiges Aufbaumaterial dadurch selektiv verfestigt, dass an zu verfestigenden Stellen ein Bindemittel (z.B. ein Kleber) aufgebracht wird. Dabei kann jedoch das lokal aufgebrachte Bindemittel auch teilweise in das die zu verfestigende Pulverstelle umgebende Material eindringen oder die induzierten Reaktionen im Material

können auch auf die Umgebung übergreifen und in letzterer zumindest eine teilweise Verfestigung bewirken. Auch in diesem Fall können daher die in Figur 4a und 4b dargestellten Abweichungen der Gestalt des hergestellten Objekts von der gewünschten Gestalt auftreten.

In einer Stereolithographievorrichtung wird eine Verfestigung durch selektive Belichtung einer Photopolymerschicht mit Strahlung (insbesondere UV-Strahlung) bewirkt. Die Verfestigung geschieht dabei durch strahlungsinduzierte Vernetzungsvorgänge, ohne dass es zu einem Aufschmelzen des in aller Regel bereits in flüssigem Zustand vorliegenden Photopolymers kommt. Beim Belichten des Photopolymers mit Strahlung kann es allerdings vorkommen, dass Strahlung teilweise auch in eine zu belichtende Stelle umgebende Materialbereiche gelangt oder die induzierten Reaktionen im Material auch auf die Umgebung übergreifen und somit auch dort eine zumindest teilweise Verfestigung bewirkt wird. Auch in diesem Fall können daher die in Figur 4a und 4b dargestellten Abweichungen der Gestalt des hergestellten Objekts von der gewünschten Gestalt auftreten.

Das erfindungsgemäße Verfahren lässt sich besonders vorteilhaft in Zusammenhang mit einer generativen Schichtbauvorrichtung anwenden, bei der ein pulverförmiges Aufbaumaterial verwendet wird und die Verfestigung des Aufbaumaterials mittels Wärmezufuhr zu den dem Querschnitt eines Objekts in einer Schicht entsprechenden Stellen bewerkstelligt wird, indem die Schicht selektiv mit Energiestrahlung abgetastet wird.

Insbesondere in Sinter- und Schmelzverfahren, bei denen Pulvermaterial mittels elektromagnetischer Strahlung oder Teilchenstrahlung zumindest oberflächlich aufgeschmolzen wird, kann

durch das erfindungsgemäße Vorgehen den durch das schlechtere Wärmeableitvermögen des Pulvers hervorgerufenen Problemen, die in der Beschreibungseinleitung geschildert wurden, begegnet werden.

5

Bevorzugt wird die Mindestabmessung in Abhängigkeit von der Dicke der Schicht festgelegt. Hierdurch ist es möglich, das Verfahren gezielt an ein vorgegebenes generatives Schichtbauverfahren anzupassen.

10

Bevorzugt werden für eine Stelle der Schicht, die außerhalb eines Objektquerschnitts auf einer Verbindungslinie zwischen Rändern liegt, deren Länge die Mindestabmessung unterschreitet, in n weiteren Schichten, die an die Schicht unmittelbar oberhalb oder an die Schicht unmittelbar unterhalb angrenzen, Stellen, die oberhalb oder unterhalb der Stelle der Schicht gelegen sind, als nicht zu verfestigende Stellen gekennzeichnet oder als Stellen gekennzeichnet, denen ein verringerter Strahlungsenergiebetrag oder eine verringerte Bindemittelmenge zuzuführen ist, wobei n eine ganze Zahl kleiner 10 ist. Auf diese Weise kann Situationen begegnet werden, in denen das unverfestigte Aufbaumaterial unbeabsichtigt in mehreren an einen zu verfestigenden Abschnitt grenzenden Schichten verfestigt wird.

15

20

25

30

Bevorzugt ist das erfindungsgemäße Verfahren auf Herstellvorgänge anwendbar, bei denen das mindestens eine Objekt einen dreidimensionalen Bereich aufweist, in dem ein dreidimensionales Gitter aus Gitterstäben vorhanden ist, wobei zumindest in einer Schicht innerhalb eines Gitterstabes ermittelt wird, ob die Mindestabmessung (m) unterschritten wird und, falls dies in dieser Schicht der Fall ist, alle Stellen, die in dieser Schicht innerhalb eines Querschnitts durch den Gitterstab auf

einer Verbindungslinie zwischen Rändern des Querschnitts liegen, deren Länge die Mindestabmessung m unterschreitet, als nicht zu verfestigende Stellen gekennzeichnet werden.

- 5 Auch wenn das erfindungsgemäße Verfahren auf beliebige filigrane Abschnitte von herzustellenden Objekten anwendbar ist, so bringt es gerade bei der Herstellung von in einem Objekt vorhandenen Gitterstäben besondere Vorteile. Solche Gitterstäbe können Bestandteil des herzustellenden Objekts selbst sein, wie
10 z.B. eine interne Gitterstruktur. Es kann sich bei den Gitterstäben aber auch um Elemente einer Stützstruktur für das herzustellende Objekt handeln.

- Weiter bevorzugt ist das erfindungsgemäße Verfahren auch auf
15 Herstellvorgänge anwendbar, bei denen das mindestens eine Objekt einen Kanal aufweist, der nicht senkrecht zu den Schichten verläuft, wobei zumindest in einer Schicht innerhalb des Kanals ermittelt wird, ob die Mindestabmessung m unterschritten wird und falls dies in dieser Schicht der Fall ist, für alle Stellen,
20 len, die in dieser Schicht innerhalb des Kanals auf einer Verbindungslinie zwischen Rändern des Kanals in dieser Schicht liegen, deren Länge die Mindestabmessung m unterschreitet, an diese Stellen angrenzende Stellen eines Objektquerschnitts in der Schicht unmittelbar oberhalb und/oder unterhalb als nicht
25 zu verfestigende Stellen gekennzeichnet werden. Insbesondere filigrane Kanäle innerhalb eines Objektes können nämlich mit den bekannten Verfahren oftmals nur unzureichend mit der gewünschten Detailtreue realisierbar sein.

- 30 Ferner ist das erfindungsgemäße Verfahren auch auf Herstellvorgänge anwendbar, bei denen das mindestens eine Objekt mindestens eine unter einem Winkel kleiner 30° zur Senkrechten zu den

Schichten nach oben oder unten ragende Verjüngung, z.B. eine Spitze, aufweist, wobei zumindest in einer Schicht innerhalb der Verjüngung ermittelt wird, ob die Mindestabmessung unterschritten wird und, falls dies in dieser Schicht der Fall ist, alle Stellen, die in dieser Schicht innerhalb eines Querschnitts durch die Verjüngung auf einer Verbindungslinie zwischen Rändern der Verjüngung liegen, deren Länge die Mindestabmessung unterschreitet, als nicht zu verfestigende Stellen gekennzeichnet werden.

10

Außerdem ist das erfindungsgemäße Verfahren auch auf Herstellvorgänge anwendbar, bei denen das mindestens ein Objekt mindestens ein unter einem Winkel kleiner 30° zur Senkrechten zu den Schichten nach oben und/oder unten ragendes sich verjüngendes Sackloch aufweist, wobei zumindest in einer Schicht innerhalb des Sacklochs ermittelt wird, ob die Mindestabmessung unterschritten wird und, falls dies in dieser Schicht der Fall ist, für alle Stellen, die in dieser Schicht innerhalb eines Querschnitts durch das Sackloch auf einer Verbindungslinie zwischen Rändern des Sacklochs liegen, deren Länge die Mindestabmessung unterschreitet, an diese Stellen angrenzende Stellen eines Objektquerschnitts in der Schicht unmittelbar oberhalb und/oder unterhalb als nicht zu verfestigende Stellen gekennzeichnet werden.

25

Die beiden vorangegangenen Verfahrensvarianten machen deutlich, dass es neben Stäben und Kanälen noch weitere Klassen von Filigranelementen gibt, auf die das erfindungsgemäße Verfahren in vorteilhafter Weise anwendbar ist. Gerade bei einem sich verjüngenden Sackloch bzw. einer sich verjüngenden Spitze wird ein Herstellungsverfahren in der Regel an seine Detailausbildungsgrenzen stoßen. Durch das vorliegende Verfahren werden jedoch

30

die jeweiligen Detailauflösungsgrenzen zu kleineren Werten hin verschoben.

Bevorzugt wird bei der Verwendung eines pulverförmiges Aufbau-
5 materials und der Verfestigung des Aufbaumaterials mittels Wär-
mezufuhr zu den dem Querschnitt eines Objekts in einer Schicht
entsprechenden Stellen, indem die Schicht selektiv mit Energie-
strahlung abgetastet wird, die Mindestabmessung in Abhängigkeit
von einer zu erwartenden maximalen Ausdehnung eines durch die
10 Energiestrahlung zu erzeugenden Schmelzbades parallel zur Pul-
verschicht festgelegt.

Die in einer Schicht minimal zu verfestigende Fläche hängt
nicht allein vom Strahldurchmesser der zum Verfestigen einge-
15 brachten Strahlung ab, sondern letztendlich vom Durchmesser des
durch die mittels der Strahlung eingebrachte Wärme in das Auf-
baumaterial erzeugten Schmelzbads, wobei der Schmelzbaddurch-
messer vom Strahldurchmesser abweichen kann, unter anderem,
wenn der Verfestigungsstrahl nicht senkrecht auf eine Schicht
20 auftrifft. Daher wird bei dieser Variante des erfindungsgemäßen
Verfahrens berücksichtigt, dass die Genauigkeit von Abmessungen
senkrecht zu den Aufbaumaterialschichten beeinflusst wird durch
die mögliche Detailauflösung innerhalb einer Aufbaumaterial-
schicht. Beispielsweise kann eine sich verjüngende Spitze an
25 ihrem Ende nicht einen geringeren Durchmesser als den Schmelz-
baddurchmesser aufweisen.

In einer Variante des erfindungsgemäßen Verfahren wird für jene
Stellen eines Objektquerschnitts in einer Schicht, an denen in
30 der unmittelbar darunter- oder darüberliegenden Schicht eine
Verfestigung vorgesehen ist, die Zuführung eines geringeren
Strahlungsenergiebetrags oder einer geringeren Bindemittelmenge

vorgesehen als für die anderen zu verfestigenden Stellen in der Schicht. Hierdurch können beispielsweise filigrane Kanäle innerhalb eines Objektes noch detailgetreuer realisiert werden.

- 5 Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Herstellung mindestens eines dreidimensionalen Objekts mittels einer generativen Schichtbauvorrichtung, die durch einen mit einem erfindungsgemäßen Verfahren erzeugten Steuerbefehlssatz gesteuert wird, wobei in der generativen Schichtbauvorrichtung das mindestens eine Objekt Schicht für Schicht hergestellt wird durch
- 10 Verfestigung eines formlosen Aufbaumaterials an den dem Querschnitt eines Objekts in einer Schicht entsprechenden Stellen durch Zufuhr von Energiestrahlung oder eines Bindemittels zu diesen Stellen, weist mindestens die folgenden Schritte auf:
- 15 einen Auftragsschritt des Bereitstellens einer Schicht eines formlosen Aufbaumaterials auf einer Bauunterlage oder einer bereits vorhandenen Schicht des Aufbaumaterials, einen Verfestigungsschritt des Verfestigens der aufgetragenen Schicht, bei dem die Energiestrahlung oder das Bindemittel auf zu verfestigenden Stellen der Schicht dergestalt ein-
- 20 wirkt, dass das Aufbaumaterial nach der Einwirkung als Festkörper vorliegt, wobei der Auftragsschritt und der Verfestigungsschritt nacheinander so oft wiederholt werden, bis alle Querschnitte des mindestens einen herzustellenden dreidimensionalen Objekts
- 25 verfestigt sind.

Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung mindestens eines dreidimensionalen Objekts wird die detailgenaue

30 Realisierung von filigranen Strukturen ermöglicht, ohne dass der eigentliche Herstellungsvorgang notwendigerweise verlängert wird durch Verringerung der Schichtdicken oder gegebenenfalls

eine Verringerung des Durchmessers eines zur Verfestigung des Aufbaumaterials über eine Schicht verfahrenen Energiestrahls oder Bindemittelstrahls. Damit ist eine schnellere Herstellung von filigranen Objekten möglich.

5

Eine erfindungsgemäße generative Schichtbauvorrichtung zur Herstellung mindestens eines dreidimensionalen Objektes aus einem formlosen, d.h. pulverförmigen oder flüssigen, Aufbaumaterial Schicht für Schicht durch Verfestigung des Aufbaumaterials an den dem Querschnitt eines Objekts in einer Schicht entsprechenden Stellen durch Zufuhr von Energiestrahlung oder eines Bindemittels zu diesen Stellen, weist auf:

10

eine Bauunterlage zum Tragen des zu bildenden Objektes;

15

eine Auftragsvorrichtung zum Aufbringen einer Schicht des Aufbaumaterials auf die Oberfläche der Bauunterlage oder eine bereits vorhandene Schicht,

20

eine Verfestigungsvorrichtung, die Energiestrahlung emittiert oder ein Bindemittel ausstößt und in der Lage ist, allen in einer Schicht zu verfestigenden Stellen die Energiestrahlung oder das Bindemittel so zuzuführen, dass das Aufbaumaterial an diesen Stellen nach der Einwirkung der Energiestrahlung oder des Bindemittels als Festkörper vorliegt, und

25

eine Steuereinrichtung, welche die Auftragsvorrichtung und die Verfestigungsvorrichtung so steuert, dass ein Auftragsschritt und ein Verfestigungsschritt nacheinander so oft wiederholt werden, bis alle Querschnitte des mindestens einen herzustellenden dreidimensionalen Objekts verfestigt sind,

30

wobei die Steuereinrichtung so ausgelegt ist, dass sie ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Bereitstellung eines Steuerbefehlssatzes bzw. zur Herstellung mindestens eines dreidimensionalen Objekts ausführt.

Die erfindungsgemäße generative Schichtbauvorrichtung ist in besonderer Weise dazu ausgelegt, filigrane Abschnitte eines herzustellenden Objekts mit besonders hoher Detailgenauigkeit zu realisieren.

5

In einer Variante der erfindungsgemäßen generativen Schichtbauvorrichtung, bei der ein pulverförmiges Aufbaumaterial verwendet werden kann und die Verfestigungsvorrichtung eine Bestrahlungsvorrichtung ist, welche elektromagnetische Strahlung oder
10 Teilchenstrahlung emittiert, wobei die Bestrahlungsvorrichtung in der Lage ist, alle in einer Schicht zu verfestigenden Stellen so zu bestrahlen, dass die Pulverkörner an diesen Stellen durch die durch die Strahlung eingebrachte Wärmeenergie teilweise oder vollständig aufgeschmolzen werden, so dass sie nach
15 einer Abkühlung miteinander verbunden als Festkörper vorliegen, ist zusätzlich eine Schmelzbadüberwachungseinheit vorhanden, die in der Lage ist, sensorische, insbesondere optische, Informationen über ein Schmelzbad an einem Auftreffpunkt der Strahlung der Bestrahlungsvorrichtung auf eine Schicht des pulver-
20 förmigen Aufbaumaterials zu liefern, wobei die generative Schichtbauvorrichtung ausgebildet ist eine sensorische (insbesondere optische) Information über das Schmelzbad von der Steuereinrichtung für die Festlegung der Mindestabmessung zu verwenden. Diese Variante der erfindungsgemäßen generativen
25 Schichtbauvorrichtung ist ausgelegt, eine optische Information über ein Schmelzbad während des Herstellungsvorgangs zu erfassen. Damit kann die Länge einer Mindestabmessung, die ein wichtiger Parameter zur Verbesserung der Detailgenauigkeit ist, dynamisch während des Herstellungsverfahrens an sich verändernde
30 Prozessbedingungen angepasst werden. Natürlich ist dies nur möglich, wenn auch gleichzeitig der Steuerbefehlssatz während der Herstellung von Objekten geändert werden kann.

Eine erfindungsgemäße Steuereinrichtung zur Aus- und/oder Nachrüstung einer generativen Schichtbauvorrichtung ist so ausgebildet, dass sie ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Bereitstellung eines Steuerbefehlssatzes bzw. zur Herstellung mindestens eines dreidimensionalen Objekts ausführt. Ein erfindungsgemäßes Computerprogramm, das in eine programmierbare Steuereinrichtung und/oder Datenverarbeitungsvorrichtung ladbar ist, weist Programmcodemittel auf, um alle Schritte eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Bereitstellung eines Steuerbefehlssatzes bzw. zur Herstellung mindestens eines dreidimensionalen Objekts auszuführen, wenn das Computerprogramm auf der Steuereinrichtung und/oder der Datenverarbeitungsvorrichtung ausgeführt wird.

Zweckmäßigerweise ist eine erfindungsgemäße Steuereinrichtung getrennt von einer generativen Schichtbauvorrichtung realisierbar. Dadurch ist eine Nachrüstung von bestehenden generativen Schichtbauvorrichtungen in der Weise möglich, dass deren Detailgenauigkeit bei der Herstellung von Objekten erhöht wird. Das erfindungsgemäße Computerprogramm kann in gleicher Weise in bestehenden generativen Schichtbauvorrichtungen nachgerüstet werden. Darüber hinaus ist es möglich, das erfindungsgemäße Computerprogramm auf einem von der generativen Schichtbauvorrichtung räumlich getrennten Rechensystem auszuführen, beispielsweise einem CAD-Entwurfssystem zum Design von herzustellenden Objekten. Weiterhin kann das erfindungsgemäße Computerprogramm auch außerhalb der oftmals mit bestimmten klimatischen Gegebenheiten versehenen Umgebung einer generativen Schichtbauvorrichtung ausgeführt werden. Es ist also dadurch für einen Bediener nicht notwendig, eventuell in der Umgebung der genera-

tiven Schichtbauvorrichtung vorgeschriebene Schutzkleidung zu tragen.

Nachfolgend wird die Erfindung unter Zuhilfenahme der Zeichnungen beschrieben. Von den Figuren zeigen:

Fig. 1 ein Beispiel einer Vorrichtung zur schichtweisen Herstellung von dreidimensionalen Objekten aus einem Pulvermaterial gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 2 einen Querschnitt senkrecht zu den Aufbaumaterialschichten durch einen zylinderförmigen Abschnitt eines herzustellenden Objekts,

Fig. 3 einen Querschnitt senkrecht zu den Aufbaumaterialschichten durch ein herzustellendes Objekt mit einem Kanal,

Fig. 4a einen Querschnitt quer zu den Schichten des Aufbaumaterials eines zylinderförmigen Objektabschnitts zur Erläuterung des Problems des Stands der Technik, und

Fig. 4b einen Querschnitt quer zu den Schichten durch einen Objektabschnitt mit einem Kanal zur Erläuterung eines Problems des Stands der Technik.

Im Folgenden wird zunächst mit Bezug auf Fig. 1 eine Lasersinter- oder -schmelzvorrichtung 1 als Beispiel einer generativen Schichtbauvorrichtung beschrieben, mittels derer das erfindungsgemäße Verfahren zum Herstellen mindestens eines dreidimensionalen Objekts durchgeführt werden kann. Die gezeigte Vor-

richtung ist somit auch ein Beispiel einer erfindungsgemäßen generativen Schichtbauvorrichtung.

Zum Aufbauen eines Objekts 2 enthält die Schichtbauvorrichtung
5 eine Prozesskammer 3 mit einer Kammerwandung 4. In der Prozesskammer 3 ist ein nach oben offener Behälter 5 mit einer Behälterwandung 6 angeordnet. Die vertikale Lage der oberen Öffnung des Behälters 5 definiert eine Arbeitsebene 7, wobei der innerhalb der Öffnung liegende Bereich der Arbeitsebene 7, der zum
10 Aufbau des Objekts 2 verwendet werden kann, als Baufeld 8 bezeichnet wird.

In dem Behälter 5 ist ein in einer vertikalen Richtung V bewegbarer Träger 10 angeordnet, an dem eine Grundplatte 11 ange-
15 bracht ist, die den Behälter 5 nach unten abschließt und damit dessen Boden bildet. Die Grundplatte 11 kann eine getrennt von dem Träger 10 gebildete Platte sein, die an dem Träger 10 befestigt ist, oder sie kann integral mit dem Träger 10 gebildet sein. Je nach verwendetem Pulver und Prozess kann auf der
20 Grundplatte 11 noch eine Bauplattform 12 angebracht sein, auf der das Objekt 2 aufgebaut wird. Das Objekt 2 kann aber auch auf der Grundplatte 11 selber aufgebaut werden, die dann als Bauplattform dient. In Fig. 1 ist das in dem Behälter 5 auf der Bauplattform 12 zu bildende Objekt 2 unterhalb der Arbeitsebene
25 7 in einem Zwischenzustand dargestellt mit mehreren verfestigten Schichten, umgeben von unverfestigt gebliebenem Aufbaumaterial 13.

Die Lasersintervorrichtung 1 enthält weiter einen Vorratsbehälter 14 für ein durch elektromagnetische Strahlung verfestigbares pulverförmiges Aufbaumaterial 15 und einen in einer horizontalen Richtung H bewegbaren Beschichter 16 zum Aufbringen

des Aufbaumaterials 15 auf das Baufeld 8. In der Prozesskammer 3 ist ferner optional eine Strahlungsheizung 17 angeordnet, die zum Beheizen des auf das Baufeld 8 aufgebrachten Aufbaumaterials 15 dient. Die Strahlungsheizung 17 ist beispielsweise als Infrarotstrahler gebildet.

Die Lasersintervorrichtung 1 enthält ferner eine Belichtungs-
vorrichtung 20 mit einem Laser 21, der einen Laserstrahl 22 erzeugt, der über eine Umlenkvorrichtung 23 umgelenkt und durch eine Fokussier-
vorrichtung 24 über ein Einkoppelfenster 25, das an der Oberseite der Prozesskammer 3 in der Kammerwandung 4 angebracht ist, auf die Arbeitsebene 7 fokussiert wird.

Weiter enthält die Lasersintervorrichtung 1 eine Steuereinrichtung 29, über die die einzelnen Bestandteile der Vorrichtung 1 in koordinierter Weise zum Durchführen des Bauprozesses gesteuert werden. Die Steuereinrichtung kann auch teilweise oder ganz außerhalb der Vorrichtung angebracht sein. Die Steuereinrichtung kann eine CPU enthalten, deren Betrieb durch ein Computerprogramm (Software) gesteuert wird. Das Computerprogramm kann getrennt von der Vorrichtung auf einem Speichermedium gespeichert sein, von dem aus es in die Vorrichtung, insbesondere in die Steuereinrichtung geladen werden kann.

Im Betrieb wird zum Aufbringen einer Pulverschicht zunächst der Träger 10 um einen Betrag abgesenkt, der der gewünschten Schichtdicke entspricht. Der Beschichter 16 fährt zunächst zu dem Vorratsbehälter 14 und nimmt aus ihm eine zum Aufbringen einer Schicht ausreichende Menge des Aufbaumaterials 15 auf. Dann fährt er über das Baufeld 8 und bringt dort eine dünne Schicht des pulverförmigen Aufbaumaterials 15 auf. Das Aufbringen erfolgt zumindest über den gesamten Querschnitt des herzu-

stellenden Objekts 2, vorzugsweise über das gesamte Baufeld 8, also den Bereich der Arbeitsebene 7, unterhalb dessen der Träger vertikal abgesenkt wird. Anschließend wird das pulverförmige Aufbaumaterial optional durch die Strahlungsheizung 17 aufgeheizt. Nach Erreichen einer Arbeitstemperatur wird der Querschnitt des herzustellenden Objekts 2 von dem Laserstrahl 22 abgetastet, so dass das pulverförmige Aufbaumaterial 15 an den Stellen verfestigt wird, die dem Querschnitt des herzustellenden Objekts 2 entsprechen. Diese Schritte werden solange wiederholt, bis das Objekt 2 fertiggestellt ist und der Prozesskammer 3 entnommen werden kann.

Als pulverförmiges Aufbaumaterial können alle für das Lasersinter- bzw. -schmelzverfahren geeigneten Pulver bzw. Pulvermischungen verwendet werden. Solche Pulver umfassen z. B. Kunststoffpulver wie Polyamid oder Polystyrol, PAEK (Polyaryl Ether Ketone), Elastomere, wie PEBA (Polyether Block Amide), kunststoffbeschichteten Sand, Keramikpulver oder Metallpulver, z. B. Edelstahlpulver oder andere, an den jeweiligen Zweck angepasste Metallpulver, insbesondere Legierungen.

In der soeben beschriebenen beispielhaften generativen Schichtbauvorrichtung 1 ist die Steuereinrichtung 29 so angepasst, dass das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung mindestens eines dreidimensionalen Objektes in der Schichtbauvorrichtung durchgeführt werden kann.

Ein Herstellvorgang zur Herstellung mindestens eines dreidimensionalen Objektes mittels der Lasersinter- oder -schmelzvorrichtung geht so vonstatten, dass die Steuereinrichtung 29 einen Steuerbefehlssatz abarbeitet, bei dem es sich um Anweisungen handelt, Schichten des Aufbaumaterials nacheinander auf-

zutragen und Bereiche der jeweiligen Schichten, die dem Querschnitt eines herzustellenden Objektes entsprechen, selektiv mit der Laserstrahlung zu bestrahlen. In dem Steuerbefehlssatz sind also Informationen über die innerhalb einer Schicht zu
5 verfestigenden Stellen sowie die Art der Zerlegung des herzustellenden Objektes in Schichten enthalten.

Im Detail basiert der Steuerbefehlssatz auf einem computerbasierten Modell des oder der herzustellenden Objekte, bevorzugt
10 einem CAD-Volumenmodell. Des Weiteren fließen in den Steuerbefehlssatz auch herstellungsspezifische Informationen ein, beispielsweise die Lage und Orientierung der Objekte im Behälter
5. Schließlich ist in dem Steuerbefehlssatz auch die Schichtinformation enthalten, d.h. in welcher Weise das oder die herzustellenden Objekte in Schichten unterteilt sind, die den Auf-
15 baumaterialschichten während der schichtweisen generativen Herstellung entsprechen. Der Steuerbefehlssatz legt für jede Aufbaumaterialschicht während der Herstellung insbesondere die Dicke des Schichtauftrags und die Stellen, an denen durch Strahlungs-
20 lungszufuhr eine Verfestigung des Aufbaumaterials bewirkt werden soll, fest. Insbesondere enthält der Steuerbefehlssatz auch alle zur Steuerung der Belichtungsvorrichtung 20 erforderlichen Daten, wodurch u.a. die Energiedichte der von der Belichtungsvorrichtung 20 emittierten Strahlung 22 und gegebenenfalls
25 die Verfahrensgeschwindigkeit des Strahls über das Baufeld 8 festgelegt werden.

Erfindungsgemäß wird ein Steuerbefehlssatz für eine generative Schichtbauvorrichtung zur Verbesserung der Detailgenauigkeit
30 der hergestellten Objekte angepasst. Hierbei kann ein bereits für den kompletten Herstellungsvorgang des oder der Objekte vorliegender Steuerbefehlssatz abgeändert werden. Denkbar ist

jedoch auch, dass ein dynamisch während des Herstellvorgangs generierter Steuerbefehlssatz erfindungsgemäß abgewandelt wird. Bei einem dynamisch generierten Steuerbefehlssatz ist es möglich, Schicht- und Belichtungsparameter erst dann festzulegen, wenn bereits ein oder mehrere Querschnitte des oder der Objekte in ein oder mehreren vorangegangene Schichten verfestigt wurden. Die vorliegende Erfindung ist sowohl auf den Fall des statisch für den gesamten Herstellvorgang vorliegenden Steuerbefehlssatzes als auch auf den Fall des dynamisch generierten Steuerbefehlssatzes anwendbar. Ein erster Datensatz, auf den erfindungsgemäß zugegriffen wird, muss dementsprechend kein vollständiger Steuerbefehlssatz sein, sondern kann auch nur Teilinformationen aus demselben enthalten. Damit das erfindungsgemäße Verfahren für eine Schicht angewendet werden kann, muss der erste Datensatz zumindest Informationen über die Ausdehnung eines Objektquerschnitts in dieser Schicht enthalten.

Zweckmäßigerweise wird das erfindungsgemäße Verfahren mittels der Steuereinrichtung 29 durchgeführt, welche dann auf der Grundlage des erfindungsgemäß abgewandelten Steuerbefehlssatzes den Herstellungsvorgang mittels der generativen Schichtbauvorrichtung steuert. Allerdings ist es auch möglich, die erfindungsgemäße Abwandlung der Daten außerhalb der generativen Schichtbauvorrichtung durchzuführen, so dass der Steuereinrichtung 29 dann gleich ein erfindungsgemäß abgewandelter Steuerbefehlssatz zugeführt wird. Des Weiteren kann die erfindungsgemäße Abwandlung eines ersten Datensatzes auch an anderer Stelle (auf einem anderen Rechensystem) erfolgen als die Erzeugung eines Steuerbefehlssatzes für den generativen Schichtbauvorgang.

Das erfindungsgemäße Vorgehen wird nachfolgend beispielhaft unter Bezugnahme auf die Figuren 2 und 3 beschrieben.

Bei der Durchführung des generativen Schichtbauverfahrens steuert die Steuereinrichtung 29 wie erwähnt die Belichtungsvorrichtung 20 so an, dass der Laserstrahl 22 genau auf jene Stellen des Baufeldes 8 gerichtet wird, an denen eine Verfestigung stattfinden soll. Erfindungsgemäß wird zunächst in einem ersten Datensatz, beispielsweise einem Steuerbefehlsdatensatz oder einem Datensatz, der Teilinformationen aus einem Steuerbefehlsdatensatz enthält, überprüft, ob eine Länge einer zu einer Schicht parallelen Verbindungslinie zwischen Rändern eines Objektquerschnitts eine im Vorhinein festgelegte Mindestabmessung m unterschreitet.

In Fig. 2 sind zur Veranschaulichung Schichten 200 des Aufbaumaterials dargestellt. Der gestrichelte Kreis 201 stellt die Kontur eines sich senkrecht zur Bildebene erstreckenden Zylinderabschnitts des herzustellenden Objekts dar. Weiterhin ist in Fig. 2 die Mindestabmessung m zu erkennen. Die Lage des Zylinderquerschnitts relativ zu den Aufbaumaterialschichten ist in dem ersten Datensatz definiert. Dort ist also beispielsweise für jede der Schichten $i+3$ bis $i+5$ niedergelegt, wo innerhalb der jeweiligen Schicht eine Verfestigung mittels des Laserstrahls stattfinden soll. Zur Verfestigung des Aufbaumaterials genau innerhalb der Kontur 201 muss die Laserstrahlung auf die entsprechenden Stellen der jeweiligen Schichten gerichtet werden. In Fig. 2 ist dies schematisch durch eingezeichnete kreisförmige Schmelzbaddurchmesser gezeigt, welche das durch Richten des Laserstrahls auf einen Punkt einer Schicht in dieser Schicht erzeugte Schmelzbad aus aufgeschmolzenem Aufbaumaterial veranschaulichen.

Wie man in Fig. 2 erkennt, hat der Schmelzbaddurchmesser 205 eine von Null verschiedene Ausdehnung. Wenn also der Laserstrahl (und mit ihm der Schmelzbaddurchmesser) über alle zu verfestigenden Stellen innerhalb der Kontur 201 bewegt wird, so ist es schwierig durch Verschieben des Schmelzbaddurchmessers 205 die kreisförmige Kontur korrekt wiederzugeben, selbst wenn man den Laserstrahl auf Bereiche nahe der Kontur nicht richtet, also der Strahl gegenüber der Kontur stets um einen bestimmten Betrag, den sogenannten „beam offset“, zum Innern des Objektquerschnitts hin versetzt ist.

Erfindungsgemäß wird nun festgelegt, dass in der Schicht $i+2$ überhaupt keine Verfestigung mit dem Laserstrahl durchgeführt wird, da in dieser Schicht die Ausdehnung des zu verfestigenden Bereichs innerhalb der Kontur 201 die Mindestabmessung m unterschreitet. (In der Schicht $i+5$ wird die Mindestabmessung noch nicht unterschritten). Erfindungsgemäß wird ein zum ersten Datensatz identischer zweiter Datensatz erzeugt, in dem jedoch die entsprechenden Stellen in der Schicht $i+2$ als nicht zu verfestigende Stellen gekennzeichnet sind. Der bei dem generativen Schichtbauverfahren zur Herstellung des Zylinderabschnitts verwendete Steuerbefehlssatz wird auf der Grundlage dieses zweiten Datensatzes erzeugt.

Das unterhalb der Schicht $i+3$ vorhandene unverfestigte Pulver, das schlecht die Wärme ableitet, wird trotz der unterlassenen Bestrahlung teilweise aufschmelzen, so dass trotz einer unterlassenen Wärmezufuhr durch die Laserstrahlung zur Schicht $i+2$ dennoch das Material in der Schicht $i+2$ dergestalt aufgeschmolzen wird, dass der verfestigte Bereich annähernd die kreisförmige Kontur 201 wiedergibt. Es sei hier angemerkt, dass in Fig.

2 aus Gründen der Übersichtlichkeit auf eine Schraffur des verfestigten Bereichs (wie in Fig. 4a und 4b) verzichtet wurde.

Fig. 3 zeigt als weiteres Beispiel den Fall der Herstellung eines Objekts, welches einen Kanal mit kreisförmigem Querschnitt parallel zu den Aufbaumaterialschichten aufweist. In Fig. 3 sind die Aufbaumaterialschichten i bis $i+7$ wiederum mit dem Bezugszeichen 200 versehen. Die Kontur 203 des kreisförmigen Querschnitts liegt in den Schichten $i+2$ bis $i+6$. Der sich durch Richten des Laserstrahls auf das Baufeld 8 in einer Pulverschicht ergebende Schmelzbaddurchmesser ist mit dem Bezugszeichen 205 versehen. Obwohl dies in Fig. 3 nicht mittels Schraffur gekennzeichnet ist, sollen alle außerhalb der Kontur 203 liegenden Stellen der Schichten i bis $i+7$ verfestigt werden. Beispielsweise sollen die in der Schicht $i+4$ links und rechts an die Kontur 203 angrenzenden Schmelzbaddurchmesser stellvertretend für eine Vielzahl von Schmelzbaddurchmessern stehen, welche alle Stellen der in Fig. 3 gezeigten Schicht $i+4$ außerhalb der Kontur 203 verfestigen. Es sei bemerkt, dass eine Verfestigung von Aufbaumaterial dadurch stattfindet, dass dem Aufbaumaterial durch Bestrahlen Wärme zugeführt wird, so dass dieses teilweise oder vollständig an der bestrahlten Stelle aufschmilzt, wodurch sich ein Schmelzbad bildet. Die eigentliche Verfestigung findet dann statt, wenn es nach dem Aufschmelzen wieder zu einer Abkühlung des Schmelzbades kommt, wodurch an den aufgeschmolzenen Stellen es zu einer Verbindung der Pulverpartikel kommt, so dass nach dem Abkühlen ein Festkörper vorliegt.

Erfindungsgemäß wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren, welches mittels Fig. 3 veranschaulicht wird, wie bei dem Verfahren gemäß Fig. 2 anhand eines ersten Datensatzes ermittelt, ob in

den jeweiligen Schichten eine Länge einer zur Schicht parallelen Verbindungslinie zwischen Rändern eines Objektquerschnitts eine Mindestabmessung m unterschreitet. Bei dem Verfahren gemäß Fig. 3 wird also ermittelt, ob in einer horizontalen Richtung

5 die Ausdehnung des durch die Kontur 203 begrenzten Kreises die Mindestabmessung m unterschreitet. Im Beispiel der Fig. 3 wird für die Schichten $i+5$ und $i+2$ eine Unterschreitung der Mindestabmessung ermittelt. Theoretisch könnte man zwar auch für die Schicht $i+6$ eine Unterschreitung der Mindestabmessung fest-

10 stellen. In dem Beispiel der Fig. 3 erstreckt sich die Kontur 203 aber nicht einmal bis zur halben Schichtdicke der Schicht $i+6$. Daher wurde in diesem Beispiel angenommen, dass die Schicht $i+6$ als nicht zu verfestigende Schicht anzusehen ist.

15 Erfindungsgemäß wird nun für alle Schichten mit Unterschreitung der Mindestabmessung m wie folgt vorgegangen:

Für alle Stellen einer Schicht, an denen eine Unterschreitung der Mindestabmessung vorliegt, wird an den in der unmittelbar

20 darunter oder darüber liegenden Schicht vorhandenen angrenzenden Stellen keine Verfestigung durchgeführt. Man erkennt dies in Fig. 3 beispielsweise an der Schicht $i+1$ und der Schicht $i+7$.

25 Obwohl in den Schichten $i+1$ und $i+7$ an einigen Stellen keine Verfestigung durchgeführt wird, kann die Kontur 203 dennoch mit annähernd kreisförmiger Gestalt realisiert werden, da das in den Schichten $i+1$ und $i+7$ an den entsprechenden Stellen vorhandene unverfestigte Aufbaumaterial Wärme schlecht leitet, so

30 dass es an diesen Stellen zu einem Aufschmelzen des Aufbaumaterials kommt.

Obwohl das erfindungsgemäße Verfahren anhand eines kreisförmigen zu verfestigenden Zylinders bzw. eines kreisförmigen Kanals innerhalb eines Objekts beschrieben wurde, ist das Verfahren natürlich auf beliebige Objektgestalten anwendbar. Als weitere
5 Beispiele für Objektabschnitte, die detailgetreu realisiert werden können, seien, ohne beschränkend sein zu wollen, folgende Beispiele genannt:

Sowohl der Zylinder mit Kontur 201 in Fig. 2 als auch der Kanal
10 mit Kontur 203 in Fig. 3 müssen nicht zwangsläufig parallel zu den Schichten 200 verlaufen. Es ist genausogut möglich, Verbesserungen in der Detailauflösung zu erreichen, wenn der Zylinderabschnitt (beispielsweise ein Abschnitt eines Gitterstabes) oder der Kanal schräg zu den Schichten verlaufen, also einen
15 Winkel zu den Schichten einnehmen. Der Winkel zum horizontalen Schichtverlauf kann dabei irgendein Winkel zwischen 0° und 90° sein, beispielsweise 5° , 10° , 20° , 30° , etc. Ferner können sowohl der Zylinder als auch der Kanal in ihrem Verlauf die Richtung ändern, also sich beispielsweise durch den Bauraum schlängeln oder beispielsweise helixartig durch den Bauraum laufen.
20 Des Weiteren können natürlich auch der Zylinder oder der Kanal an unterschiedlichen Stellen einen unterschiedlichen Durchmesser aufweisen.

25 Mit dem erfindungsgemäßen Vorgehen ist insbesondere auch die detailgetreue Realisierung von Innengewinden oder Außengewinden möglich, ohne dass nach dem Herstellungsvorgang mittels eines generativen Schichtbauvorgangs noch ein Nachschneiden des Gewindes notwendig ist.

30

Besonders hohe Anforderungen an die Detailgenauigkeit treten auch bei sich verjüngenden Spitzen (generell bei Verjüngungen,

also sich verjüngenden Abschnitten) und sich verjüngenden Sacklöchern auf. Bei solchen Objektdetails kann in gleicher Weise vorgegangen werden, wie es anhand von Fig. 2 bzw. Fig. 3 beschrieben wurde.

5

Ferner kann es bei einem herzustellenden dreidimensionalen Objekt auch "Engstellen" geben, bei denen verschiedene Abschnitte des Objekts einander so nahe kommen, dass nur ein sehr kleiner Zwischenraum verbleibt. Solch ein Fall ist gleichzusetzen mit einem Kanal geringen Querschnitts, so dass in ähnlicher Weise wie in Fig. 3 vorgegangen werden kann.

10

Der Wert der Mindestabmessung m wird zweckmäßigerweise abhängig von der Wärmeleitfähigkeit des verwendeten Aufbaumaterials festgelegt. Je größer die Wärmeleitfähigkeit ist, desto besser wird Wärme von der bestrahlten Stelle abgeleitet, so dass weniger an die bestrahlte Stelle angrenzendes Aufbaumaterial, das eigentlich nicht verfestigt werden soll, aufgeschmolzen wird. Die Erfinder haben herausgefunden, dass der durch die Strahlung erzeugte Schmelzbaddurchmesser ein guter Richtwert für die zu wählende Mindestabmessung m sein kann. Je weiter sich ein Schmelzbaddurchmesser in andere Aufbaumaterialschichten erstreckt, desto größer ist der Einfluss auf eigentlich nicht zu verfestigendes Aufbaumaterial und desto größer sollte auch die Mindestabmessung gewählt werden. Ist der Schmelzbaddurchmesser im Vergleich zur Schichtdicke groß, so kann es bei der Realisierung von Hohlräumen, wie z.B. Kanälen, unter Umständen erforderlich sein, nicht nur angrenzende Stellen der unmittelbar darüber- oder darunterliegenden Schicht von der Bestrahlung auszunehmen, sondern auch Stellen in der "übernächsten" Schicht, etc.

15

20

25

30

Ein zu erwartender repräsentativer Schmelzbaddurchmesser kann, so es sich nicht um einen Erfahrungswert handelt, empirisch ermittelt werden, einerseits durch Vorversuche vor einem Herstellungsvorgang, andererseits durch laufende Überwachung des Schmelzbaddurchmessers während eines Herstellvorgangs von Objekten. Eine generative Schichtbauvorrichtung gemäß der Erfindung, auf der das erfindungsgemäße Verfahren abläuft, enthält bevorzugt eine Schmelzbadüberwachungseinheit 39, die in der Lage ist, sensorische, beispielsweise optische Informationen über ein Schmelzbad an einem Auftreffpunkt der zur Verfestigung des Aufbaumaterials verwendeten Strahlung auf eine Pulverschicht zu liefern. Bei der Schmelzbadüberwachungseinheit 39 handelt es sich beispielsweise um einen Sensor, der auf eine bestrahlte Stelle gerichtet werden kann und die vom Schmelzbad emittierte elektromagnetische Strahlung (sichtbares Licht und/oder Infrarotstrahlung) erfassen und weiterverarbeiten kann. Beispielsweise kann ein Bild des Schmelzbades aufgenommen werden, anhand dessen ein Schmelzbaddurchmesser ermittelt wird. Der Schmelzbaddurchmesser wird vorzugsweise an einer Referenzstelle ermittelt, an welcher ein ähnlicher Schmelzbaddurchmesser zu erwarten ist, wie an den Stellen, an denen filigrane Objektabschnitte realisiert werden sollen. Der Schmelzbaddurchmesser ist dabei abhängig vom Material und von der in das Material pro Flächeneinheit eingetragenen Wärme. Üblicherweise liegt der Schmelzbaddurchmesser bei 80 bis 300 μm .

Es sei an dieser Stelle betont, dass die kreisförmige (bzw. kugelförmige) Darstellung des Schmelzbades in den Figuren lediglich schematisch ist. In der Realität wird die Gestalt des Schmelzbades von der Kugelform abweichen. Ferner kann die Gestalt des Schmelzbades auch innerhalb einer Aufbaumaterialschicht variieren in Abhängigkeit davon, zu welchem Grade in

der Umgebung der jeweiligen Stelle unverfestigtes Aufbaumaterial vorliegt. Aus diesem Grunde ist weiter oben erwähnt, dass der Schmelzbaddurchmesser an einer Referenzstelle bestimmt wird, welche als repräsentativ angesehen wird. Es hat sich gezeigt, dass durch die Verwendung solch einer repräsentativen Referenzstelle und die Annahme eines repräsentativen kugelförmigen Schmelzbades die zu verwendende Mindestabmessung m mit guter Genauigkeit festgelegt werden kann.

10 Auch wenn bislang oftmals von einem "Strahldurchmesser" die Rede war, so ist die Erfindung auch auf generative Schichtbauvorrichtungen anwendbar, bei denen die elektromagnetische Strahlung nicht in Form eines "Strahls", sondern flächig bzw. linienförmig eingebracht wird. Der Schmelzbaddurchmesser hat entsprechend eine flächige bzw. linienförmige Gestalt.

Bei einer Abwandlung der Erfindung wird das dreidimensionale computerbasierte Modell eines herzustellenden Objekts vor der Zerlegung in Schichten um einen bestimmten Prozentsatz in z-Richtung (also in einer Richtung senkrecht zur Schichtung) gestreckt. Wenn dann gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren an einigen Stellen nicht belichtet wird und dadurch beispielsweise eine parallel zu den Schichten verlaufende runde Strebe zu abgeplattet ist, wird diese Abplattung durch die vorhergehende Streckung in z-Richtung kompensiert.

In einer weiteren Abwandlung des erfindungsgemäßen Vorgehens wird bei Unterschreiten der Mindestabmessung nicht auf eine Belichtung an den oben definierten entsprechenden Stellen verzichtet. Vielmehr wird an den oben definierten entsprechenden Stellen (also Stellen innerhalb eines Objektquerschnitts auf einer Verbindungslinie zwischen Rändern desselben oder Stellen

in einer Schicht unmittelbar oberhalb oder unterhalb der Schicht, in der eine Unterschreitung der Mindestabmessung festgestellt wurde, falls die Mindestabmessung außerhalb eines Objektquerschnitts festgestellt wurde) ein geringerer Wärmeenergiebetrag zugeführt als den anderen zu verfestigenden Stellen. Mit anderen Worten, den betreffenden Stellen wird beispielsweise nur 80% des den anderen Stellen innerhalb des Objektquerschnitts zugeführten Wärmeenergiebetrags zugeführt, denkbar sind jedoch auch andere Prozentsätze, wie z.B. 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 90%, etc.

Obwohl weiter oben erwähnt wurde, dass erfindungsgemäß bei Unterschreiten einer Mindestabmessung eine Belichtung in der unmittelbar darunterliegenden oder darüberliegenden Schicht an den angrenzenden Stellen unterlassen wird oder an diesen Stellen ein geringerer Wärmeenergiebetrag eingetragen wird, kann in einer Abwandlung der Erfindung auch noch in weiteren Schichten (beispielsweise der übernächsten darüberliegenden oder darunterliegenden Schicht) die Belichtung unterlassen bzw. verringert werden. Ob solch ein Vorgehen sinnvoll ist, hängt beispielsweise vom Wärmeleitvermögen des unverfestigten Aufbaumaterials ab.

Zusätzlich zum erfindungsgemäßen Vorgehen können auch weitere Maßnahmen getroffen werden, die zu einer möglichst geringen Ausdehnung eines verfestigten Objektabschnitts in einer Pulverschicht führen. Beispielsweise kann der Auftreffbereich der Strahlung bezogen auf den Rand eines zu verfestigenden Objektquerschnitts nach innen versetzt werden, so dass lediglich der Rand des Auftreffbereichs und nicht dessen Mitte den Rand des Objektquerschnitts berührt bzw. schneidet. Abschnitte eines Objektquerschnitts mit sehr geringem Durchmesser parallel zur

Aufbaumaterialschicht lassen sich des Weiteren auch durch eine "Punktbelichtung" verfestigen, bei welcher wie folgt vorgegangen wird:

- 5 Zur Verfestigung eines Abschnitts des Objektquerschnitts wird die Strahlung nur auf eine einzige Stelle innerhalb dieses Abschnitts gerichtet. Es bildet sich dann ein Schmelzbad aus, dessen Abmessungen den minimal möglichen zu verfestigenden Durchmesser eines Abschnitts des Objektquerschnitts festlegt.
- 10 Auch wenn der zu verfestigende Durchmesser des Abschnitts des Objektquerschnitts größer als dieser Minimaldurchmesser ist, kann dennoch durch Verfestigung lediglich einer einzigen Stelle innerhalb des Abschnitts des Objektquerschnitts der Abschnitt verfestigt werden. Hierzu wird lediglich die Verweildauer des
- 15 Bestrahlungsflecks innerhalb des Abschnitts auf der einzigen Stelle des Abschnitts vergrößert. Durch die längere Einwirkzeit der Strahlung an ein und derselben Stelle resultiert ein Schmelzbad mit vergrößertem Durchmesser.
- 20 Die vorliegende Erfindung lässt sich insbesondere vorteilhaft für die Herstellung von Objekten anwenden, die filigrane Abschnitte aufweisen. Ein filigraner Abschnitt im Sinne der Erfindung ist dabei insbesondere ein Abschnitt des Objekts, dessen Ausdehnung in z-Richtung (also senkrecht zu den Schichten)
- 25 geringer als das 10-fache der Schichtdicke, bevorzugt das 4- bis 6-fache der Schichtdicke beträgt.

Auch wenn bislang stets die Erfindung in Zusammenhang mit Lasersinter- oder -schmelzvorrichtungen beschrieben wurde, kann

30 dennoch die Erfindung in gleicher Weise auch in Zusammenhang mit generativen Schichtbauverfahren angewandt werden, bei denen eine andere Strahlungsquelle als ein Laser zum Einbringen der

Strahlung zum Verfestigen verwendet wird (beispielsweise ein Flächenstrahler oder aber auch eine Teilchenstrahlungsquelle).

Wie bereits weiter oben erwähnt wurde, ist aber auch eine Anwendung in Zusammenhang mit anderen generativen Schichtbauverfahren möglich, bei denen ein formloses, d.h. pulverförmiges

oder flüssiges Aufbaumaterial verwendet wird, z.B. in 3D-Druckverfahren oder aber auch in Stereolithographieverfahren.

Auch in diesen Verfahren wird ein Herstellungsvorgang in einer entsprechenden generativen Schichtbauvorrichtung von einem Steuerbefehlssatz gesteuert, der für jede einer Mehrzahl von

selektiv zu verfestigenden Schichten die zu verfestigenden Stellen vorgibt. Auch in diesen Verfahren führt die erfindungsgemäße Bereitstellung des Steuerbefehlssatzes zu einer Herstellung von filigranen Objekten mit guter Detailauflösung.

Alle beschriebenen Variationen und Abwandlungen der Erfindung sind daher nicht auf das jeweils explizit genannte generative Schichtbauverfahren bzw. die entsprechende -vorrichtung beschränkt, sondern können auch in allen anderen erwähnten generativen Schichtbauvorrichtungen und -verfahren, bei denen ein formloses Aufbaumaterial verarbeitet wird, zum Einsatz kommen.

Patentansprüche

5 1. Verfahren zur Bereitstellung eines Steuerbefehlssatzes zur Herstellung mindestens eines dreidimensionalen Objekts (2) mittels einer generativen Schichtbauvorrichtung, wobei in der generativen Schichtbauvorrichtung das mindestens eine Objekt Schicht für Schicht hergestellt wird durch Verfestigung eines
10 formlosen Aufbaumaterials an den dem Querschnitt eines Objekts in einer Schicht entsprechenden Stellendurch Zufuhr von Energiestrahlung oder eines Bindemittels zu diesen Stellen, wobei das Verfahren mindestens die folgenden Schritte aufweist:

Bereitstellen eines ersten Datensatzes, in dem für jede
15 einer Mehrzahl von während eines generativen Schichtbauprozesses selektiv zu verfestigenden und unmittelbar übereinanderliegenden Aufbaumaterialschichten (200) einem Objektquerschnitt entsprechende Stellen gekennzeichnet sind, an denen eine Verfestigung des Aufbaumaterials (15) stattfinden soll,

20 Ermitteln, ob in einer Schicht die Länge einer zur Schicht parallelen Verbindungslinie zwischen Rändern eines oder mehrerer Objektquerschnitte eine im Vorhinein festgelegte Mindestabmessung (m) unterschreitet,

25 Generieren eines zweiten Datensatzes, welcher sich von dem ersten Datensatz dadurch unterscheidet,

dass, wenn für eine Schicht (200) eine Unterschreitung der Mindestabmessung (m) ermittelt wurde, eine Stelle der Schicht, die innerhalb eines Objektquerschnitts auf einer Verbindungslinie zwischen Rändern desselben liegt, deren Länge die
30 Mindestabmessung (m) unterschreitet, als nicht zu verfestigende Stelle gekennzeichnet ist oder als Stelle gekennzeichnet ist, der im Vergleich zu anderen Stellen in der Schicht ein verrin-

gerter Strahlungsenergiebetrag oder eine verringerte Bindemittelmenge zuzuführen ist, und/oder

für eine Stelle der Schicht, die außerhalb eines Objektquerschnitts auf einer Verbindungslinie zwischen Rändern liegt, deren

5 Länge die Mindestabmessung (m) unterschreitet, an diese Stelle angrenzende Stellen eines Objektquerschnitts in der Schicht unmittelbar oberhalb und/oder unterhalb als nicht zu verfestigende Stellen gekennzeichnet sind oder als Stellen gekennzeichnet sind, denen ein verringerter Strahlungsenergiebetrag oder eine verringerte Bindemittelmenge zuzuführen ist,

10 Integrieren des zweiten Datensatzes in den Steuerbefehlssatz zur Herstellung des mindestens eines dreidimensionalen Objekts mittels der generativen Schichtbauvorrichtung.

15 2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei in der generativen Schichtbauvorrichtung ein pulverförmiges Aufbaumaterial (15) verwendet wird und die Verfestigung des Aufbaumaterials mittels Wärmezufuhr zu den dem Querschnitt eines Objekts in einer Schicht entsprechenden Stellen bewerkstelligt wird, indem die

20 Schicht selektiv mit Energiestrahlung (22) abgetastet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Mindestabmessung (m) in Abhängigkeit von der Dicke (d) der Schicht festgelegt wird.

25

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem für eine Stelle der Schicht (200), die außerhalb eines Objektquerschnitts auf einer Verbindungslinie zwischen Rändern liegt, deren Länge die Mindestabmessung (m) unterschreitet, in n weiteren Schichten, die an die Schicht unmittelbar oberhalb oder

30 an die Schicht unmittelbar unterhalb angrenzen, Stellen, die oberhalb oder unterhalb der Stelle der Schicht gelegen sind,

als nicht zu verfestigende Stellen gekennzeichnet werden oder als Stellen gekennzeichnet werden, denen ein verringerter Strahlungsenergiebetrag oder eine verringerte Bindemittelmenge zuzuführen ist, wobei n eine ganze Zahl kleiner 10 ist.

5

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das mindestens eine Objekt einen dreidimensionalen Bereich aufweist, in dem ein dreidimensionales Gitter aus Gitterstäben (201) vorhanden ist, wobei zumindest in einer Schicht innerhalb
10 eines Gitterstabes ermittelt wird, ob die Mindestabmessung (m) unterschritten wird und, falls dies in dieser Schicht der Fall ist, alle Stellen, die in dieser Schicht innerhalb eines Querschnitts durch den Gitterstab (201) auf einer Verbindungslinie zwischen Rändern des Querschnitts liegen, deren Länge die Mindestabmessung (m) unterschreitet, als nicht zu verfestigende
15 Stellen gekennzeichnet werden.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das mindestens eine Objekt einen Kanal (203) aufweist, der
20 nicht senkrecht zu den Schichten verläuft, wobei zumindest in einer Schicht innerhalb des Kanals ermittelt wird, ob die Mindestabmessung (m) unterschritten wird und falls dies in dieser Schicht der Fall ist, für alle Stellen, die in dieser Schicht innerhalb des Kanals auf einer Verbindungslinie zwischen Rändern des Kanals in dieser Schicht liegen, deren Länge die Mindestabmessung (m) unterschreitet, an diese Stellen angrenzende
25 Stellen eines Objektquerschnitts in der Schicht unmittelbar oberhalb und/oder unterhalb als nicht zu verfestigende Stellen gekennzeichnet werden.

30

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das mindestens eine Objekt mindestens eine unter einem Winkel

kleiner 30° zur Senkrechten zu den Schichten nach oben oder unten ragende Verjüngung aufweist,

wobei zumindest in einer Schicht innerhalb der Verjüngung ermittelt wird, ob die Mindestabmessung unterschritten wird und, falls dies in dieser Schicht der Fall ist, alle Stellen, die in dieser Schicht innerhalb eines Querschnitts durch die Verjüngung auf einer Verbindungslinie zwischen Rändern der Verjüngung liegen, deren Länge die Mindestabmessung (m) unterschreitet, als nicht zu verfestigende Stellen gekennzeichnet werden.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das mindestens eine Objekt mindestens ein unter einem Winkel kleiner 30° zur Senkrechten zu den Schichten nach oben und/oder unten ragendes sich verjüngendes Sackloch aufweist,

wobei zumindest in einer Schicht innerhalb des Sacklochs ermittelt wird, ob die Mindestabmessung (m) unterschritten wird und, falls dies in dieser Schicht der Fall ist, für alle Stellen, die in dieser Schicht innerhalb eines Querschnitts durch das Sackloch auf einer Verbindungslinie zwischen Rändern des Sacklochs liegen, deren Länge die Mindestabmessung (m) unterschreitet, an diese Stellen angrenzende Stellen eines Objektquerschnitts in der Schicht unmittelbar oberhalb und/oder unterhalb als nicht zu verfestigende Stellen gekennzeichnet werden.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem ein pulverförmiges Aufbaumaterial (15) verwendet wird und die Verfestigung des Aufbaumaterials mittels Wärmezufuhr zu den dem Querschnitt eines Objekts in einer Schicht entsprechenden Stellen bewerkstelligt wird, indem die Schicht selektiv mit Energiestrahlung (22) abgetastet wird, wobei die Mindestabmessung

(m) in Abhängigkeit von einer zu erwartenden maximalen Ausdehnung eines durch die Energiestrahlung zu erzeugenden Schmelzbaudes (205) parallel zur Pulverschicht festgelegt wird.

5 10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem für jene Stellen eines Objektquerschnitts in einer Schicht, an denen in der unmittelbar darunter- oder darüberliegenden Schicht eine Verfestigung vorgesehen ist, die Zuführung eines geringeren Strahlungsenergiebetrags oder einer geringeren Bindemittelmenge vorgesehen wird als für die anderen zu verfestigenden Stellen in der Schicht.

11. Verfahren zur Herstellung mindestens eines dreidimensionalen Objekts mittels einer generativen Schichtbauvorrichtung,
15 die durch einen mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10 erzeugten Steuerbefehlssatz gesteuert wird,

wobei in der generativen Schichtbauvorrichtung das mindestens eine Objekt (2) Schicht für Schicht hergestellt wird durch Verfestigung eines formlosen Aufbaumaterials (15) an den dem
20 Querschnitt eines Objekts in einer Schicht entsprechenden Stellen durch Zufuhr von Energiestrahlung oder eines Bindemittels zu diesen Stellen und das Verfahren mindestens die folgenden Schritte aufweist:

einen Auftragsschritt des Bereitstellens einer Schicht
25 (200) eines formlosen Aufbaumaterials (15) auf einer Bauunterlage (11, 12) oder einer bereits vorhandenen Schicht des Aufbaumaterials,

einen Verfestigungsschritt des Verfestigens der aufgetragenen Schicht, bei dem die Energiestrahlung oder das Bindemittel
30 lauf zu verfestigende Stellen der Schicht dergestalt einwirkt, dass das Aufbaumaterial nach der Einwirkung als Festkörper vorliegt,

wobei der Auftragsschritt und der Verfestigungsschritt nacheinander so oft wiederholt werden, bis alle Querschnitte des mindestens einen herzustellenden dreidimensionalen Objekts verfestigt sind.

5

12. Generative Schichtbauvorrichtung zur Herstellung mindestens eines dreidimensionalen Objektes aus einem formlosen Aufbaumaterial Schicht für Schicht durch Verfestigung des Aufbaumaterials an den dem Querschnitt eines Objekts in einer Schicht entsprechenden Stellen durch Zufuhr von Energiestrahlung oder eines Bindemittels zu diesen Stellen, wobei die Vorrichtung aufweist:

eine Bauunterlage (11, 12) zum Tragen des zu bildenden Objektes (2);

15 eine Auftragsvorrichtung (14, 16) zum Aufbringen einer Schicht des Aufbaumaterials auf die Oberfläche der Bauunterlage (11, 12) oder eine bereits vorhandene Schicht,

eine Verfestigungsvorrichtung (20), die Energiestrahlung emittiert oder ein Bindemittel ausstößt und in der Lage ist, allen in einer Schicht zu verfestigenden Stellen die Energiestrahlung oder das Bindemittel so zuzuführen, dass das Aufbaumaterial an diesen Stellen nach der Einwirkung der Energiestrahlung oder des Bindemittels als Festkörper vorliegt, und

20 eine Steuereinrichtung (29), welche die Auftragsvorrichtung (14, 16) und die Verfestigungsvorrichtung (20) so steuert, dass ein Auftragsschritt und ein Verfestigungsschritt nacheinander so oft wiederholt werden, bis alle Querschnitte des mindestens einen herzustellenden dreidimensionalen Objekts verfestigt sind,

30 wobei die Steuereinrichtung (29) so ausgelegt ist, dass sie ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10 und/oder ein Verfahren nach Anspruch 11 ausführt.

13. Generative Schichtbauvorrichtung nach Anspruch 12, bei der
ein pulverförmiges Aufbaumaterial verwendet werden kann
und die Verfestigungsvorrichtung (20) eine Bestrahlungsvorrich-
5 tung ist, welche elektromagnetische Strahlung oder Teilchen-
strahlung (22) emittiert, wobei die Bestrahlungsvorrichtung in
der Lage ist, alle in einer Schicht zu verfestigenden Stellen
so zu bestrahlen, dass die Pulverkörner an diesen Stellen durch
die durch die Strahlung eingebrachte Wärmeenergie teilweise o-
10 der vollständig aufgeschmolzen werden, so dass sie nach einer
Abkühlung miteinander verbunden als Festkörper vorliegen und
zusätzlich eine Schmelzbadüberwachungseinheit (39) vorhan-
den ist, die in der Lage ist, sensorische, insbesondere opti-
sche, Informationen über ein Schmelzbad an einem Auftreffpunkt
15 der Strahlung der Bestrahlungsvorrichtung (20) auf eine Schicht
des pulverförmigen Aufbaumaterials zu liefern, wobei die gene-
rative Schichtbauvorrichtung ausgebildet ist, eine sensorische
Information über das Schmelzbad von der Steuereinrichtung (29)
für die Festlegung der Mindestabmessung (m) zu verwenden.

20

14. Steuereinrichtung (29) zur Aus- und/oder Nachrüstung einer
generativen Schichtbauvorrichtung gemäß einem der Ansprüche 12
oder 13,

wobei die Steuereinrichtung so ausgebildet ist, dass sie
25 ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10 und/oder ein
Verfahren nach Anspruch 11 ausführt.

15. Computerprogramm, das in eine programmierbare Steuerein-
richtung und/oder Datenverarbeitungsvorrichtung ladbar ist, mit
30 Programmcodemitteln, um alle Schritte eines Verfahrens gemäß
einem der Ansprüche 1 bis 10 und/oder eines Verfahrens nach An-
spruch 11 auszuführen, wenn das Computerprogramm auf der Steu-

ereinrichtung und/oder der Datenverarbeitungsvorrichtung ausgeführt wird.

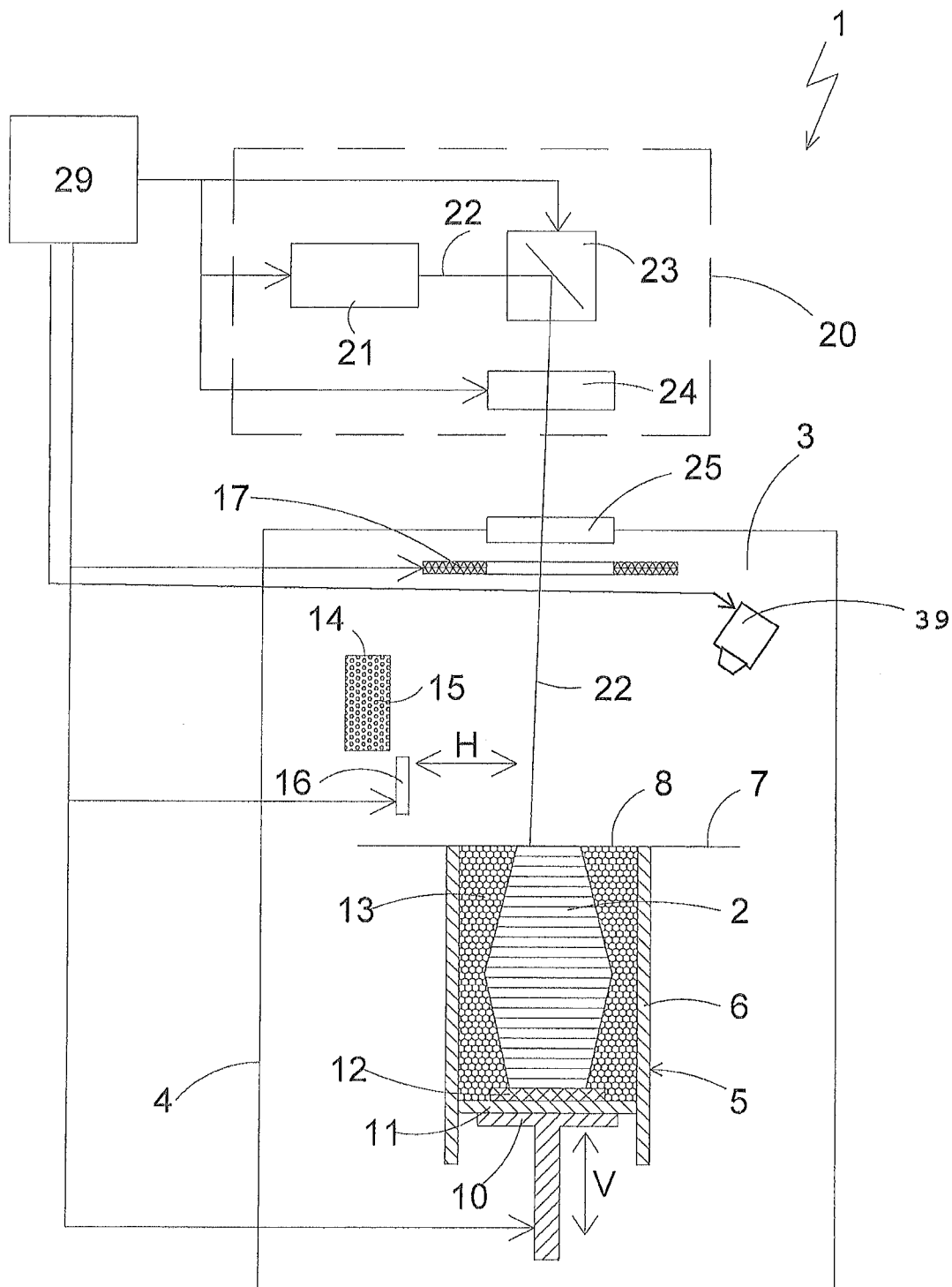


Fig. 1

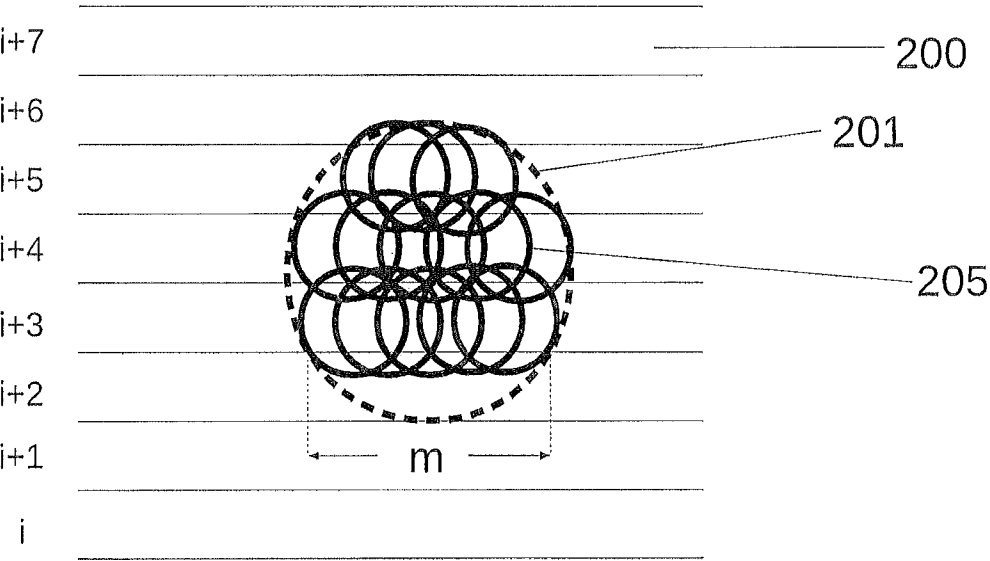


Fig. 2

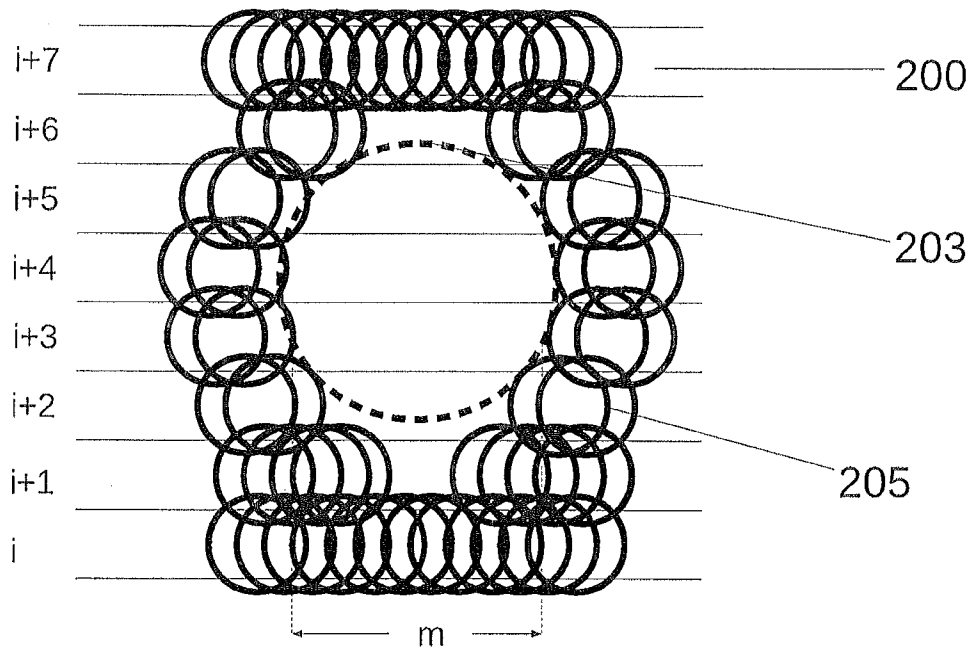


Fig. 3

Stand der Technik

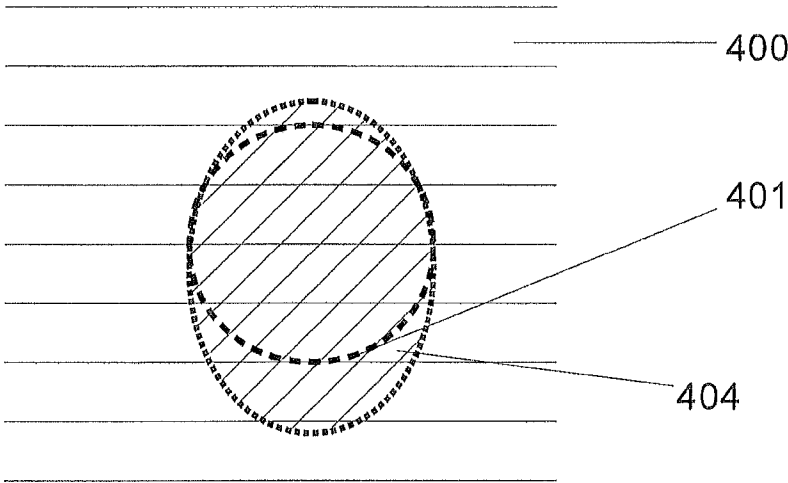


Fig. 4a

Stand der Technik

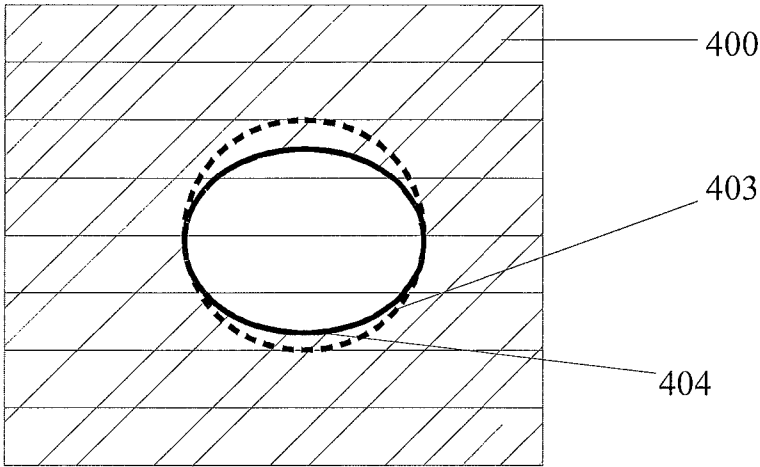


Fig. 4b

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/054406

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B29C67/00 B22F3/105
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)
B29C B22F

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.
A	WO 2015/000854 A1 (EOS ELECTRO OPTICAL SYST [DE]) 8 January 2015 (2015-01-08) page 8, paragraph 2 - page 11, paragraph 3 figure 2	1-15
A	WO 2015/114035 A1 (EOS ELECTRO OPTICAL SYST [DE]) 6 August 2015 (2015-08-06) page 3, line 31 - page 4, line 17 page 5, line 29 - page 6, line 5 page 10, line 19 - page 11, line 7 page 17, line 24 - page 19, line 8 page 21, line 16 - line 24	1-15
A	US 2015/174695 A1 (ELFSTROEM ISAK [SE] ET AL) 25 June 2015 (2015-06-25) figures claims	1-15
	----- -/-	



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

29 May 2017

Date of mailing of the international search report

07/06/2017

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

Whelan, Natalie

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/054406

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 10 2012 022435 A1 (FRAUNHOFER GES ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E V [DE]) 22 May 2014 (2014-05-22) paragraph [0008] - paragraph [0010] paragraph [0023] claims -----	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/054406

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2015000854 A1	08-01-2015	CN 105431791 A DE 102013212803 A1 EP 3017343 A1 US 2016167131 A1 WO 2015000854 A1	23-03-2016 08-01-2015 11-05-2016 16-06-2016 08-01-2015
WO 2015114035 A1	06-08-2015	CN 105939839 A DE 102014201818 A1 EP 3099469 A1 US 2016332379 A1 WO 2015114035 A1	14-09-2016 06-08-2015 07-12-2016 17-11-2016 06-08-2015
US 2015174695 A1	25-06-2015	CN 105829075 A EP 3083203 A1 US 2015174695 A1 WO 2015091875 A1	03-08-2016 26-10-2016 25-06-2015 25-06-2015
DE 102012022435 A1	22-05-2014	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. B29C67/00 B22F3/105
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
B29C B22F

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.
A	WO 2015/000854 A1 (EOS ELECTRO OPTICAL SYST [DE]) 8. Januar 2015 (2015-01-08) Seite 8, Absatz 2 - Seite 11, Absatz 3 Abbildung 2 -----	1-15
A	WO 2015/114035 A1 (EOS ELECTRO OPTICAL SYST [DE]) 6. August 2015 (2015-08-06) Seite 3, Zeile 31 - Seite 4, Zeile 17 Seite 5, Zeile 29 - Seite 6, Zeile 5 Seite 10, Zeile 19 - Seite 11, Zeile 7 Seite 17, Zeile 24 - Seite 19, Zeile 8 Seite 21, Zeile 16 - Zeile 24 -----	1-15
A	US 2015/174695 A1 (ELFSTROEM ISAK [SE] ET AL) 25. Juni 2015 (2015-06-25) Abbildungen Ansprüche ----- -/-	1-15



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

29. Mai 2017

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

07/06/2017

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

Whelan, Natalie

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2012 022435 A1 (FRAUNHOFER GES ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E V [DE]) 22. Mai 2014 (2014-05-22) Absatz [0008] - Absatz [0010] Absatz [0023] Ansprüche -----	1-15

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/054406

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2015000854 A1	08-01-2015	CN 105431791 A	23-03-2016
		DE 102013212803 A1	08-01-2015
		EP 3017343 A1	11-05-2016
		US 2016167131 A1	16-06-2016
		WO 2015000854 A1	08-01-2015
WO 2015114035 A1	06-08-2015	CN 105939839 A	14-09-2016
		DE 102014201818 A1	06-08-2015
		EP 3099469 A1	07-12-2016
		US 2016332379 A1	17-11-2016
		WO 2015114035 A1	06-08-2015
US 2015174695 A1	25-06-2015	CN 105829075 A	03-08-2016
		EP 3083203 A1	26-10-2016
		US 2015174695 A1	25-06-2015
		WO 2015091875 A1	25-06-2015
DE 102012022435 A1	22-05-2014	KEINE	