

(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
16. Mai 2019 (16.05.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/091621 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B22F 3/105 (2006.01) *B33Y 10/00* (2015.01)
B22F 5/00 (2006.01) *B33Y 50/00* (2015.01)
B22F 5/10 (2006.01) *B29C 64/153* (2017.01)
B22F 7/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/073788

(22) Internationales Anmeldedatum:
04. September 2018 (04.09.2018)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2017 126 624.0
13. November 2017 (13.11.2017) DE

(71) Anmelder: **TRUMPF LASER- UND SYSTEMTECH-
NIK GMBH** [DE/DE]; Johann-Maus-Str. 2, 71254 Ditzin-
gen (DE).

(72) Erfinder: **MAURER, Dominik**; Weinbergweg 7, 70825
Korntal-Münchingen (DE). **SPIEGELHALDER, Roland**;
Untere Burghalde 98, 71229 Leonberg (DE).

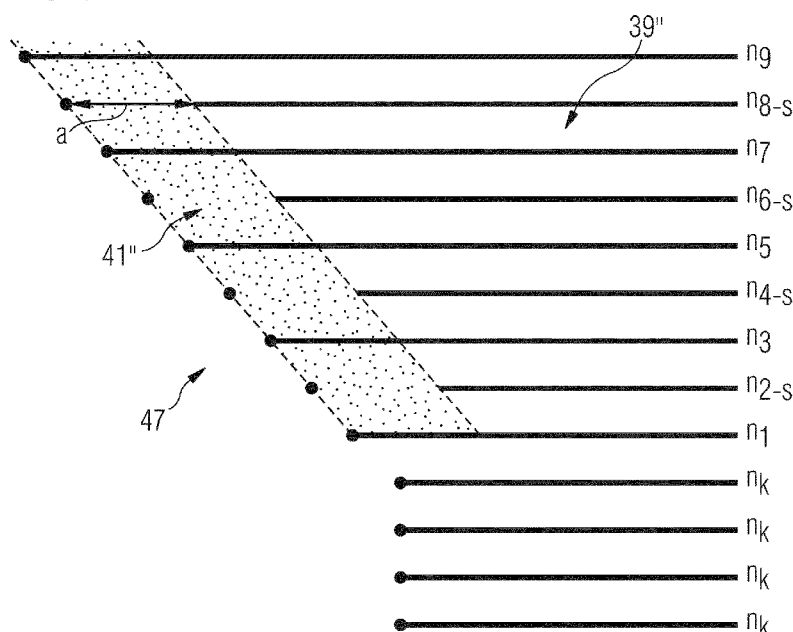
(74) Anwalt: **KRAMER BARSKE SCHMIDTCHEN PA-
TENTANWÄLTE PARTG MBB**; Landsberger Str. 300,
80687 München (DE).

(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, JO, JP, KE, KG, KH, KN,
KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,

(54) Title: LAYER-SELECTIVE EXPOSURE IN THE OVERHANG REGION IN ADDITIVE MANUFACTURING

(54) Bezeichnung: SCHICHTSELEKTIVE BELICHTUNG IM ÜBERHANGBEREICH BEI DER GENERATIVEN FERTIGUNG

FIG 5A



(57) Abstract: In a method for additively manufacturing a three-dimensional component (3) from a powder (5), a layer structure model of the component (3) to be produced is divided into a core region (39) and a casing region (41) adjacent to the core region (39), wherein the casing region (41) forms at least one section of the surface of the three-dimensional component (3). A layer-based irradiation process is then carried out, in which a density of irradiated powder layers is lower in the casing region (41) than in the core region (39).

(57) Zusammenfassung: In einem Verfahren zur generativen Fertigung eines dreidimensionalen Bauteils (3) aus einem Pulver (5) wird ein Schichtstrukturmodell des zu fertigenden Bauteils (3) in einen Kernbereich (39) und einen an den Kernbereich (39) angrenzenden Hüllenbereich (41) unterteilt, wobei der Hüllenbereich (41) zumindest einen Abschnitt der Oberfläche des dreidimensionalen Bauteils



WO 2019/091621 A1



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).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(3) ausbildet. Dann wird ein schichtbasierter Bestrahlungsvorgang durchgeführt, bei dem eine Dichte von bestrahlten Pulverschichten im Hüllbereich (41) niedriger ist als im Kernbereich (39).

SCHICHTSELEKTIVE BELICHTUNG IM ÜBERHANGBEREICH BEI DER GENERATIVEN FERTIGUNG

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren der, insbesondere laserbasierten, generativen Fertigung von dreidimensional erzeugten Bauteilen, die insbesondere einen Überhangbereich aufweisen. Ferner betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur generativen Fertigung.

Die laserbasierte generative Fertigung von, insbesondere metallischen oder keramischen, Bau-
10 teilen basiert auf einem Verfestigen eines auf einer Bauplattform, z. B. in Pulverform vorliegenden, Ausgangsmaterials durch die Bestrahlung mit Laserlicht. Dieses Konzept – auch als selektives Laserschmelzen (SLM: selective laser melting) oder als Pulverbettfusion bekannt – wird unter anderem in Maschinen für den (metallischen) 3D-Druck eingesetzt. Im Fall des auf einem metallischen Pulver basierenden 3D-Drucks spricht man auch von Laser-Metal-Fusion
15 (LMF)-Anlagen. Eine beispielhafte Maschine zur generativen Fertigung von dreidimensionalen Produkten ist in der europäischen Patentanmeldung EP 2 732 890 A2 der Sisma S.p.A. offenbart. Die Vorteile der generativen Fertigung sind allgemein eine einfache Herstellung von komplexen und individuell erstellbaren Teilen.

- 20 Die hierin offenbarten Aspekte beziehen sich insbesondere auf die Auswirkung des generativen Fertigungsprozesses auf oberflächennahe Bereiche eines Bauteils. Diese auch als Hülle (oder „Skin“) bezeichneten Bereiche umfassen Bereiche an der Oberseite, an der Unterseite und an den Seiten eines Werkstücks. Die oberflächennahen Bereiche werden hierin entsprechend auch als Upskin-Bereiche (Hüllenbereiche auf der Einfallsseite des Laserstrahls),
25 Downskin-Bereiche (Hüllenbereiche auf der dem Laserstrahleinfall abgewandten Seite) und Sideskin- (oder Inskin-) Bereiche (Hüllenbereiche, die sich im Wesentlichen entlang der Laserstrahlrichtung erstrecken) bezeichnet.

Beispielsweise wird in Kapitel I "Additive Manufacturing of Al Alloys and Aluminium Matrix Composites (AMCs)" des Buchs "Light Metal Alloys Applications" (ISBN 978-953-51-
30 1588-5; 11. Juni 2014) eine derartige Klassifizierung in derartige Bereiche und die Zuordnung verschiedener Parameter zu den Bereichen beschrieben.

Ein Downskin-Bereich des Bauteils erstreckt sich allgemein dort, wo der entstehende Bauteil-
35 abschnitt in Laserstrahlrichtung auf Pulver erzeugt wird. Ein Upskin-Bereich des Bauteils

wird in nachfolgenden Beschichtungsprozessen mit Pulver bedeckt, das nicht bestrahlt wird. Ein Upskin-Bereich bildet üblicherweise eine Oberfläche des Bauteils auf der Seite des Laserstrahleinfalls. Ein Downskin-Bereich erstreckt sich beispielsweise entlang der Unterseite des Werkstücks, hier im Sinne der ersten bestrahlten Lagen, oder entlang der Unterseite eines Überhangbereichs des Bauteils. Ein Sideskin-Bereich stellt einen seitlichen Rand des Bauteils dar, der durch das laterale Ausmaß der Bestrahlung in der Schichtebene gegeben ist. Entsprechend grenzt er seitlich an unbestrahltes Pulver. Die Hüllenbereiche umschließen den inneren Bereich des Bauteils oder eines Abschnitts desselben. Dieser wird oft auch als Kern (oder „Core“) des Bauteils bezeichnet.

10

Die Auswirkungen des generativen Fertigigungsprozesses auf diese oberflächennahen Bereiche betreffen beispielsweise die Stabilität, Formtreue und Oberflächenqualität des Bauteils. Diese Auswirkungen bestimmen somit auch, ob ein Bauteil mit einer geplanten Geometrie noch derart gefertigt werden kann, dass es den jeweiligen Produktanforderungen gerecht wird. Beim Aufbau von LMF-Bauteilen aus Stählen durch pulverbettbasiertes Laserschmelzen sind beispielsweise überhängende Oberflächen mit (Überhang-) Winkeln unterhalb eines sogenannten kritischen Winkels (z. B. von unter ca. 60° bzgl. der Senkrechten) bezüglich einer Schichtebene oft nur mit Qualitätsabschlägen herstellbar. So offenbart die EP 1 720 676 B1, dass die Belichtung einer Pulverschicht im Überhangbereich zu einer Schmelze führen kann, die über die einzelne Schicht hinaus wirkt und die formtreue Fertigung erschwert.

20

Ein beispielhafter Ansatz zur Gewährleistung einer hohen Formtreue bei der Bestrahlung von Schichten im Überhangbereich wird in der EP 3 127 635 A1 der Anmelderin beschrieben. Dabei wird in jeder Schicht des Überhangbereichs in der Nähe der Bauteilkontur insbesondere im Downskin-Bereich die Belichtungsenergie herabgesetzt. Das Herabsetzen der Belichtungsenergie beim Bestrahlen einer Schicht kann dabei in Stufen und überhangwinkelabhängig vorgenommen werden.

25

Die Bestimmung der Parameter eines generativen Fertigigungsprozesses für ein spezifisches Pulver erfolgt in speziellen Prüfverfahren. Relevant sein können hierbei bspw. die Materialart, Korngrößenverteilung und Kornform des Pulvers. Dabei wird beispielsweise die einzubringende Energiedichte bestimmt. Das allgemeine Ziel bei der Bestimmung der Parameter eines generativen Fertigigungsprozesses ist es dabei, bei der Fertigung einen hochenergetischen La-

30

serstrahl mit hoher Scangeschwindigkeit einzusetzen, um eine ausreichend hohe Geschwindigkeit im Fertigungsprozess zu erreichen.

5 Üblicherweise setzen diese Prüfverfahren die Fertigung entsprechend ausgelegter Prüfbjekte für die jeweiligen Fertigungsszenarien der additiven Fertigung ein. Prüfbjekte weisen hierzu Strukturen auf, die zur Parameterbestimmung ausgelegt sind. So weisen Prüfbjekte z. B. einen Überhang mit einer linearen Fläche, die sich unter einer Neigung eines zu erreichenden kritischen Winkels erstreckt, und/oder einen Abschnitt mit einer gekrümmten Oberfläche und/oder einen Abschnitt, der einen Überhang mit einer linearen Fläche aufweist, die sich
10 flacher als der kritische Winkel erstreckt, auf.

Zusätzlich zu den Energiedichten für Kernbereiche können auch die Parameter für Inskin- und Downskin-Bereiche definiert werden. Wird eine Reihe von Überhangswinkeln bei angestrebten Laserparametern getestet, kann überdies der bereits angesprochene kritische Winkel bestimmt
15 werden, ab dem z. B. Stützstrukturen notwendig werden.

Die Prüfverfahren basieren üblicherweise auf einem Testfertigungsvorgang, bei dem auf einer Grundplatte eine Mehrzahl von gleichen Prüfbjekten erstellt wird. Für jedes der Prüfbjekte werden eigene Parameter des Fertigungsprozesses umgesetzt. Die Prüfbjekte werden an-
20 schließend hinsichtlich ihrer Qualität bewertet. Dazu werden sie insbesondere hinsichtlich Festigkeit, Dichte, Verformung, Farbgebung, etc. untersucht. Auf diese Weise kann z. B. mit einem Testfertigungsvorgang und einer entsprechend großen Anzahl von Prüfbjekten und Parametersätzen ein erster Parameterbereich bestimmt werden, der dann in nachfolgenden Testfertigungsvorgängen verfeinert wird. Zu variierende Parameter können bspw. Energie,
25 Fokusdurchmesser und -form und/oder Scangeschwindigkeit eines Laserstrahls darstellen, aber auch die aufgetragene Schichtdicke des Pulvers.

Um die geeignete Energiedichte in einem Kernbereich und einem Downskin-Bereich des Prüfbjekts zu bestimmen, kann für eine spezifische Prüfbjektstruktur beispielsweise ausge-
30 hend von einem 100%-Wert einer vorgegebenen Energiedichte eine stufenweise Energiedichtereduzierung bei gleichbleibender Schichtdicke vorgenommen werden.

Diese Parameter kann der Betreiber von Maschinen für die generative Fertigung, aber auch der Pulverlieferant oder der Maschinenhersteller für den Betreiber ermitteln.

In einigen Technologiesegmenten kann beispielsweise für die Fertigung ohne Stützkonstruktionen eine umsetzbare Neigung unter einem kritischen Winkel von 45° oder steiler vom Markt gefordert werden. Die Relevanz des kritischen Winkels hinsichtlich vorzusehender Stützstrukturen bei der Fertigung wird z. B. in „Design Optimisation for Selective Laser Melting (SLM) and Experimental Testing of an Aircraft Component“, L. M. R. Seabra, Thesis to obtain the Master of Science Degree in Aerospace Engineering, Tecnico Lisboa, May 2015 diskutiert.

Einem Aspekt dieser Offenbarung liegt die Aufgabe zugrunde, ein generatives Fertigungsverfahren vorzuschlagen, das den Aufbau von Überhangbereichen ermöglicht. Eine weitere Aufgabe liegt darin, eine generative Fertigung zu ermöglichen, die möglichst unabhängig von der Bewegungsrichtung eines Beschichters geplant werden kann. Eine weitere Aufgabe liegt darin, ein generatives Fertigungsverfahren vorzuschlagen, das den Aufbau von Überhangbereichen auch mit Pulverschichtdicken im Bereich der Pulverkorngröße ermöglicht.

Zumindest eine dieser Aufgaben wird gelöst durch ein Verfahren zur generativen Fertigung eines dreidimensionalen Bauteils aus einem Pulver nach Anspruch 1 oder 10, durch eine Fertigungsverfahren zur generativen Fertigung nach Anspruch 14 und ein Bauteil nach Anspruch 15. Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

In einem Aspekt weist ein Verfahren zur generativen Fertigung eines dreidimensionalen Bauteils aus einem Pulver die folgenden Schritte auf:

- Unterteilen eines Schichtstrukturmodells des zu fertigenden Bauteils in einen Kernbereich und einen an den Kernbereich angrenzenden Hüllenbereich, wobei der Hüllenbereich zumindest einen Abschnitt der Oberfläche des dreidimensionalen Bauteils ausbildet, und
- Durchführen eines schichtbasierten Bestrahlungsvorgangs auf Grundlage des Schichtstrukturmodells, bei dem eine Dichte von bestrahlten Pulverschichten im Hüllenbereich niedriger ist als im in Schichtebenenrichtung angrenzenden Kernbereich, wobei die Dichte durch die Anzahl von bestrahlten Schichten in Richtung der Normalen der Pulverschichten pro Längeneinheit gegeben ist.

In einem weiteren Aspekt umfasst ein Verfahren zur generativen Fertigung eines dreidimensionalen Bauteils aus einem Pulver, wobei das Bauteil eine Überhangstruktur aufweist und

durch selektives Laserschmelzen auf einer Bauplattform gefertigt wird, die folgenden Schritten:

- Bereitstellen eines Bestrahlungsplans basierend auf einem Schichtmodell des dreidimensionalen Bauteils, wobei das Schichtmodell eine Sequenz von Schichten umfasst, denen jeweils eine schichtspezifische Kontur des Bauteils zugeordnet ist, wobei die Sequenz eine erste Untergruppe von Schichten und eine zweite Untergruppe von Schichten umfasst, die ineinander verschachtelt sind, und wobei bei der ersten Untergruppe von Schichten im Bereich der Überhangstruktur eine Bestrahlung des Pulvers bis zur Kontur geplant ist, und bei der zweiten Untergruppe von Schichten im Bereich der Überhangstruktur eine Bestrahlung des Pulvers nur bis zu einem Abstand von der Kontur geplant ist, und
 - Durchführen eines sequentiellen Auftragens von Pulverschichten auf der Bauplattform und Bestrahlung der Pulverschichten mit Bestrahlungsparametern des Laserstrahls gemäß dem Bestrahlungsplan.
- 15 In einem weiteren Aspekt umfasst eine Fertigungsvorrichtung zur generativen Fertigung eines dreidimensionalen Bauteils aus einem Pulver einen eine Arbeitsfläche bereitstellenden Fertigungsraum, der einen Plattformbereich umfasst, und einen Bauzylinder, der einen in der Höhe verfahrbaren Träger aufweist, auf dem das dreidimensionale Bauteil auf einer Oberfläche einer Bauplattform schichtweise hergestellt werden soll. Ferner umfasst die Fertigungsvorrichtung eine Schiebevorrichtung mit einem Beschichter zum Erzeugen von Pulverschichten mit dem Pulver im Plattformbereich, ein Bestrahlungssystem zur Erzeugung eines Strahls für die Bestrahlung der Pulverschichten im Plattformbereich zum schichtweisen Herstellen des dreidimensionalen Bauteils und eine Steuerungseinheit, die basierend auf Bestrahlungsdaten eines Bestrahlungsplans des dreidimensionalen Bauteils die Fertigung des dreidimensionalen Bauteils nach einem wie hierin beschriebenen Verfahren steuert. Dabei können die Bestrahlungsdaten zu bestrahlende Bereiche der Pulverschichten definieren, die zu bestrahlenden Bereiche können einen Hüllbereich und einen Kernbereich umfassen und eine Dichte von bestrahlten Pulverschichten im Hüllbereich kann niedriger sein als im Kernbereich.
- 25
- 30 In einem weiteren Aspekt weist ein Bauteil, das generativ aus einem Pulver durch selektives Laserschmelzen gefertigt wurde, einen Kernbereich und einen Hüllbereich auf, wobei der Hüllbereich zumindest einen Teil einer Oberfläche des Bauteils bildet. Das selektive Laserschmelzen wurde zumindest in einem Teil des Hüllbereichs mit einem reduzierten Energieeintrag durch Bestrahlung von weniger Schichten in einer Schichtungsrichtung als im Kernbereich.

reich vorgenommen und im Hüllenbereich oder in einem Abschnitt des Hüllenbereichs fällt jede bestrahlte Pulverschicht mit einer bestrahlten Pulverschicht im Kernbereich zusammen.

Man erkennt, dass die hierin offenbarten Konzepte einen Vergleich von Dichten von bestrahlten Schichten vornehmen, der auf mehreren benachbarten Schichten des Schichtmodells basiert. In anderen Worten, wird ein Hüllenbereich oder ein Teil des Hüllenbereichs mit dem in Schichtebenenrichtung angrenzenden Kernbereich (oder einem angrenzenden Teil des Kernbereichs) hinsichtlich der Dichte von bestrahlten Schichten verglichen.

In einigen Ausführungsformen kann der schichtbasierte Bestrahlungsvorgang ein sequentielles Aufbringen von Pulverschichten umfassen, die Pulverschichten können mit einem Kernenergieeintrag bestrahlt werden und die Schichten im Hüllenbereich einer schichtselektiven Bestrahlung unterliegen werden. Bei einer schichtselektiven Bestrahlung des Hüllenbereichs kann die Dichte von bestrahlten Pulverschichten in Abhängigkeit von der Oberflächengeometrie des dreidimensionalen Bauteils variiert werden. Insbesondere kann die Dichte von bestrahlten Pulverschichten im Bereich einer Überhangstruktur umso mehr reduziert wird, je größer der Abstand zwischen Konturen (benachbarter Schichten) ist, und insbesondere je flacher die Überhangstruktur zur, durch die Oberfläche des Pulverbetts gegebenen, Schichtebene verläuft.

In einigen Ausführungsformen kann im Hüllenbereich oder in einem Abschnitt des Hüllenbereichs nur jede n-te Schicht der aufgetragenen Pulverschichten bestrahlt werden oder es kann im Hüllenbereich oder in einem Abschnitt des Hüllenbereichs jede n-te Schicht der aufgetragenen Pulverschichten nicht bestrahlt werden.

In einigen Ausführungsformen kann die Bestrahlung innerhalb einer Pulverschicht, insbesondere im gesamten Bauteil, im Kernbereich und im Hüllenbereich mit gleicher Laserleistung vorgenommen werden. Dabei kann der Energieeintrag im Hüllenbereich trotz gleicher Laserleistung aufgrund einer schichtselektiven Bestrahlung im Vergleich zum Kernbereich reduziert werden.

In einigen Weiterbildungen kann im Hüllenbereich oder in einem Abschnitt des Hüllenbereichs eine bestrahlte Pulverschicht mit einer bestrahlten Pulverschicht im Kernbereich zu-

sammenfallen und wobei diese Pulverschicht im Hüllbereich und im Kernbereich in einem gemeinsamen Bestrahlungsvorgang (d. h., als eine Schicht) bestrahlt wird.

5 In einigen Ausführungsformen kann beim Durchführen des schichtbasierten Bestrahlungsvorgangs in einem Hüllbereich, dem in Schichtebenenrichtung kein angrenzender Kernbereich zugeordnet ist, insbesondere an der Unterseite des zu fertigenden Bauteils, Inskin-Parameter verwendet werden, die für eine Dichte von bestrahlten Pulverschichten in einem Kernbereich vorgesehen sind, die höher ist, als die Dichte der Pulverschichten im diesem Hüllbereich. Auch hier erkennt man, dass die hierin offenbarten Konzepte einen Vergleich von Dichten
10 von bestrahlten Schichten vornimmt, der auf mehrere benachbarten Schichten des Schichtmodells basiert.

In einigen Ausführungsformen kann eine aufgebrachte Pulverschicht eine Dicke im Bereich einer mittleren Korngröße des Pulvers aufweisen. Diese kann insbesondere im Bereich von
15 30% bis 300% der mittleren Korngröße des Pulvers liegen.

In einigen Ausführungsformen kann das Ausmaß des Hüllbereichs durch einen Abstand der Kontur vom bestrahlten Bereich einer Schicht, deren Bestrahlung nicht bis an den Konturverlauf des dreidimensionalen Bauteils erfolgt, bestimmt werden. Alternativ oder zusätzlich kann
20 die Anzahl von aufeinanderfolgenden Schichten, deren Bestrahlung nicht bis an den jeweiligen Konturverlauf des dreidimensionalen Bauteils erfolgt, das Ausmaß des Hüllbereichs bestimmen.

In einigen Ausführungsformen kann zum Auftragen der Pulverschichten Pulver mit einem
25 Beschichter aus einem Vorratsbereich in einer Auftragsrichtung aufgetragen werden und die Überhangstruktur kann derart gegen die Auftragsrichtung ausgerichtet sein, dass die Kontur mindestens einer nachfolgend zu bestrahlenden Schicht im Bereich der Überhangstruktur näher als die Kontur einer zuvor bestrahlten Schicht an den Vorratsbereich heranragt. Ferner können die Bestrahlungsparameter des Laserstrahls entsprechend der gewünschten Wechselwirkung des Laserstrahls mit dem Pulver in einem Kernbereich des Bauteils fest eingestellt
30 sein.

In einigen Ausführungsformen kann im Schichtstrukturmodell eine Schicht in, insbesondere rechteckige, Bestrahlungsfelder unterteilt werden, wobei im Bestrahlungsvorgang in Bestrah-

lungsfelder im Hüllbereich, insbesondere im konturnahen Bereich der Schicht, ein Energieeintrag vorgenommen wird, der gegenüber dem Energieeintrag im Kernbereich, insbesondere in konturfernen Bestrahlungsfeldern, reduzierter ist. Dabei können die Bestrahlungsfelder einer Schicht, die von der Kontur der Schicht geschnitten werden, nur im, das Bauteil bildenden, Innenbereich bestrahlt werden.

In Weiterbildungen kann der Beginn der Bestrahlung mit einem reduzierten Energieeintrag im Bereich derjenigen Bestrahlungsfelder beginnen, die von einer, insbesondere in Schichtrichtung, auf die Schicht projizierten Kontur einer Schicht geschnitten werden, wobei diese Schicht im Hüllbereich bis zur Kontur bestrahlt wurde.

Allgemein können die Bestrahlungsfelder eines Bestrahlungsplans, die von einer auf die Schicht, insbesondere in Schichtrichtung, projizierten Kontur geschnitten werden, als Ganzes mit dem reduzierten Energieeintrag oder als Ganzes mit dem Energieeintrag des Kernbereichs bestrahlt werden.

Hierin ist die Dichte von bestrahlten Pulverschichten durch die Anzahl von bestrahlten Schichten in Richtung der Normalen der Schichtebene (Schichtungsrichtung) und pro Längeneinheit gegeben. Die Schichtebene ist durch die plane Pulverbetttoberfläche gegeben, die durch den Pulverauftrag mit dem Beschichter erzeugt wird. Wird - wie es im Kernbereich üblicherweise der Fall ist - jede Schicht bestrahlt, ist die Dichte maximal. Bei dünnen Schichten werden beispielsweise 25 Schichten bestrahlt, um eine Materialdicke (in Normalenrichtung) von 1 mm zu erzeugen. Werden Schichten bei der Bestrahlung im Hüllbereich ausgelassen, reduziert sich dort die Dichte. Sie halbiert sich zum Beispiel, wenn abwechselnd eine Schicht bestrahlt wird und eine nicht bestrahlt wird, oder sie drittelt sich, wenn nur jede dritte Schicht bestrahlt wird. Bei gleichen Parametern der Laserstrahlung reduziert sich der Energieeintrag entsprechend. Eine reduzierte Dichte von bestrahlten Pulverschichten führt zu einer reduzierten (von der Bestrahlung in das Pulver eingebrachten) Volumenenergie (in $[J/m^3]$), wobei diese sich im Wesentlichen ergibt aus:

$$\text{Volumenenergie} = \text{Laserleistung} / (\text{Schichtdicke} * \text{Scangeschwindigkeit} * \text{Spurabstand})$$

Hierin ist ferner der Kernenergieeintrag die Energie, die mit der Bestrahlung im Mittel in das Pulver eingebracht werden muss, um die gewünschte, pulverspezifische Wechselwirkung

(meist der Grad der Aufschmelzung aufgrund der zugeführten Volumenenergie) zu erhalten, die für den Kernbereich des Bauteils vorgesehen ist.

In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass bei größeren Schichtstärken eine reduzierte Volumenenergie benötigt wird, denn durch die höhere Schichtstärke werden darunterliegende Schichten weniger stark aufgeschmolzen. So wird weniger Wärme in die darunterliegenden Schichten abgeführt und im Ergebnis kann bei einer größeren Schichtstärke eine geringere Volumenenergie notwendig sein, um eine hohe Bauteildichte zu erreichen.

Beispielhafte Vorteile von Ausführungsformen der hierin offenbarten Konzepte umfassen eine sehr gute Baubarkeit von 45°-Überhangsschrägen entgegen der Bewegungsrichtung des Beschichters beim Pulverauftrag sowie eine Baubarkeit von starken Überhängen entgegen der Bewegungsrichtung des Beschichters, z. B. von Überhangswinkeln bis zu 30° oder weniger. Dies erlaubt in vielen Fällen eine Reduzierung von Stützstrukturen, wenn nicht sogar einen stützfreien Aufbau derartiger Geometrien. Überdies kann so auch ein Aufbau von innen im Bauteil liegenden Überhängen möglich werden, die oft nicht gestützt werden können bzw. deren Stützstrukturen nach der Fertigung nicht mehr entfernt werden können. Innen liegende Überhänge können somit durch die der hierin offenbarten Konzepte formgetreuer gefertigt werden.

Weitere Vorteile betreffen den Energieeintrag und die Laserstrahlung. So kann die Fertigung des Downskin-Bereichs in einen dem Kern zugeordneten Prozessschritt integriert werden, wobei der zeitliche Energieeintrag in den Überhang trotzdem kleiner als bei der Belichtung des Kerns gehalten werden kann. Es erfolgt eine Reduzierung des Energieeintrags in den Hüllenbereich, insbesondere in den Downskin-Bereich, wodurch eine bessere Oberflächenqualität und Baubarkeit erreicht werden kann. Die durchgängige Belichtung von Hüllen- und Kernbereichen kann mit einer einfachen Belichtungsstrategie umgesetzt werden, begleitet von einem gleichmäßigen Energieeintrag, der durch große Bewegungsvektoren umgesetzt werden kann, die sich in den Überhang hinein erstrecken.

Mit anderen Worten muss keine separate Belichtungsstrategie (hinsichtlich insbesondere der Laserparameter) mehr für den Downskin-Bereich festgelegt werden, da die hierin vorgeschlagene selektive Belichtung des z. B. Downskin-Bereichs die Belichtung des Kerns selektiv in den Hüllenbereich fortsetzt. So müssen zusätzlich zu den Inskin-Parametern für das Lasersys-

- tem, d. h., Parametern für das Lasersystem, die den Energieeintrag in den Kern (Inskin-Bereiche mit seitlichen Flächen des Bauteils, d. h., es gibt keine Upskin- oder Downskin-Anpassung) definieren (u. a. Laserleistung, Fokusgröße, Scangeschwindigkeit und Pulverschichtdicke), keine Downskin-Parameter mehr für das Lasersystem entwickelt werden. Allgemein kann sich die Parameterentwicklung für die Fertigung von Überhängen deutlich vereinfachen. Dies vereinfacht die Parameterentwicklung insbesondere für verschiedene Werkstoffe durch Reduzierung der relevanten, bei der Planung zu berücksichtigenden, Parameter. Im Gegensatz zur eingangs erwähnten EP 3 127 635 A1, bei der Überhänge in kleine Bereiche aufgeteilt werden und bei der für diese kleinen Bereiche die Energie in einem komplizierten, winkelabhängigen Verfahren in Abhängigkeit vom Abstand zur Oberfläche gewonnen wird, ist die Energie nun ein quasi feststehender Parameter. Mit anderen Worten kann eine gleichmäßige, wenn auch schichtweise selektive, Belichtung mit den Inskin-Parametern des Laserstrahls durchgeführt werden.
- 15 Die hierin vorgeschlagenen Konzepte können es ferner erlauben, dass Stützstrukturen entfallen, die oft beim Bauen von überhängenden Bereichen, die entgegen der Beschichterbewegungsrichtung ausgerichtet sind, zur Vermeidung von Verzerrung des Bauteils vorgesehen werden müssen. D. h., die Konstruktion sowie die oft manuelle Entfernung der Stützstrukturen nach dem Bauprozess können entfallen, wodurch die Bauteilkosten durch die geringere Datenvorbereitung und Nacharbeit reduziert werden. Allgemein kann sich die Oberflächenqualität der sonst gestützten Flächen erhöhen.

In einigen Ausführungsformen der hierin offenbarten Konzepte kann eine selektive Belichtung von Schichten auch lediglich in Downskin-Bereichen angewendet werden, die unterhalb eines kritischen Winkels liegen. Ohne Umsetzung der selektiven Belichtung sind derartige Downskin-Bereiche u. U. nur mit Stützstrukturen baubar.

Die hierin offenbarte Vorgehensweise kann überraschender Weise nachteilige Aspekte aus dem Stand der Technik beheben, wie z. B. Verfärbungen von Überhängen, Verzug und Deformation des Bauteils bis hin zu Prozessabbrüchen bei zu starken Deformationen, die zu einer Kollision von hochgezogenen Überhangkante mit der Beschichter Klinge führen können.

Beispielsweise kann ein möglicher leichter Verzug der Überhangkante durch eine effektiv größere Schichtdicke im Downskin-Bereich insbesondere bei Überhängen, die sich entgegen

der Beschichterbewegung erstrecken, ausgeglichen werden. So wird ein Pulverstau vor dem Bauteil verringert oder sogar vermieden, welcher anderfalls den Verzug der Überhangkante verstärken könnte.

5 Eine mögliche Erklärung für einige der positiven Effekte der hierin offenbarten Konzepte kann im Zusammenhang mit der Korngrößenverteilung des verwendeten (Metall-) Pulvers stehen. Aufgrund der Korngrößenverteilung kann Pulver mit mittlerer Korngröße von z. B. 30 μm eine größere Anzahl an Körnern mit Größen von z. B. 15 μm bis 45 μm aufweisen. Insbesondere beim Aufbau von Überhangbereichen ist es üblich, dünne Pulverschichten aufzutragen, damit das Bauteil nicht „stufig“ wirkt. Entsprechend wenig wird der Beschichter über die 10 Fertigungsebene angehoben. Dies führt dazu, dass z. B. beim Auftrag von 40 μm dünnen Schichten die größeren Körner nicht mehr zwischen Beschichter und Bauteil passen und so vom Beschichter mitgenommen werden. Die größeren Körner können dabei an der dem Beschichter zugewandten Seite des Bauteils hängen bleiben. Sie können dann entweder nach 15 unten in die zuletzt bestrahlte Schicht gedrückt werden oder sie können, angeschoben vom Beschichter, die dünnen, bereits belichteten Überhangschichten nach oben mitnehmen. Dadurch kann die Maßhaltigkeit gestört werden. Zudem kann es beim nächsten Pulverauftrag zu noch größeren Auswirkungen bis hin zum Prozessabbruch kommen.

20 Wird jedoch wie hierin vorgeschlagen die Dichte von bestrahlten Schichten im Hüllbereich reduziert, z. B. nur jede n-te Schicht bestrahlt, entspricht dies zumindest teilweise einer dickeren Beschichtung mit Pulver mit entsprechend weniger Auswirkung auf den Fertigungsprozess. Beispielsweise kann schon das Belichten von nur jeder zweiten Schicht im Hüllbereich dazu führen, dass an der dünnen und labilen Vorderkante des Bauteils, in der Richtung 25 aus der der Beschichter kommt, eine im Wesentlichen doppelt so dicke, im vorausgehenden Beispiel entsprechend 80 μm dicke, Pulverschicht aufgebaut wird. Im dazwischen im Kernbereich vorgenommenen Beschichtungsvorgang können größere Körner nun nur weiter im Bauteilinneren hängen bleiben und wirken sich so nicht auf den oberflächennahen Bereich des Bauteils, insbesondere die dortige Qualität der Oberfläche, aus.

30

Zur Vollständigkeit wird auf die beispielsweise in der DE 10 2011 105045 B3 beschriebenen Vorgehensweisen einer speziellen „Hülle-Kern-Strategie“ verwiesen, wobei die zuvor zusammengefassten Konzepte sich davon unterscheiden bzw. ergänzend insbesondere zur nach-

folgend beschriebenen Vorgehensweise bei Übergängen zwischen unterschiedlichen Bestrahlungsstrategien eingesetzt werden können.

- 5 Zur kurzen Erläuterung des bekannten Konzepts der „Hülle-Kern-Strategie“ wird dabei das Bauteil in einen Hüllbereich und einen Kernbereich aufgeteilt, wobei diese beiden Bereiche (vollständig) unabhängig voneinander parametrierbar werden können. Auch die Belichtungsstrategien in den Bereichen können unabhängig voneinander vorgesehen werden und entsprechend an einer Grenzlinie zwischen den Bereichen im Bauteilinneren wechseln. So kann im Hüllbereich beispielsweise eine vergleichsweise dünne Pulverschichtdicke und geringe Laserleistung und im Kernbereich eine vergleichsweise dicke Pulverschichtdicke und eine hohe Laserleistung vorgesehen werden, wobei die Schichtdicke des Kernbereichs üblicherweise ein Vielfaches der Schichtdicke des Hüllbereichs ist. Hinsichtlich der Belichtungsstrategie kann im Kernbereich eher eine Schachbrett- oder Streifenbelichtung vorgesehen werden, wogegen im Randbereich eher eine Offset-Filling-Strategie oder eine Vielzahl von Konturen umgesetzt werden können. So kann im Kernbereich eine hohe Aufbaurate bzw. Produktivität erreicht werden. Im Hüllbereich mit seinen eigenen Prozessparametern kann dagegen eine nach außen hin gute Oberflächenqualität erzeugt werden, die insbesondere nur mit einer geringeren Schichtdicke erreicht werden kann.
- 10
- 15
- 20 Im Unterschied zu dieser Hülle-Kern-Strategie erfordert die hierin beschriebene Vorgehensweise bei der schichtselektiven Belichtung keine echte Differenzierung in einen „Hüllbereich“ und einen „Kernbereich“. Bei der vorgeschlagenen selektiven Belichtung kann zum einen die Belichtung (insbesondere die vorgesehenen Laserparameter) des Bauteilinneren bis zur Außenkontur stufenlos angewandt werden und zum anderen kann die Belichtungsfläche schichtweise in den Downskin-Bereichen etwas verkleinert werden, um in der jeweiligen Schicht außerhalb des reduzierten Kernbereichs keine Energie einzubringen. Somit muss es keinen getrennt parametrierbaren „Hüllbereich“ geben, im Unterschied zur zuvor beschriebenen konventionellen „Hülle-Kern-Strategie“. Vielmehr kann durch eine in gewissen Rhythmen erfolgende Verkleinerung der Belichtungsfläche eine Art Hüllbereich erzeugt werden, der sich jedoch nur in der Schichtstärke vom „Kernbereich“ im Bauteilinneren unterscheidet und vor allem immer durchgängig mit dem Kernbereich belichtet werden kann. Es können so u.a. gleiche Prozessparameter wie beispielsweise Laserleistung, Verfahrgeschwindigkeit und Hatch-Abstand eingesetzt werden und zwar mit einer durchgängigen Belichtungsstrategie wie beispielsweise einer reihenweisen Belichtung einer Schachfeldstruktur. Man
- 25
- 30

erkennt, dass es gerade ein Vorteil der hierin beschriebenen selektiven Downskin-Belichtung ist, dass der Belichtungsvorgang durchgehend erfolgen kann und nicht getrennt für den Inskin-Bereich und den Downskin-Bereich zu parametrisieren ist.

- 5 Weitere Ausführungsformen beziehen sich auf die Übergänge zwischen unterschiedlichen Bestrahlungsstrategien. Dies betrifft insbesondere Bauteile, bei deren Aufbau im Hüllenbereich verschiedenen Zonen unterschiedliche Bestrahlungsstrategien zugrunde liegen, um die jeweilige Bauteilgeometrie optimal abzubilden. Die Zonen umfassen dabei insbesondere die Zonen für Downskin-, Upskin- und Inskin-Bereiche; d. h., bei der generativen Fertigung sind
- 10 die Bestrahlungsstrategien im Hüllenbereich untergliedert in für nach unten geneigte, nach oben geneigte und/oder seitliche Flächen des Bauteils. Dabei können auch in den einzelnen Downskin-, Upskin- oder Inskin-Bereichen mehrere Zonen eingesetzt werden, um die Bestrahlungsstrategien weiter differenzieren zu können.
- 15 Es wurde nun von den Erfindern ferner erkannt, dass an der Oberfläche sichtbare Übergangslinien entstehen können, wenn der Übergang der Zonen und damit der Bestrahlungsstrategien sprunghaft an definierten Winkeln im Verlauf der Oberfläche des Bauteils erfolgt. Diese Übergangslinien können insbesondere das optische Erscheinungsbild des Bauteils beeinflussen, eine entsprechende Nachbearbeitung erfordern und/oder mechanische Eigenschaften des
- 20 Bauteils negativ beeinflussen.

Um insbesondere die Optik und ggf. Form und mechanische Eigenschaften der Bauteile zu verbessern, schlagen die Erfinder nun ferner vor, einen Zonenübergang nicht starr anhand eines Grenzwinkels festzulegen, sondern diesen sukzessive erfolgen zu lassen. Für die techni-

25 sche Umsetzung eines sukzessiven Zonenübergangs werden verschiedene Möglichkeiten vorgeschlagen. Insbesondere ist ein Zonenübergang in einem näher zu definierenden Winkelbereich möglich.

Wie nachfolgend auch anhand der Figuren 13 bis 16 erläutert wird, kann bei einem Bauteil ein

30 Übergang zwischen Zonen in einer Schicht erfolgen, wenn diese Schicht sich über Hüllenbereiche erstreckt, denen unterschiedliche Oberflächenverläufe in Downskin-, Upskin- und Inskin-Bereichen zugeordnet sind. Diese werden hierin als Zonenübergänge in X-/Y-Richtung, d. h., in der Schichtebene, bezeichnet. Ferner können benachbarte Schichten unterschiedlichen Zonen zugeordnet werden, wenn diesen z. B. unterschiedliche Oberflächenstei-

gungen zugeordnet sind, denen wiederum unterschiedliche Bestrahlungsstrategien zugewiesen werden. Dies wird hierin als Zonenübergang in Z-Richtung, d. h., über Schichten hinweg, bezeichnet.

- 5 Zusammenfassend können Fertigungsverfahren, insbesondere Weiterbildung der zuvor beschriebenen Verfahren, die folgenden Merkmale aufweisen:

- In einigen Ausführungsformen weist die Oberfläche des dreidimensionalen Bauteils mindestens zwei aneinander angrenzende Zonen auf, denen mindestens zwei Bestrahlungsstrategien zugeordnet sind. Mindestens eine der Bestrahlungsstrategien weist den Bestrahlungsvorgang auf Grundlage des Schichtstrukturmodells auf, bei dem eine Dichte von bestrahlten Pulverschichten im Hüllbereich niedriger ist als im in Schichtebenenrichtung angrenzenden Kernbereich. In einem die Oberfläche des dreidimensionalen Bauteils formenden Übergangsbereich der Zonen kann ein Wechsel zwischen den Bestrahlungsstrategien innerhalb einer Schicht derart vorgenommen wird, dass eine räumliche Position des Wechsels in einer Abfolge von benachbarten Schichten bidirektional variiert. Ergänzend oder alternativ kann ein mehrfaches Hin- und Zurückwechseln zwischen den Bestrahlungsstrategien in einer Abfolge von benachbarten Schichten entlang der Schichtaufbaurichtung vorgenommen werden.
- 10
- 15
- 20 In einigen Ausführungsformen können die mindestens zwei aneinander angrenzenden Zonen mindestens eine Bestrahlungszone für den Hüllbereich und eine Bestrahlungszone für einen Abschnitt, der mit einem Bestrahlungsvorgang gemäß dem Kernbereich erzeugt wird, umfassen. Ergänzend oder alternativ können die mindestens zwei aneinander angrenzenden Zonen im Hüllbereich ausgebildet sein und/oder die mindestens zwei aneinander angrenzenden Zonen Upskin-, Downskin- und/oder Inskin-Zonen umfassen.
- 25

- In einigen Ausführungsformen kann die räumliche Position des Wechsels und/oder das Hin- und Zurückwechseln durch Zuordnung von Übergangsparametern, insbesondere von Zonenübergangswinkeln, in einem Winkelbereich um einen vorbestimmten Übergangswinkel bewirkt werden, wobei die Zuordnung insbesondere durch einen Zufallsalgorithmus oder nach einem vorgegebenen Muster erfolgt.
- 30

In einigen Ausführungsformen kann die räumliche Position des Wechsels und/oder das Hin- und Zurückwechseln durch Zuordnung eines vorbestimmten Übergangswinkels und Vergrö-

ßern oder Verkleinern sich aus dem Übergangswinkel ergebender Zonen bewirkt werden. Dabei kann das Vergrößern oder Verkleinern der sich aus dem Übergangswinkel ergebenden Zonen insbesondere durch einen Zufallsalgorithmus oder nach einem vorgegebenen Muster im Übergangsbereich erfolgen.

5

Weitere Aspekte umfassen ein Computerprogramm (oder ein Computerprogrammprodukt) und ein computerlesbares Medium, auf dem ein entsprechendes Computerprogramm gespeichert ist. Das Computerprogramm/Computerprogrammprodukt umfasst Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer, insbesondere durch eine computerimplementierte Steuerungseinheit zum Betreiben einer Fertigungsvorrichtung zur generativen Fertigung eines dreidimensionalen Bauteils, den Computer/die Steuerungseinheit dazu veranlassen, die hierin beschriebenen Verfahren zur generativen Fertigung eines dreidimensionalen Bauteils aus einem Pulver auszuführen/zu veranlassen.

10

Das Computerprogramm/ Computerprogrammprodukt und das computerlesbare Medium sind entsprechend zum Ausführen einer der zuvor genannten Verfahren vorgesehen. Das Computerprogramm kann auf einem nicht-flüchtigen Speicher, der insbesondere als Teil einer Steuerungseinheit zum Betreiben einer Fertigungsvorrichtung zur generativen Fertigung eines dreidimensionalen Bauteils verwendet wird, abgelegt sein.

20

Das computerlesbare Medium und die Computerprogramme/Computerprogrammprodukte können ferner computerausführbare Instruktionen aufweisen, die dazu ausgelegt sind, eine Fertigungsvorrichtung zur generativen Fertigung eines dreidimensionalen Bauteils nach Anspruch 19 zu veranlassen/anzusteuern.

25

Hierin werden Konzepte offenbart, die es erlauben, zumindest teilweise Aspekte aus dem Stand der Technik zu verbessern. Insbesondere ergeben sich weitere Merkmale und deren Zweckmäßigkeiten aus der folgenden Beschreibung von Ausführungsformen anhand der Figuren. Von den Figuren zeigen:

30

Fig.1 eine schematische räumliche Darstellung einer beispielhaften generativen Fertigungsvorrichtung,

Fig. 2 eine schematische Schnittansicht der generativen Fertigungsvorrichtung aus Fig. 1 parallel zur XY-Ebene durch den Fertigungsraum,

- Fig. 3 eine schematische Schnittansicht der generativen Fertigungsvorrichtung aus Fig. 1 parallel zur XZ-Ebene durch den Fertigungsraum wie in Fig. 2 angedeutet,
- Figuren 4A und 4B schematische Skizzen zur Verdeutlichung von unterschiedlichen Dichten von bestrahlten Schichten im Downskin-Bereich und im Kernbereich,
- Figuren 5A und 5B schematische Schnittdarstellungen zur Verdeutlichung von beispielhaften Umsetzungen einer schichtselektiven Bestrahlung im Übergangsbereich zwischen Hülle und Kern,
- Figuren 6A bis 6D schematische Skizzen zur Verdeutlichung der schichtselektiven Bestrahlung in einer Aufsicht auf Schichten im Übergangsbereich zwischen Hülle und Kern,
- Fig. 7 eine schematische Schnittdarstellung eines weiteren Beispiels einer schichtselektiven Bestrahlung im Übergangsbereich zwischen Hülle und Kern,
- Fig. 8 eine schematische Schnittdarstellung eines Bauteils, das mit schichtselektiver Bestrahlung gefertigt wurde,
- Fig. 9 eine Aufnahme von mehreren Bauteilen, deren Überhangbereiche mit schichtselektiver Bestrahlung gefertigt wurden,
- Fig. 10 eine schematische Skizze zur Verdeutlichung von unterschiedlichen Dichten von bestrahlten Schichten allgemein im Hüllbereich und im Kernbereich,
- Fig. 11 eine Skizze zur Verdeutlichung des möglichen Einflusses der Korngröße von Pulver bei dünnen Schichten,
- Fig. 12 eine Skizze zur Verdeutlichung der Verwendung von variierten Laserparametern bei der Bestrahlung konturnaher Bereiche,
- Fig. 13 eine Skizze zur Verdeutlichung verschiedener Zonen im Hüllbereich eines gekippten zylindrischen Bauteils,
- Fig. 14 eine Skizze zur Verdeutlichung von Übergangsbereichen von Zonenübergängen an der Oberfläche eines Testobjekts,
- Fig. 15 eine Skizze zur Verdeutlichung einer Glättung eines Zonenübergangs durch Einführen eines Übergangsbereichs in einer Schicht und
- Fig. 16 eine Skizze / ein Foto zur Verdeutlichung einer Glättung eines Zonenübergangs durch einen Übergangsbereichs in Schichtaufbaurichtung.

Hierin beschriebene Aspekte basieren zum Teil auf der Erkenntnis, dass die tatsächliche Umsetzbarkeit einer gewünschten Geometrie oft mit dem Beschichtungsprozess und insbesondere mit der Bewegungsrichtung des Beschichters (Auftragsrichtung) zum entstehenden Bauteil korreliert. So wurde erkannt, dass es bei der Fertigung von oberflächennahen Bereichen, die gegen die Bewegungsrichtung des Beschichters zeigen, zu einem Prozessabbruch oder zu Bauteildefekten kommen kann. Die grundlegenden Vorteile von LMF-Verfahren im Sinne der Gestaltungsfreiheit und des endkonturnahen Aufbaus einer Geometrie wird durch eine derartige richtungsabhängige Baubarkeit von Überhängen sehr stark eingeschränkt. Dies berücksichtigend wurden die hierin offenbarten Konzepten erarbeitet, mit denen z. B. der Aufbau von Überhängen bei Stählen, die gegen die Beschichterbewegungsrichtung mit Überhangwinkeln von 60° und weniger zeigen, erfolgen kann.

Bei der generativen Fertigung werden üblicherweise Schichtmodelle verwendet, die auf einer Sequenz von Schichten basieren, denen jeweils eine schichtspezifische Kontur des zu erzeugenden Bauteils zugeordnet ist. Insbesondere wird hierin ein Bestrahlungsplan vorgeschlagen, der auf einem Schichtmodell basiert und der in der Nähe der Kontur des Bauteils in einer Schicht, insbesondere in der Nähe der Kontur in Downskin- und Sideskin-Bereichen, weniger Energie einbringt, indem nur noch jede z. B. zweite oder dritte (oder n-te) Schicht belichtet wird (oder z. B. jede zweite oder dritte (oder n-te) Schicht nicht belichtet wird), wobei die Belichtung aber mit der im Wesentlichen gleichen, (vollen) Leistung der Laserstrahlung erfolgt, wie sie im Kernbereich eingestrahlt wird. Das vorgeschlagene Vorgehen vereinfacht den Bestrahlungsvorgang wesentlich und verringert die Zahl der bei der Bestrahlung einzustellenden Variablen. Der Bestrahlungsplan definiert nur noch, wie viele Schichten belichtet werden sollen und wie weit von der Kontur aus die nicht-belichteten Schichtbereiche in das Bauteil hineinragen sollen. Die Leistung der Laserstrahlung wird im Wesentlichen nicht mehr variiert und bleibt zumindest in einem Übergangsbereich Kern-Hülle fix. Es wird angemerkt, dass im Überhangsbereich des Bauteils keine abwechselnd geschmolzenen und nicht-geschmolzenen Schichten entstehen, sondern ein durchgehend aufgeschmolzenes Pulvervolumen, da die Belichtung einer Pulverschicht zu einer Schmelze führt, die über die jeweils bestrahlte Pulverschicht hinaus wirkt. Gerade bei sehr dünnen Schichten und einer Leistung der Laserstrahlung, wie sie im Kernbereich üblich ist, wird das Pulver von zwei oder mehr Schichten zumindest teilweise aufgeschmolzen.

Zusammenfassend wird erfindungsgemäß in einem schichtbasierten Bestrahlungsvorgang eine Dichte von bestrahlten Schichten im Hüllbereich gewählt, die niedriger ist als im Kernbereich. Damit liegt bei der Belichtung des z. B. Downskin-Bereichs effektiv eine höhere Schichtstärke und damit eine geringere Volumenenergie vor. Beispielsweise wird insbesondere im Downskin-Bereich nur jede n-te Schicht durchgängig mit der dem Kernbereich zugeordneten Intensität belichtet. In den dazwischenliegenden Schichten wird der Downskin-Bereich ausgespart. Die eingebrachte Volumenenergie entspricht z. B. bei durchgängiger Belichtung jeder zweiten Schicht der Hälfte und bei Belichtung jeder dritten Schicht einem Drittel der Volumenenergie im Kern. Dies kann die angesprochenen Vorteile bewirken, wie beispielsweise eine Baubarkeit auch entgegen der Auftragsrichtung des Beschichters von Überhangwinkeln bis zu 30°, eine Reduzierung des Energieeintrags im oberflächennahen Bereichen und/oder eine Vermeidung/Reduzierung einer Pulveranhäufung vor dem Bauteil.

Allgemein kann die Belichtung des Downskin-Bereichs als durchgängige Belichtung mit den Inskin-Parametern nur z. B. jeder zweiten, dritten oder n-ten Schicht komplett bis an den geplanten Konturverlauf des Bauteils in der jeweiligen Schicht durchgezogen werden. In den dazwischen liegenden Schichten wird der z. B. Downskin-Bereich nicht belichtet, sondern einfach in der Bestrahlungsplanung weggelassen.

Es wurde ferner erkannt, dass diese Vorgehensweise auch im Upskin-Bereich verwendet werden kann, um auch dort die Qualität des Hüllbereichs, insbesondere der Oberfläche, zu verbessern.

Die Figuren 1 bis 3 zeigen eine beispielhafte generative Fertigungsverfahren 1 zur additiven Erzeugung eines dreidimensionalen Bauteils 3 aus einem pulverförmigen Material (allgemein Pulver 5) in einer perspektivischen Ansicht sowie in schematischen Schnittansichten von oben bzw. von vorne. Zum Fertigungsverfahren wird auf die eingangs erwähnte EP 2 732 890 A2 verwiesen.

Die Fertigungsverfahren 1 umfasst ein Gehäuse 7, das einen Fertigungsraum 9 bereitstellt. Über eine Tür 11A in einer Vorderwand 11 besteht Zugang zum Fertigungsraum 9. Das Gehäuse 7 umfasst ferner ein Schutzgasabsaugsystem mit z. B. Auslassöffnungen 13A zum Fluten des Fertigungsraums 9 mit inertem Gas sowie Absaugöffnungen 13B. Ein Strömungsverlauf ist beispielhaft mit Pfeilen 13 in Fig. 2 angedeutet. Ein beispielsweise oberhalb des Ge-

häuses angebrachtes Bestrahlungssystem 15 ist zur Erzeugung von Laserlicht, welches das Pulver 5 zu Materialschichten eines 3D-Bauteils 3 verschmilzt, ausgebildet.

Der Fertigungsverfahren findet auf einer Arbeitsfläche 27 statt, die den Boden des Fertigungs-
5 raums 9 bildet und einen Plattformbereich 17A, einen Vorratsbereich 25A und (optional) einen Pulversammelbereich 29A aufweist. Der Fertigungsverfahren erfolgt auf einer Bauplattform 17, die im Plattformbereich 17A z. B. zentral vor der Tür 15A angeordnet ist. Die Bauplattform 17 liegt auf einem Träger 19 auf, der in einem Bauzylinder 21 in der Höhe (in Fig. 3 in $\pm Z$ -Richtung) verfahren werden kann. Der Vorratsbereich 25A dient der Bereitstellung von fri-
10 schem Pulver 5A, das zur lagenweisen Herstellung des 3D-Bauteils 3 in den Bauplattformbereich 23A mit einem Beschichter 23 übertragen wird.

Während der generativen Fertigung wird auf der Bauplattform 17 wiederholt ein mit beispielsweise metallischem oder keramischem Pulver gefülltes Pulverbett zur Bestrahlung mit
15 dem Laserlicht von oben vorbereitet. Wie in den Figuren 1 bis 3 gezeigt wird, dient der Beschichter 23 (oft auch Schieber oder Wischer genannt) zum Verteilen des Pulvers 5 in X-Richtung während des Herstellungsprozesses. Während des Beschichtens streicht ein unterer Bereich des Beschichters 23 über die Arbeitsfläche 27, nimmt Pulver mit und befüllt dadurch z. B. bzgl. der Arbeitsfläche abgesenkte Bereiche. In diesen Bereichen definiert der untere
20 Bereich des Beschichters 23 das Niveau der Pulveroberfläche. Z. B. wird frisches Pulver 5, das in einem im Vorratsbereich 25A vorgesehenen Vorratszylinder 25 bereitgestellt wird, mit dem sich in X-Richtung bewegendem Beschichter 23 über die Arbeitsfläche 27 in den Plattformbereich 17A verschoben, wo es sich im Bereich der abgesenkten Bauplattform 17 sammelt und dieser entsprechend unter Ausbildung einer frischen Pulverschicht beschichtet wird.
25 Nicht benötigtes Pulver wird beispielsweise in einen im Pulversammelbereich 29A vorgesehenen Sammelzylinder 29 gebracht.

Wie in den Figuren beispielhaft gezeigt wird, sind der Vorratsbereich 25A, der Plattformbereich 17A und der Pulversammelbereich 29A nebeneinander in X-Richtung versetzt angeordnet und der Beschichter 23 ist in $\pm X$ -Richtung verschiebbar.
30

Der Fertigungsverfahren umfasst zusammenfassend ein wiederholtes Absenken der Bauplattform 17 im Bauzylinder 21, ein Aufbauen einer frischen Pulverschicht auf der Bauplattform 17 und ein Verschmelzen der Pulverschicht in dem Bereich, in dem gemäß dem auf einer

Schichtmodellstruktur basierenden Bestrahlungsplan das 3D-Bauteil 3 entstehen soll. Fig. 3 zeigt das teilweise fertiggestellte 3D-Bauteil 3, das in nicht verschmolzenem Pulver 5 eingebettet ist.

- 5 Die hierin offenbarten Fertigungsverfahren können z. B. in eine Fertigungssteuerung integriert werden. Dafür weist die Fertigungsvorrichtung 1 eine Steuerungseinheit 31 auf, in der der Bestrahlungsplan abgelegt ist und die den Vorgang nach dem Bestrahlungsplan durchführt. In den Figuren 1 und 3 ist die Steuerungseinheit 31 schematisch gestrichelt angedeutet und überstrichpunktirt gezeigte Datenverbindungen 33 mit dem Bestrahlungssystem 15 und dem Antrieb 35 der Bauplattform 17 und dem Antrieb des Beschichters 23 verbunden.
- 10

Die hierin offenbarten Konzepte erlauben es, mit der Fertigungsvorrichtung 1 3D-Bauteile schichtweise aufzubauen. Beispielhafte Schichtmodellstruktur von 3D-Bauteilen sind in den Figuren 4A und 4B schematisch dargestellt sind.

15

- Als ein erstes Beispiel zeigt Fig. 4A einen Ausschnitt einer Schichtmodellstruktur eines Bauteils 37 mit einem Kernbereich 39 und einem Hüllbereich 41. Der Hüllbereich 41 ist in diesem Fall ein Downskin-Bereich, der sich zum einen auf einer Unterseite 37A des Bauteils 37 und zum anderen entlang eines Überhangs 37B erstreckt, wobei angenommen wird, dass die Laserstrahlung in Richtung des Pfeils 45 von oben senkrecht zur Ausbildung der Schichtstruktur des Bauteils 37 einfällt. Der Überhang 37B bildet eine schräge Seitenfläche aus, die sich in einem Winkel α bezüglich der Schichtebene (bei der Herstellung im Wesentlichen gegeben durch die Ebene der Bauplattform 17) erstreckt. Im Hüllbereich 41 verdeutlichen die weiter beabstandeten Linien eine geringere Dichte von bestrahlten Schichten 43A im Downskin-Bereich 41A und die näher beieinanderliegenden Linien eine höhere Dichte von bestrahlten Schichten 43B im Kernbereich 39. In Fig. 4A wird die Dicke des Hüllbereichs 41 auf der Unterseite 37A durch einen Pfeil D angedeutet.
- 20
- 25

- Fig. 4B zeigt als ein weiteres Beispiel ein Bauteil 37' mit einem Kernbereich 39' und einem Hüllbereich 41'. Im Unterschied zum Bauteil 37 der Fig. 4A ist die Unterseite 37A' durchgehend gekrümmt kugelförmig ausgebildet. Die Dicke (Pfeil D') des Hüllbereichs 41' hängt im Beispiel der Fig. 4B von der Orientierung der Oberfläche des Bauteils 37' bezüglich der Schichtebene ab. Sie verjüngt sich umso mehr, je steiler die Oberfläche zur Schichtebene orientiert ist. Die Dicke kann bspw. bei einem Winkel von ca. 90° zur Normalen der Schichtebene
- 30

ne auf eine geringere Dicke (Pfeil D'') und evtl. bei Fortsetzung auf Winkeln von über 90°, bei denen die Oberfläche einem Upskin-Bereich entspricht, auf null zurückgehen. Die Dicke kann ferner schon bei einem Winkel von ca. 90° oder weniger auf null abnehmen. Auch in Fig. 4B ist die Dichte von bestrahlten Schichten 43A, 43B im Hüllbereich 41' und im Kernbereich 39' durch die Nähe der Linien der Schraffuren angedeutet.

Die gezeigten Beispiele der Figuren 4A und 4B verdeutlichen den Ansatz, dass eine Parametrisierung der Bestrahlung in lateraler Richtung (d. h., in Richtung der Schichtebene) und senkrecht zur Schichtebene vorgenommen werden kann. So kann der Hüllbereich 41, 41' wie nachfolgend erläutert durch das Ausmaß der einzelnen bestrahlten Bereiche (und somit durch das Ausmaß der nicht bestrahlten Bereiche) in der Schichtebene in Zusammenspiel mit der Anzahl der von der Schichtselektion betroffenen Schichten definiert werden. Auf diese Weise kann der Downskin-Bereich bei großen Überhangwinkeln gezielt eingestellt werden.

Wie in den Beispielen ferner gezeigt wird, erfolgt auf der Unterseite eine Bestrahlung mehrerer dicker Schichten jeweils mit der Intensität, die für die Bestrahlung von n-fach dünneren Schichten im Kernbereich entwickelt wurden, sodass insgesamt der Energieeintrag auf der Unterseite reduziert wird und dies trotz z.B. Auftragens von n-fach dünneren Schichten. Erst im Kernbereich werden die nun n-fach dünneren Schichten alle bestrahlt und die Fertigung basierend auf den Inskin-Parametern durchgeführt. Auf diese Weise kann ein Durchschmelzen durch den Hüllbereich auf der Unterseite durch die erhöhte Anzahl der von der Schichtselektion betroffenen Schichten vermieden werden, insbesondere da auf der Unterseite 37A die Wärme durch die Bestrahlung bei der Fertigung weniger gut abfließen kann, als bspw. im Upskin-Bereich, wo sie in das bereits verfestigte Bauteil 3 abfließen kann.

Die Figuren 5A und 5B verdeutlichen anhand von im Schnitt dargestellten Schichtmodellstrukturen wie das Ausmaß eines Hüllbereichs durch die schichtselektive Bestrahlung festgelegt werden kann. In Fig. 5A sind schematisch vier Kernschichten nk gezeigt, auf denen eine Überhangstruktur 47 gebildet werden soll. Die Überhangstruktur 47 schließt sich an einen im Wesentlichen oberhalb der Kernschichten nk liegenden Kernbereich 39'' an. Eine Schicht n1 leitet die Ausbildung eines sich unter einem Winkel zur Schichtebene erstreckenden Überhangs ein.

Allgemein wird hierin als Schichtebene eine Ebene verstanden, die im Schichtmodell üblicherweise der durch die Bewegung des Beschichters geformten Pulverbetttoberfläche entspricht.

- 5 Die Überhangstruktur 47 wird durch Ausbildung eines speziell gefertigten Hüllenbereichs 41", der über selektives Bestrahlen der nachfolgenden Schichten erzeugt wird, umgesetzt. Wesentlich ist dabei, dass nicht jede Schicht im Hüllenbereich 41" bis zur Kontur des geplanten Bauteils bestrahlt wird, sondern dass zumindest eine Selektion bei der schichtbasierten Bestrahlung vorgenommen wird, so dass die Bestrahlung einiger Schichten in einem Abstand
- 10 von der Kontur beendet wird. Beispielhaft ist in Fig. 5A ein Abstand a für die Schicht $n8_s$ eingezeichnet, in dem die Bestrahlung der Pulverschicht vor der gewünschten Kontur endet. Eine gleichmäßige Steigung des Überhang angenommen, können im gezeigten Beispiel auch die Schichten $n6_s$, $n4_s$ und $n2_s$ in einem bezüglich der Kontur eingeschränkten Ausmaß bestrahlt werden. Der Abstand a kann bei mit $40\text{ }\mu\text{m}$ Schichtdicke aufgetragenen Schichten z.
- 15 B. im Bereich von $300\text{ }\mu\text{m}$ liegen.

Fig. 5B zeigt die Anfangsschichten der Überhangstruktur 47 vergrößert. Die Schicht $n1$ (d. h., der bestrahlte Bereich der $n1$ -Pulverschicht) erstreckt sich um einen Abstand $d1$ über die oberste Kernschicht nk lateral hinweg. Das Ende der Schicht $n1$ definiert einen Punkt der für

20 die Übergangsstruktur 47 gewünschten Kontur 50B in der Schicht $n1$. Z. B. liegt $d1$ in diesem Übergangsbereich zur Überhangstruktur bei $150\text{ }\mu\text{m}$ weiter außen als die Kontur 50A ($40\text{ }\mu\text{m}$ Schichtdicke). Allgemein wird mit der Leistung aus dem Kernbereich eingestrahlt, so dass zumindest teilweise auch Pulver unterhalb der Schicht $n1$ aufgeschmolzen wird. Die Bestrahlung in einem durch $d1$ gegebenen Gebiet formt die Oberfläche des Bauteils im Überhang.

25

Gemäß der schichtselektiven Bestrahlung wird nun die Bestrahlung der Schicht $n2_s$ nicht bis zu dem für die Übergangsstruktur 47 gewünschten Konturverlauf fortgesetzt. Stattdessen endet die Bestrahlung in einem Abstand $d2$ vor dem Ende der Schicht $n1$ und in einem Abstand $a2$ vor dem Ende der Schicht $n1$ (Kontur 50C). Somit verbleibt nicht aufgeschmolzenes Pulver

30 am seitlichen Ende der Schicht $n2_s$ beispielsweise in einem Streifen von $d2=200\text{ }\mu\text{m}$. Man erkennt, dass die gesamte Bestrahlung der Schicht $n2_s$ in direkter Nachbarschaft zu einer zuvor bestrahlten Schicht (hier der Schicht $n1$) erfolgt.

Das Ende der Schicht n3 soll nun wieder den für die Übergangsstruktur 47 gewünschten Konturverlauf (Kontur 50D) definieren. Dazu erstreckt sich die Schicht n3 um einen Abstand $d3+d2$ (z. B. 400 μm) über die Schicht n2_s lateral hinweg. Das Ende ragt somit um einen Abstand d3 (z. B. 200 μm) über das Ende der Schicht n1 hinaus und definiert einen weiteren Punkt, der die Schräge der Oberfläche in diesem Bereich der Überhangstruktur 47 bestimmt. Die Bestrahlung der Schicht n3 wirkt im Hüllbereich 41" anfangs auf eine doppelt so dicke Pulverschicht (im Beispiel 80 μm) oberhalb der Schicht n1 in einem durch d2 gegebenen Gebiet. Jenseits davon gibt es keine untere zuvor bestrahlte Schicht, so dass die Bestrahlung der Schicht n3 in einem durch d3 gegebenen Gebiet nun die Oberfläche des Bauteils im Überhang bildet.

Ähnlich Schicht n2_s endet die Bestrahlung der Schicht n4_s in einem Abstand d4 (z. B. 300 μm) vor dem Ende der Schicht n3. Es verbleibt entsprechend nicht aufgeschmolzenes Pulver am seitlichen Ende der Schicht n4_s, das bei der Bestrahlung der Schicht n5 wieder zu einer doppelt so dicken Pulverschicht führt. Im durch d5 gegebenen Gebiet bildet dann die Schicht n5 die Oberfläche des Bauteils im Überhang. Die Abstände d6 und a6 definieren entsprechend die Schicht n6_s.

Das schichtselektierte Vorgehen bezieht sich somit auf die Selektion von Schichten (im Beispiel n2_s, n4_s, n6_s, n8_s), die nicht zur Oberflächenformung beitragen sollen, und von Schichten (im Beispiel n1, n3, n5, n7, n9), die bis zum Konturverlauf bestrahlt werden sollen und somit die Oberflächenform bestimmen.

Die Figuren 6A bis 6D verdeutlichen die schichtselektive Bestrahlung in einer Aufsicht auf die Schichten nk, n1, n2_s, n3 im Übergangsbereich zwischen Hüllbereich 41" und Kernbereich 39", wie sie beispielsweise für einen geraden Konturverlauf der Schichten im Bereich der Überhangstruktur 47 (siehe auch Fig. 9) gegeben sein können. In den Figuren sind bestrahlte Bereiche gepunktet dargestellt, wobei zusätzlich beispielhafte Scanvektoren 49A, 49B, 49C, 49D eingezeichnet wurden. Ferner erkennt man die geradlinigen Abschnitte der Konturen 50A, 50B, 50C, 50D, die der Überhangstruktur 47 zugeordnet sind und (im Schnitt) in den Figuren 5A und 5B eingezeichnet waren.

Die Geometrie der Schicht nk bildet den Ausgangspunkt. Die darüber liegende Schicht n1 erstreckt sich über den bestrahlten Bereich der Schicht nk hinweg. Zur Verdeutlichung wurde

in Fig. 6B eine Art Kernbereich k1 angedeutet, der sich oberhalb des bestrahlten Bereichs der Schicht nk befindet. Neben dem Kernbereich k1 schließt sich ein weiterer bestrahlter Bereich h1 an, der den Hüllbereich 41" mitbestimmt und in diesem Fall dem Abstand d1 zugeordnet ist.

5

Die Schicht n2_s erstreckt sich nur über einen Teil des bestrahlten Bereichs der Schicht n1 und stellt somit nur einen Kernbereich k2 dar, der in einem Abstand d2 vor dem Ende der Schicht n1 endet.

- 10 Die Schicht n3 erstreckt sich über den bestrahlten Bereich der Schicht n2_s hinweg, d. h., ein weiterer bestrahlter Bereich h3 schließt sich an einen Kernbereich k3 an. Ein erster Teil 51A des Bereichs h3 ist dem Abstand d2 zugeordnet und erstreckt sich oberhalb der Schicht n1. Ein zweiter Teil 51B ist dem Abstand d3 zugeordnet und weist keinen bereits bestrahlten Bereich unter sich auf. Der weitere bestrahlte Bereich h3 bestimmt den Hüllbereich 41" mit.

15

Je nach Winkel des Überhangs kann in einigen Ausführungsformen ein Ausmaß der weiteren bestrahlten Bereiche und insbesondere der Teile 51A, 51B in der Auftragsrichtung gewählt werden. Je größer diese Bereiche sind, desto flacher kann die Überhangstruktur werden. Die Belichtung, d. h., der Energieeintrag, wird an das Ausmaß der weiteren bestrahlten Bereiche
20 dadurch angepasst, dass z. B. nur noch jede (n+x)-te Schicht belichtet wird, so dass sich eine für den Hüllbereich 41" günstige Volumenenergie einstellt.

- Allgemein kann der Energieeintrag in Abhängigkeit vom Überhangwinkel angepasst werden, sodass beispielsweise mit zunehmendem Überhangwinkel ein höheres Vielfaches der Schichten im Hüllbereich belichtet wird. Beispielsweise kann eine Belichtung von Downskin-Bereichen im Hüllbereich von Überhängen mit Oberflächen, die sich in einem Winkelbereich von 0° bis X° erstrecken, jede 4. Schicht (oder allgemein jede n-te Schicht) belichtet werden. Bei Oberflächen, die sich in einem Winkelbereich von $X^\circ - Y^\circ$ erstrecken, kann jede
25 2. Schicht (oder allgemein jede m-te Schicht mit $m < n$) belichtet werden und bei Überhängen mit Oberflächen, die sich in einem Winkelbereich von $Y^\circ - 90^\circ$ erstrecken, kann jede Schicht
30 bis zur Kontur belichtet werden. In diesem Fall ist der Downskin-Bereich im Hüllbereich anhand mehrerer Überhangwinkel (hier z. B. $\alpha_1 = X^\circ$ und $\alpha_2 = Y^\circ$) in mehrere (hier z. B. drei) Zonen untergliedert. Die Zonen grenzen an den Überhangwinkeln aneinander an.

Fig. 7 zeigt schematisch weitere beispielhafte Schichtmodelle in einer Schnittdarstellung.

Hierzu zeigt Fig. 7 in einer schematischen Schnittdarstellung, dass sich nur jede vierte Schicht $n(x)$, $n(x+4)$, $n(x+8)$, $n(x+12)$, bis zum gewünschten Konturverlauf in der jeweiligen Schicht fortsetzen kann. Dies kann beispielsweise hilfreich sein, wenn sehr dünne Schichten von wenigen $10\text{ }\mu\text{m}$ mit dem Beschichter aufgetragen werden, so dass die jeweils drei dazwischen liegenden Schichten n_s zu der gewünschten Reduzierung des Energieeintrags im Hüllenbereich führen. In einer mit durchgezogenen Linien für die Schichten n_s gezeigten Ausführungsvariante enden die (verkürzt bestrahlten) Schichten n_s übereinander, so dass im überstehenden Bereich der Schichten $n(x+4)$, $n(x+8)$, $n(x+12)$ immer die vierfache Schichtdicke gegeben ist.

Alternativ können die Schichten n_s mit einem Versatz dem Verlauf der Oberfläche des Überhangs folgen, wie es gepunktet für die Schichten n_s gezeigt wird. In dieser alternativen Ausführungsform kann jede der Schichten beispielsweise um $200\text{ }\mu\text{m}$ verkürzt von der Kontur bestrahlt werden, so dass sich ein gleichmäßiger Hüllenbereich ausbildet.

Fig. 8 verdeutlicht schematisch ein Bauteil 3', das mit schichtselektiver Bestrahlung auf einer Bauplattform 17 gefertigt wurde und dessen Oberfläche sich von der Bauplattform unter einem Winkel α nach oben erstreckt. Schematisch erkennt man hellgrau hinterlegt die Bereiche der Schichten, die bestrahlt wurden. Der gepunktete Bereich deutet den Bereich dünnerer Dichte an bestrahlten Schichten, d. h., einen Hüllenbereich 41''' mit reduziertem Energieeintrag an. Er bildet die Oberfläche des Bauteils 3' aus. Der Hüllenbereich 41''' umfasst einen Kernbereich 39'', in den der (maximale) Energieeintrag vorgenommen wurde.

Es wird angemerkt, dass im Überhangbereich des Bauteils keine abwechselnd geschmolzenen und nicht-geschmolzenen Schichten entstehen, sondern ein durchgehend aufgeschmolzenes Pulvervolumen, da die Belichtung einer Pulverschicht zu einer Schmelze führt, die über die jeweils bestrahlte Pulverschicht hinaus wirkt. Gerade bei sehr dünnen Schichten und einer Leistung der Laserstrahlung, wie sie im Kernbereich üblich ist, wird das Pulver von zwei oder mehr Schichten zumindest teilweise aufgeschmolzen.

Fig. 9 ist eine Aufnahme von mehreren Bauteilen, die auf einer Bauplattform 17 mit einer Vorrichtung zur generativen Fertigung hergestellt wurden, wie sie in den Figuren 1 bis 3 gezeigt

ist. Im Vordergrund erkennt man zwei Bauteile 53A, 53B, die eine saubere Oberflächenstruktur im Überhangbereich auch auf der Seite aufweisen, die einer Bewegungsrichtung 55 des Beschichters entgegen gerichtet ist. Die Überhangbereiche wurden ohne Stützstrukturen mit einem Überhangwinkel von 30° bzw. 45° erzeugt.

5

Ähnliche Anordnungen von in der Form identischen Prüfobjekten können den eingangs beschriebenen Testfertigungsvorgängen bei Prüfverfahren zur Bestimmung der Parameter eines generativen Fertigungsprozesses zugrunde liegen.

- 10 Fig. 10 verdeutlicht, dass das Konzept der selektiven Bestrahlung zur Beeinflussung der Eigenschaften des Hüllenbereichs nicht auf den Downskin-Bereich beschränkt ist, wie er beispielhaft in Zusammenhang mit den Figuren 4A und 4B beschrieben wurde. Man erkennt im Schnitt einen Kernbereich 57, der auf allen Seiten von einem Hüllenbereich umgeben ist, in dem die Dichte der bestrahlten Schichten reduziert wurde. Dabei wurde die Dicke des Hüllen-
- 15 bereichs im Downskin-Bereich 59A stärker gewählt als in den Sideskin- (Inskin-) Bereichen 59B und im Upskin-Bereich 59C. Die Bestrahlung der Schichten erfolgte in Richtung des Pfeils 61 gemäß einem Bestrahlungsplan, der nach den zuvor erläuterten Konzepten die Volumenenergie im Hüllenbereich anpasst. Alternativ könnte das Konzept der selektiven Belichtung auch lediglich in Downskin-Bereichen angewendet werden, die unterhalb eines kritischen
- 20 Winkels liegen und daher ansonsten mit Stützstrukturen gebaut werden müssten.

- Fig. 11 erläutert die eingangs beschriebene Situation, dass Pulverkorngößen des Pulvers 5 im Bereich der mit dem Beschichter 23 erzeugten Schichtdicke (angedeutet durch eine gestrichelte Linie 68) ein Anheben (Pfeil 69) und/oder Verformen von frisch erzeugten Bereichen eines
- 25 Bauteils 63 über eine Oberfläche 65 des Pulverbetts bewirken können. Insbesondere können sich besonders große Pulverkörner 67 an der Vorderseite des Bauteils 63 ansammeln und Druck auf den gerade eben erst mit dem Bestrahlungssystem 15 bestrahlten und frisch aufgebauten Bereich ausüben. Aufgrund der Verformung reduziert sich die Größe des Spalts zwischen der Unterkante des Beschichters 23 und dem oberen Ende des Bauteils.

30

Neben dem in Zusammenhang mit Fig. 11 angesprochenen Effekt des Anhebens von insbesondere Überhangstrukturen durch große Pulverkörner besteht ferner die Möglichkeit, dass sich die Überhangkante aufgrund von Eigenspannungen des Bauteils aus dem Pulverbett heraus verziehen kann. Auch dadurch kann sich die Größe des Spalts zwischen Beschichterunter-

kante und Überhangoberkante reduzieren. Da die Pulverkörner einen Durchmesser von ca. 15 µm bis 45 µm aufweisen, passen die größeren Pulverkörner nicht mehr durch den Spalt und können sich vor der Überhangkante stauen.

- 5 Wird der Überhang weiter in diese Richtung aufgebaut, kann der Effekt durch das bereits angestaute Pulver verstärkt werden und die Überhangkante zieht sich noch weiter in Richtung der Unterkante des Beschichters 23. So kann es zur Kollision zwischen der Bauteiloberkante und dem Beschichter kommen, was zum Abbruch des Bauprozesses führen kann. Die hierin offenbarten Konzepte können dieses Risiko reduzieren.

10

Zur Vollständigkeit wird erwähnt, dass der Ansatz einer Downskin-Belichtung, wie sie beispielsweise in Zusammenhang mit der eingangs erwähnten EP 3 127 635 A1 umgesetzt werden kann, ferner mit der hierin vorgeschlagenen selektiven Downskin-Belichtung kombiniert werden kann. Die Downskin-Belichtung mit den spezifisch bestimmten Energiewerten würde
15 in diesem Fall weiter in das Innere des Bauteils fortgesetzt und so nach Anwendung der selektiven Downskin-Belichtung umgesetzt.

20

Eine beispielhafte Implementierung der Verwendung von variierten Laserparametern bei der Bestrahlung konturnaher Bereiche wird in Zusammenhang mit Fig. 12 erläutert. Man erkennt ein Bestrahlungspattern 69, wie es z. B. für die Schicht n3 der Fig. 5B im Bestrahlungsplan
vorgesehen werden könnte.

25

Das Bestrahlungspattern 69 basiert auf schachfeldartig angeordneten (rechteckigen) Bestrahlungsfeldern, wobei jedem Feld ein spezifischer Belichtungspfad, umfassend mehrere Scanvektoren, zugeordnet ist. Auf der Innenseite (links in Fig. 12) erkennt man eine Anordnung von zwei Arten von (Kern-) Belichtungspfaden 71k, 73k, wobei die durchgezogenen Linien ein Einstrahlen mit Inskin-Parametern andeutet. Die Belichtungspfade 71k, 73k sind beispielhaft um 90° zueinander gedreht und bewirken ein Aufschmelzen des Pulvers im für den Kern vorgesehenen Umfang. Allgemein ist es üblich, eine derartige Untergliederung einer
30 Schicht in Bestrahlungsfelder vorzunehmen, wobei für die Bestrahlungsfelder unterschiedliche Bestrahlungsparameter insbesondere zur Homogenisierung des Volumenenergieeintrags im Bestrahlungsplan festgelegt werden können.

Auf der Seite der Konturlinie 50D' erkennt man Belichtungspfade 71r, 73r, die in konturnahen Feldern mit gestrichelten Linien zur Verdeutlichung einer reduzierten (variieren) Laserleistung dargestellt sind. Schneidet die Konturlinie 50D' ein Feld, wird nur der innen liegende Bereich des Feldes mit einem entsprechend verkürzten Scanvektor bestrahlt, um den geplanten Oberflächenverlauf des Bauteils auszubilden. Es wird angemerkt, dass kurze Scanvektoren in einem Feld aufgrund der teilweisen Bestrahlung eines Feldes die Fertigung verlangsamen, da dies viele Beschleunigungs- und Abbremsvorgänge für eine kleine belichtete Fläche erfordert.

- 5
10 Die Kombination des Ansatzes der selektiven Bestrahlung mit der Energiereduzierung führt nun dazu, dass z. B. größere Streifen entlang der Konturlinie 50D' vorliegen, die mit der (nur einmal einzustellenden) Laserintensität bestrahlt werden.

Zur Verdeutlichung des Hintergrundes sind in Fig. 12 zusätzlich eine Konturlinie 50C' und eine Konturlinie 50B' der vorausgehenden (verkürzt bestrahlten Schicht (in Fig. 5B die Schicht n2) und der letzten bis zur Kontur bestrahlten Schicht (in Fig. 5B die Schicht n1) eingezeichnet. Man kann erkennen, dass, wenn jede Schicht (n1, n2, n3) bis zur jeweiligen Kontur bestrahlt wird und nur im Überhangbereich die Intensität (z. B. gemäß EP 3 127 635 A1) reduziert wird, sich zwei schmale Streifen in den Schichten n2 und n3 ergeben. Die Streifen würden zwischen der Konturlinie 50B' und der Konturlinie 50C' und zwischen der Konturlinie 50C' und der Konturlinie 50D' verlaufen und mit entsprechend vielen kurzen Scanvektoren bestrahlt werden (nicht in Fig. 12 eingezeichnet).

Bei der selektiven Bestrahlung kann nun die Schicht n2 bis zur Konturlinie 50C' mit voller Intensität bestrahlt werden (nicht in Fig. 12 eingezeichnet). Dafür erstreckt sich die Bestrahlung der in Fig. 12 dargestellten Schicht n3 mit reduzierter Intensität in einem größeren Bereich zwischen der Konturlinie 50B' und der Konturlinie 50D' und kann so unter anderem mit entsprechend größeren Scanvektoren bestrahlt werden, was die Fertigung beschleunigt.

30 Ferner kann bei der Kombination des Ansatzes der selektiven Bestrahlung mit der Energiereduzierung der Bestrahlungsplan derart entworfen werden, dass der Übergang von den Inskin-Parametern auf die variierten Laserparameter nicht mehr exakt dem Verlauf der Konturlinie 50B' folgt, sondern die Schachfeldstruktur möglichst weitgehend bestehen bleibt. In der beispielhaften Umsetzung gemäß Fig. 12 werden all die Felder, durch die die Konturlinie 50B'

verläuft, als Ganzes mit der reduzierten Laserleistung bestrahlt. Entsprechend fällt nur im Bereich der Konturlinie 50D' eine Unterteilung der Felder in bestrahlte und nicht-bestrahlte Bereich an. In anderen Worten, die Schachfelder, die den Downskin-Bereich berühren bzw. bei denen die vorausgehende Schicht zumindest teilweise nicht bestrahlt wurde, werden mit reduzierter Leistung belichtet. Der Bestrahlungsvorgang kann so weiter beschleunigt werden.

Dies Vorgehen kann insbesondere dann vorteilhaft umgesetzt werden, wenn der Übergang aufgrund der selektiv nicht-bestrahlten Schichten weiter im Bauteilinneren liegt. Jedoch kann allgemein bei Bestrahlungsplänen, die im Überhangbereich die Intensität (z. B. gemäß EP 3 127 635 A1) reduzieren, der innere Wechsel auf Basis der Bestrahlungsfelder vorgenommen werden.

Fig. 13 zeigt schematisch ein schichtweise aufzubauendes Bauteil mit einem Abschnitt in der Form eines gekippten Zylinders 80. Zur Verdeutlichung wurden verschiedene Zonen auf der Zylindermantelfläche angedeutet: eine Upskin-Zone U, eine Inskin-Zone I und eine Downskin-Zone D, die durch Übergangslinien t_{UI} , t_{ID} schematisch in Fig. 13 getrennt werden. Die Zonen können in einem Hüllbereich 81A mit eigenen schichtspezifischen Bestrahlungsstrategien aufgebaut werden, die sich voneinander und eventuell auch von der Bestrahlungsstrategie eines Kernbereichs 81B unterscheiden. Man erkennt, dass für den gekippten Zylinder 80 jede Schicht eine Vielzahl von Ausrichtungswinkeln der Oberfläche aufweist. Beispielsweise umfasst die Downskin-Zone D einen Bereich von Überhangwinkeln, die bis zur am Umkehrpunkt verlaufenden Linie L hin von beiden Seiten aus zunehmen.

Die verschiedenen Zonen sind durch Winkelbereiche gegeben, unter denen die entsprechenden Oberflächen verlaufen. Beispielsweise bezieht sich die Upskin-Zone U auf nach oben gerichtete Oberflächen bis zu einem Übergangswinkel β_1 , der z. B. im Bereich von 93° liegt. Die Inskin-Zone I bezieht sich auf zur Seite gerichtete Oberflächen in einem Winkelbereich zwischen dem Übergangswinkel β_1 und einem, einen leichten Überhang charakterisierenden, Übergangswinkel β_2 (z. B. im Bereich von 93° bis 87°). Die Downskin-Zone D bezieht sich auf nach unten gerichtete Oberflächen, in diesem Fall ab dem Übergangswinkel β_2 , wobei eine maximale z. B. ohne Stützstrukturen umsetzbare Oberflächenschräge durch den fertigungsprozessspezifischen kritischen Winkel (beispielsweise bei 30° angestrebt) gegeben ist. Die Downskin-Zone D kann z. B. im Winkelbereich von 87° bis 0° ausgebildet werden, wobei sie in weitere Zonen untergliedert werden kann, z. B. in einen Winkelbereich von 87° bis 45° ,

einen Winkelbereich von 45° bis 30° und eventuell in einen Winkelbereich von 30° bis 0° , falls auch Oberflächen jenseits des kritischen Winkels z. B. mit Hilfe von Stützstrukturen umzusetzen sind.

- 5 Wie bereits angesprochen kann sich bei der strikten Umsetzung eines definierten Übergangswinkels eine sichtbare, entlang der Übergangslinie t_{UI} , t_{ID} verlaufende sprunghafte Änderung des Erscheinungsbildes der unterschiedlichen Bestrahlungsstrategien ausbilden.

- Wie hierin nun ferner vorgeschlagen wird, kann eine Übergangslinie t_{UI} , t_{ID} zwischen definierten Zonen U, I, D in einen etwas breiteren Übergangsbereich 83, der in Fig. 13 schematisch um die Übergangslinie t_{ID} angedeutet ist, ausgeweitet werden. Eine derartige Aufweitung führt zu einer Glättung des Erscheinungsbildes und der Struktur im Bereich der Übergangslinie t_{UI} , t_{ID} . So kann ein stufenloser Übergang zwischen benachbarten Zonen entstehen. Dies kann beispielsweise mit einem zufälligen Wechsel der den beiden benachbarten Zonen zugeordneten Bestrahlungsstrategien innerhalb des Übergangsbereichs 83 erfolgen.
- 10
15

- Fig. 14 zeigt ein generativ gefertigtes Testobjekt 85 mit mehreren Abschnitten 85A, 85B, in denen Überhangstrukturen ausgebildet werden (als schematische Strichzeichnung und Foto). Bei der Fertigung wurden zwei Bestrahlungsstrategien eingesetzt, da die Struktur in Upskin-Bereiche und einen Downskin-Bereich unterteilt wurde. Man erkennt im Abschnitt 85A eine Glanzlinie t_{UD} , die den Wechsel zwischen den Bestrahlungsstrategien andeutet.
- 20

- Schematisch wird in Fig. 14 verdeutlicht, wie im Bereich der Glanzlinie ein Übergangsbereich 83 vorgesehen werden kann, der bei der Zuordnung der Bestrahlungsstrategien in den einzelnen Schichten berücksichtigt werden kann, wie in Zusammenhang mit Fig. 15 erläutert wird. Zur Verdeutlichung ist in Fig. 14 ferner ein Übergangsbereich 83v angedeutet, in dem sich Bestrahlungsstrategien von Schicht zu Schicht, d. h., in vertikaler Richtung, abwechseln können, wie in Zusammenhang mit Fig. 16 erläutert wird. In beiden Fällen kann die Verwendung von Übergangsbereichen zu geglätteten Zonenübergängen an der Oberfläche eines Testobjekts führen.
- 25
30

Eine Glättung erfolgt somit beispielhaft in einem Übergangsbereich, in dem der Zonenübergang in den einzelnen Schichten variiert. Der Übergang zwischen einzelnen Zonen kann somit räumlich auf einen Bereich verteilt werden. Ein Zonenübergang in einem Übergangsbereich

ist entsprechend nicht starr anhand eines Grenzwinkels definiert, sondern erfolgt sukzessive, beispielsweise in einem näher zu definierenden Winkelbereich. Dadurch können benachbarte Zonen sowohl in der Schichtebene (hier der X-Y-Ebene) als auch in vertikaler Richtung, d. h., in der Schichtaufbaurichtung (hier der Z-Richtung), verschmelzen.

5

Eine Umsetzung eines Zonenübergangs bei der Ansteuerung eines Bauprozesses von Bauteilen kann durch verschiedene Ansätze erfolgen.

10

In einem ersten Ansatz erfolgt eine Definition verschiedener Zonen (Upskin-, Downskin-, Inskin-Zone) nicht streng ab einem bestimmten Winkel, sondern innerhalb eines definierten Winkelbereichs. Ein konkret in einer Schicht einzusetzender Zonenübergangswinkel wird schichtweise auf einen Wert innerhalb der angegebenen Winkelgrenzen festgelegt. Dies kann zufällig oder nach einem bestimmten Muster erfolgen. In letzterem Fall kann die Festlegung z. B. zu alternierenden Bestrahlungsstrategien in übereinander gelegenen Bereichen aufeinander-

15

folgender Schichten (allgemein einem mehrfachen Hin- und Zurückwechseln zwischen den Bestrahlungsstrategien in einer Abfolge von benachbarten Schichten entlang der Schichtaufbaurichtung) führen oder Bestrahlungsstrategien reichen unterschiedlich weit in einen die Oberfläche des dreidimensionalen Bauteils 3 formenden Übergangsbereich hinein.

20

In einem weiteren Ansatz erfolgt eine Definition verschiedener Zonen (Upskin-, Downskin-, Inskin-Zonen) wie bisher streng ab einem bestimmten Winkel. Jedoch wird in jeder Schicht eine der angrenzenden Zonen ausgehend vom theoretischen Zonenübergang etwas vergrößert oder verkleinert, beispielsweise um ein oder mehrere Bestrahlungsfelder erweitert oder reduziert. Dies kann wiederum innerhalb von zuvor gesetzten Grenzen zufällig oder nach einer

25

Systematik erfolgen.

30

In Fig. 15 ist eine Schicht 91 mit einem Abschnitt 41A, der einem Hüllbereich zugeordnet ist, und einem Abschnitt 39A, der einem Kernbereich zugeordnet ist, schematisch dargestellt. Im Hüllbereich sind zwei Bestrahlungsstrategien D1 und D2 in Abhängigkeit des Überhangwinkels vorgesehen. Zwischen den Bestrahlungsstrategien D1 und D2 erstrecken sich Übergangsbereiche 83, in denen je nach Zuordnung eine der Bestrahlungsstrategien D1 und D2 in schematisch angedeuteten Bestrahlungsfeldern D1/D2 eingesetzt wird.

Zur Vollständigkeit werden Übergangslinien t_{D1D2} , t_{D2D1} angedeutet, bei denen ohne Umsetzung der hierin vorgeschlagenen Konzepte die Übergänge zwischen D1 und D2 bzw. D2 und D1 verlaufen würden.

- 5 Gemäß den hierin vorgeschlagenen Ansätzen kann nun in einer Schicht der Wechsel zwischen den Bestrahlungsstrategien D1 und D2 im Übergangsbereich 83 gewählt werden, wobei jeder Wechsel innerhalb einer Schicht derart vorgenommen wird, dass eine räumliche Position des Wechsels in einer Abfolge von benachbarten Schichten bidirektional variiert. Dies wird in einer schematischen Aufsicht auf mehrere Schichten im Bereich der Übergangslinie t_{D1D2} in der rechten Figurenhälfte verdeutlicht. Jeder Wechsel ist als Strich 91 in den einzelnen Schichten eingezeichnet. Auf der linken Seite eines jeden Strichs 91 erfolgt die generative Fertigung mit der Bestrahlungsstrategie D1 und auf der rechten Seite eines jeden Strichs 91 mit der Bestrahlungsstrategie D2. Man erkennt, dass die Positionen der Striche (d. h., der Wechsel) in beide Richtungen variieren und diese entsprechend zueinander verschoben angeordnet sind. Dadurch ergibt sich ein mehrfaches Hin- und Zurückwechseln zwischen den Bestrahlungsstrategien in einer Abfolge von benachbarten Schichten entlang der Schichtaufbau- richtung (Z-Richtung in Fig. 15).

- Mit anderen Worten wird die räumliche Position des Wechsels und/oder das Hin- und Zurückwechseln durch Zuordnung von Übergangsparametern, insbesondere von Zonenübergangswinkeln, in einem Winkelbereich um einen vorbestimmten Übergangswinkel (der den angedeuteten Übergangslinien t_{D1D2} , t_{D2D1} entspricht) bewirkt. Allgemein kann die Zuordnung insbesondere durch einen Zufallsalgorithmus oder nach einem vorgegebenen Muster erfolgen. Des Weiteren kann die räumliche Position des Wechsels und/oder das Hin- und Zurückwechseln durch eine Zuordnung eines vorbestimmten Übergangswinkels und ein Vergrößern oder Verkleinern sich aus dem Übergangswinkel ergebender Zonen bewirkt werden. Das Vergrößern oder Verkleinern der sich aus dem Übergangswinkel ergebenden Zonen kann beispielsweise durch einen Zufallsalgorithmus oder nach einem vorgegebenen Muster im Übergangsbereich erfolgen.

30

Fig. 16 zeigt eine Seitenansicht eines Bauteils mit einer gekrümmten Seitenfläche, wobei die Seitenfläche ausgehend von einem Inskin-Bereich Downskin-Bereiche mit abnehmenden Überhangswinkeln ausbildet. Der Inskin-Bereich wird mit einer Bestrahlungsstrategie I und die Downskin-Bereiche werden mit zwei Bestrahlungsstrategien D1 und D2 im Hüllbereich

erzeugt. Fig. 16 zeigt entsprechend zwei Übergangsbereiche 83, die im Bereich von vorbestimmten Übergangsparametern (vorbestimmten Überhangwinkeln, die zwischen den Bestrahlungsstrategien differenzieren) definiert werden. Beispielhafte vorbestimmte Überhangwinkel sind in Fig. 16 mit Punkten 93 angedeutet, wobei sich entlang der zugehörigen Schicht eine Glanzlinie ausbilden würde, wenn die hierin vorgeschlagenen Konzepte zur Glättung des Übergangs nicht umgesetzt werden.

Beispielhaft sind zwei Ansätze a) und b) zur Glättung des Übergangs im oberen Übergangsbereich 83 auf der rechten Seite der Fig. 16 - unter a) und b) - skizziert. Gemäß dem Ansatz a) werden aufeinanderfolgende Schichten im oberen Übergangsbereich 83 zufällig mit entweder der Bestrahlungsstrategie D1 oder der Bestrahlungsstrategie D2 erzeugt. Ansatz b) bezieht sich auf die zuvor diskutierte Reduzierung der bestrahlten Schichten in Abhängigkeit von Überhangwinkelbereichen. Beispielsweise wird zwischen den Übergangsbereichen 83 nur jede zweite Schicht bestrahlt (Bestrahlungsstrategie D1') und bei den noch flacheren Überhangswinkeln wird nur jede dritte Schicht bestrahlt (Bestrahlungsstrategie D2'). Im oberen Übergangsbereich 83 werden die Bestrahlungsstrategien D1' oder D2' beispielsweise nach einem vorgegebenen Muster (hier alternierend) eingesetzt.

Es wird angemerkt, dass Ansatz b) entsprechend angepasst ebenfalls bei einem Wechsel in einer Schicht bzw. einer Gruppe von Schichten umgesetzt werden kann (siehe Beschreibung zur Fig. 15), wobei jeder Wechsel beispielsweise innerhalb einer Gruppe von Schichten derart vorgenommen wird, dass eine räumliche Position des Wechsels in einer Abfolge von benachbarten Gruppen von Schichten bidirektional variiert.

Alternative Vorgehensweisen hinsichtlich des Einsatzes von verschiedenen Bestrahlungsstrategien in einem Übergangsbereich beinhalten beispielsweise eine Bevorzugung einer Bestrahlungsstrategie nahe der Zone, in der die jeweilige Bestrahlungsstrategie primär umgesetzt wird.

Neben einer Verbesserung der Bauteiloptik können sich aus dem Einsatz von Übergangsbereichen weitere Vorteile ergeben wie der einer verbesserten Oberflächenqualität der Bauteile, da die Rauheit an Zonenübergängen reduziert werden kann, oder verbesserte mechanische Eigenschaften, da der Verschmelzungsprozess z. B. in geringem Maße positiv beeinflusst werden kann.

Ferner wird man erkennen, dass die hierin offenbarten Aspekte auch in Kombination mit dem sogenannten „Adaptive Slicing“ eingesetzt werden können. Beim Adaptive Slicing werden Bauteilflächen, die in einem nur kleinen Winkel zur Pulverschichtebenen stehen, mittels dün-
5 neren Schichten gefertigt als Bauteilflächen, die (nahezu) senkrecht zu den Pulverschichtebenen stehen. So kann z. B. eine weniger raue Oberfläche erhalten werden und die Fertigungsdauer kann bei insgesamt guter Oberflächenqualität verkürzt werden.

Es wird anerkannt werden, dass die hierin offenbarten Konzepte im gesamten Hüllbereich
10 oder nur in einem Abschnitt des Hüllbereichs umgesetzt werden können. Beispielsweise können die hierin offenbarten Konzepte in einem Überhangbereich umgesetzt werden, der entgegen der Beschichtungsrichtung ausgerichtet ist, aber nicht in einem Abschnitt des Hüllbereichs, der in Beschichtungsrichtung ausgerichtet ist.

15 Mit Blick auf die hierin offenbarten Konzepte, können auch in den Kern- und Hüllbereichen die Pulverschichtdicken über das Bauteil und damit auch der für den Kernbereich benötigte Energieeintrag hinweg variieren. Jedoch ist bei Umsetzung der hierin offenbarten Konzepte zumindest in einem Unterbereich des Schichtaufbaus die Dichte der bestrahlten Pulverschichten im Hüllbereich niedriger als die Dichte des angrenzenden Kernbereichs (falls ein sol-
20 cher vorhanden ist). Schichten des Hüllbereichs ohne in Schichtrichtung angrenzenden Kernbereich haben dann eine Dichte, die niedriger ist als ein Kernbereich, der daran angrenzen würde.

Es wird explizit betont, dass alle in der Beschreibung und/oder den Ansprüchen offenbarten
25 Merkmale als getrennt und unabhängig voneinander zum Zweck der ursprünglichen Offenbarung ebenso wie zum Zweck des Einschränkung der beanspruchten Erfindung unabhängig von den Merkmalskombinationen in den Ausführungsformen und/oder den Ansprüchen angesehen werden sollen. Es wird explizit festgehalten, dass alle Bereichsangaben oder Angaben von Gruppen von Einheiten jeden möglichen Zwischenwert oder Untergruppe von Einheiten zum
30 Zweck der ursprünglichen Offenbarung ebenso wie zum Zweck des Einschränkung der beanspruchten Erfindung offenbaren, insbesondere auch als Grenze einer Bereichsangabe.

Patentansprüche

1. Verfahren zur generativen Fertigung eines dreidimensionalen Bauteils (3) aus einem Pulver (5), mit den Schritten:

5 Unterteilen eines Schichtstrukturmodells des zu fertigenden Bauteils (3) in einen Kernbereich (39) und einen an den Kernbereich (39) angrenzenden Hüllbereich (41), wobei der Hüllbereich (41) zumindest einen Abschnitt der Oberfläche des dreidimensionalen Bauteils (3) ausbildet, und

10 Durchführen eines schichtbasierten Bestrahlungsvorgangs auf Grundlage des Schichtstrukturmodells, bei dem eine Dichte von bestrahlten Pulverschichten im Hüllbereich (41) niedriger ist als im in Schichtebenenrichtung angrenzenden Kernbereich (39), wobei die Dichte durch die Anzahl von bestrahlten Schichten in Richtung der Normalen der Pulverschichten pro Längeneinheit gegeben ist.

15 2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der schichtbasierte Bestrahlungsvorgang ein sequentielles Aufbringen von Pulverschichten umfasst, die Pulverschichten mit einem Kernenergieeintrag bestrahlt werden und die Schichten im Hüllbereich (41) einer schichtselektiven Bestrahlung unterliegen werden.

20 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei bei einer schichtselektiven Bestrahlung des Hüllbereichs (41) die Dichte von bestrahlten Pulverschichten in Abhängigkeit von der Oberflächengeometrie des dreidimensionalen Bauteils (3) variiert wird, und

25 wobei insbesondere die Dichte von bestrahlten Pulverschichten im Bereich einer Überhangstruktur (47) umso mehr reduziert wird, je größer der Abstand zwischen Konturen (50A, 50B, 50C, 50D) benachbarter Schichten (n_k , n_1 , n_{2_s} , n_3) ist, und insbesondere je flacher die Überhangstruktur (47) zur, durch die Oberfläche (65) des Pulverbetts gegebenen, Schichtebene verläuft.

30 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei im Hüllbereich (41) oder in einem Abschnitt des Hüllbereichs (41) nur jede n-te Schicht der aufgetragenen Pulverschichten bestrahlt wird oder

wobei im Hüllbereich (41) oder in einem Abschnitt des Hüllbereichs (41) jede n-te Schicht der aufgetragenen Pulverschichten nicht bestrahlt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Bestrahlung innerhalb einer Pulverschicht, insbesondere im gesamten Bauteil (3), im Kernbereich (39) und im Hüllbereich (41) mit gleicher Laserleistung vorgenommen wird, und

5 wobei insbesondere der Energieeintrag im Hüllbereich (41) trotz gleicher Laserleistung aufgrund einer schichtselektiven Bestrahlung im Vergleich zum Kernbereich (39) reduziert ist.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei im Hüllbereich (41) oder in einem Abschnitt des Hüllbereichs (41) eine bestrahlte Pulverschicht mit einer bestrahlten Pulverschicht im Kernbereich (39) zusammenfällt und wobei diese Pulverschicht im Hüllbereich (41) und im Kernbereich (39) in einem gemeinsamen Bestrahlungsvorgang bestrahlt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei beim Durchführen des schichtbasierten Bestrahlungsvorgangs in einem Hüllbereich (41), dem in Schichtebenenrichtung kein angrenzender Kernbereich (39) zugeordnet ist, insbesondere an der Unterseite des zu fertigenden Bauteils (3), Inskin-Parameter verwendet werden, die für eine Dichte von bestrahlten Pulverschichten in einem Kernbereich (39) vorgesehen sind, die höher ist, als die Dichte der Pulverschichten in diesem Hüllbereich (41).

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine aufgebrachte Pulverschicht eine Dicke im Bereich einer mittleren Korngröße des Pulvers (5) aufweist, insbesondere im Bereich von 30% bis 300% der mittleren Korngröße des Pulvers (5).

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Ausmaß des Hüllbereichs (41) bestimmt wird durch

einen Abstand (a_2) der Kontur (50C) vom bestrahlten Bereich einer Schicht, deren Bestrahlung nicht bis an den Konturverlauf des dreidimensionalen Bauteils (3) erfolgt, und/oder

30 die Anzahl von aufeinanderfolgenden Schichten (n_s), deren Bestrahlung nicht bis an den jeweiligen Konturverlauf des dreidimensionalen Bauteils (3) erfolgt.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei

die Oberfläche des dreidimensionalen Bauteils (3) mindestens zwei aneinander angrenzende Zonen aufweist, denen mindestens zwei Bestrahlungsstrategien (D1, D2, I) zugeordnet sind, von denen insbesondere mindestens eine den Bestrahlungsvorgang auf Grundlage des Schichtstrukturmodells umfasst, bei dem eine Dichte von bestrahlten Pulverschichten im Hüllbereich (41) niedriger ist als im in Schichtebenenrichtung angrenzenden Kernbereich (39), und

in einem die Oberfläche des dreidimensionalen Bauteils (3) formenden Übergangsbereich (83) der Zonen

ein Wechsel zwischen den Bestrahlungsstrategien innerhalb einer Schicht derart vorgenommen wird, dass eine räumliche Position des Wechsels in einer Abfolge von benachbarten Schichten bidirektional variiert, und/oder

ein mehrfaches Hin- und Zurückwechseln zwischen den Bestrahlungsstrategien in einer Abfolge von benachbarten Schichten entlang der Schichtaufbaurichtung vorgenommen wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei die mindestens zwei aneinander angrenzenden Zonen mindestens eine Bestrahlungszone für den Hüllbereich und eine Bestrahlungszone für einen Abschnitt, der mit einem Bestrahlungsvorgang gemäß dem Kernbereich (39) erzeugt wird, umfassen und/oder

wobei die mindestens zwei aneinander angrenzenden Zonen im Hüllbereich ausgebildet sind und/oder

wobei die mindestens zwei aneinander angrenzenden Zonen Upskin-, Downskin- und/oder Inskin-Zonen (U, D, I) umfassen.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 oder 11, wobei die räumliche Position des Wechsels und/oder das Hin- und Zurückwechseln durch Zuordnung von Übergangsparametern, insbesondere von Zonenübergangswinkeln, in einem Winkelbereich um einen vorbestimmten Übergangswinkel bewirkt wird, wobei die Zuordnung insbesondere durch einen Zufallsalgorithmus oder nach einem vorgegebenen Muster erfolgt.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 oder 11, wobei die räumliche Position des Wechsels und/oder das Hin- und Zurückwechseln durch

Zuordnung eines vorbestimmten Übergangswinkels und

Vergrößern oder Verkleinern sich aus dem Übergangswinkel ergebender Zonen

bewirkt wird, wobei das Vergrößern oder Verkleinern der sich aus dem Übergangswinkel ergebenden Zonen insbesondere durch einen Zufallsalgorithmus oder nach einem vorgegebenen Muster im Übergangsbereich (83) erfolgen kann.

- 5 14. Verfahren zur generativen Fertigung eines dreidimensionalen Bauteils (3) aus einem Pulver (5), wobei das Bauteil (3) eine Überhangstruktur (47) aufweist und durch selektives Laserschmelzen auf einer Bauplattform (17) gefertigt wird, mit den Schritten:

10 Bereitstellen eines Bestrahlungsplans basierend auf einem Schichtmodell des dreidimensionalen Bauteils (3), wobei das Schichtmodell eine Sequenz von Schichten ($n_k, n_1, \dots, n_9$) umfasst, denen jeweils eine schichtspezifische Kontur (50A, 50B, 50C, 50D) des Bauteils (3) zugeordnet ist, wobei die Sequenz eine erste Untergruppe von Schichten (n_1, n_3, n_5) und eine zweite Untergruppe von Schichten ($n_{2_s}, n_{4_s}, n_{6_s}$) umfasst, die ineinander verschachtelt sind, und wobei bei der ersten Untergruppe von Schichten (n_1, n_3, n_5) im Bereich der Überhangstruktur (47) eine Bestrahlung des Pulvers (5) bis zur Kontur (50A, 50B, 50D) geplant ist, und bei der zweiten Untergruppe von Schichten im Bereich der Überhangstruktur eine Bestrahlung des Pulvers (5) nur bis zu einem Abstand (a_2, a_4, a_6) von der Kontur (50C) geplant ist, und

20 Durchführen eines sequentiellen Auftragens von Pulverschichten auf der Bauplattform (17) und Bestrahlung der Pulverschichten mit Bestrahlungsparametern des Laserstrahls gemäß dem Bestrahlungsplan.

- 15 15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei zum Auftragen der Pulverschichten Pulver (5) mit einem Beschichter (23) aus einem Vorratsbereich (25A) in einer Auftragsrichtung aufgetragen wird und die Überhangstruktur derart gegen die Auftragsrichtung ausgerichtet ist, dass die Kontur mindestens einer nachfolgend zu bestrahlenden Schicht im Bereich der Überhangstruktur (47) näher als die Kontur einer zuvor bestrahlten Schicht an den Vorratsbereich (25A) heranragt, und/oder

30 wobei die Bestrahlungsparameter des Laserstrahls entsprechend der gewünschten Wechselwirkung des Laserstrahls mit dem Pulver (5) in einem Kernbereich des Bauteils (3) fest eingestellt sind.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei im Schichtstrukturmodell eine Schicht (n_3) in, insbesondere rechteckige, Bestrahlungsfelder (71k, 73k, 71r, 73r) unterteilt wird, und wobei im Bestrahlungsvorgang in Bestrahlungsfelder (71r, 73r) im Hüllenbe-

reich (41), insbesondere im konturnahen Bereich der Schicht (n3), ein Energieeintrag vorgenommen wird, der gegenüber dem Energieeintrag im Kernbereich (39), insbesondere in konturfernen Bestrahlungsfeldern (71k, 73k), reduzierter ist.

- 5 17. Verfahren nach Anspruch 16, wobei die Bestrahlungsfelder (73r) einer Schicht (n3), die von der Kontur (50D') der Schicht (n3) geschnitten werden, nur im, das Bauteil (3) bildenden, Innenbereich bestrahlt werden, und/oder

wobei der Beginn der Bestrahlung mit einem reduzierten Energieeintrag im Bereich derjenigen Bestrahlungsfelder beginnt, die von einer, insbesondere in Schichtrichtung, auf die
10 Schicht (n3) projizierten Kontur (50B') einer Schicht (n1) geschnitten werden, wobei diese Schicht (n1) im Hüllbereich (41) bis zur Kontur (50B') bestrahlt wurde, und/oder

wobei die Bestrahlungsfelder, die von einer auf die Schicht (n3), insbesondere in Schichtrichtung, projizierten Kontur (54B', 54C') geschnitten werden, als Ganzes mit dem reduzierten Energieeintrag oder als Ganzes mit dem Energieeintrag des Kernbereichs (39)
15 bestrahlt werden.

18. Fertigungsverfahren (1) zur generativen Fertigung eines dreidimensionalen Bauteils (3) aus einem Pulver (5) mit

einem eine Arbeitsfläche (27) bereitstellenden Fertigungsraum (9), der einen Plattformbereich (17A) umfasst,
20

einem Bauzylinder (21), der einen in der Höhe verfahrbaren Träger (19) aufweist, auf dem das dreidimensionale Bauteil (3) auf einer Oberfläche einer Bauplattform (17) schichtweise hergestellt werden soll,

einer Schiebevorrichtung mit einem Beschichter (23) zum Erzeugen von Pulverschichten mit dem Pulver (5) im Plattformbereich (17A),
25

einem Bestrahlungssystem (15) zur Erzeugung eines Strahls für die Bestrahlung der Pulverschichten im Plattformbereich (17A) zum schichtweisen Herstellen des dreidimensionalen Bauteils (3) und

einer Steuerungseinheit (31), die basierend auf Bestrahlungsdaten eines Bestrahlungsplans des dreidimensionalen Bauteils (3) die Fertigung des dreidimensionalen Bauteils (3)
30 nach einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 13 steuert, wobei insbesondere die Bestrahlungsdaten zu bestrahlende Bereiche (k1, k2, h1, h2) der Pulverschichten definieren, die zu bestrahlenden Bereiche (k1, k2, h1, h2) einen Hüllbereich (41) und einen Kernbe-

reich (39) umfassen und eine Dichte von bestrahlten Pulverschichten im Hüllbereich (41) niedriger ist als im Kernbereich (39).

19. Bauteil (3), das generativ aus einem Pulver (5) durch selektives Laserschmelzen gefertigt wurde, mit
- 5 einem Kernbereich (39) und
einem Hüllbereich (41), wobei
der Hüllbereich (41) zumindest einen Teil einer Oberfläche des Bauteils (3) bildet,
das selektive Laserschmelzen zumindest in einem Teil des Hüllbereichs (41) mit
- 10 einem reduzierten Energieeintrag durch Bestrahlung von weniger Schichten in einer Schichtungsrichtung als im Kernbereich (39) vorgenommen wurde und
im Hüllbereich (41) oder in einem Abschnitt des Hüllbereichs (41) jede bestrahlte Pulverschicht mit einer bestrahlten Pulverschicht im Kernbereich (39) zusammenfällt.

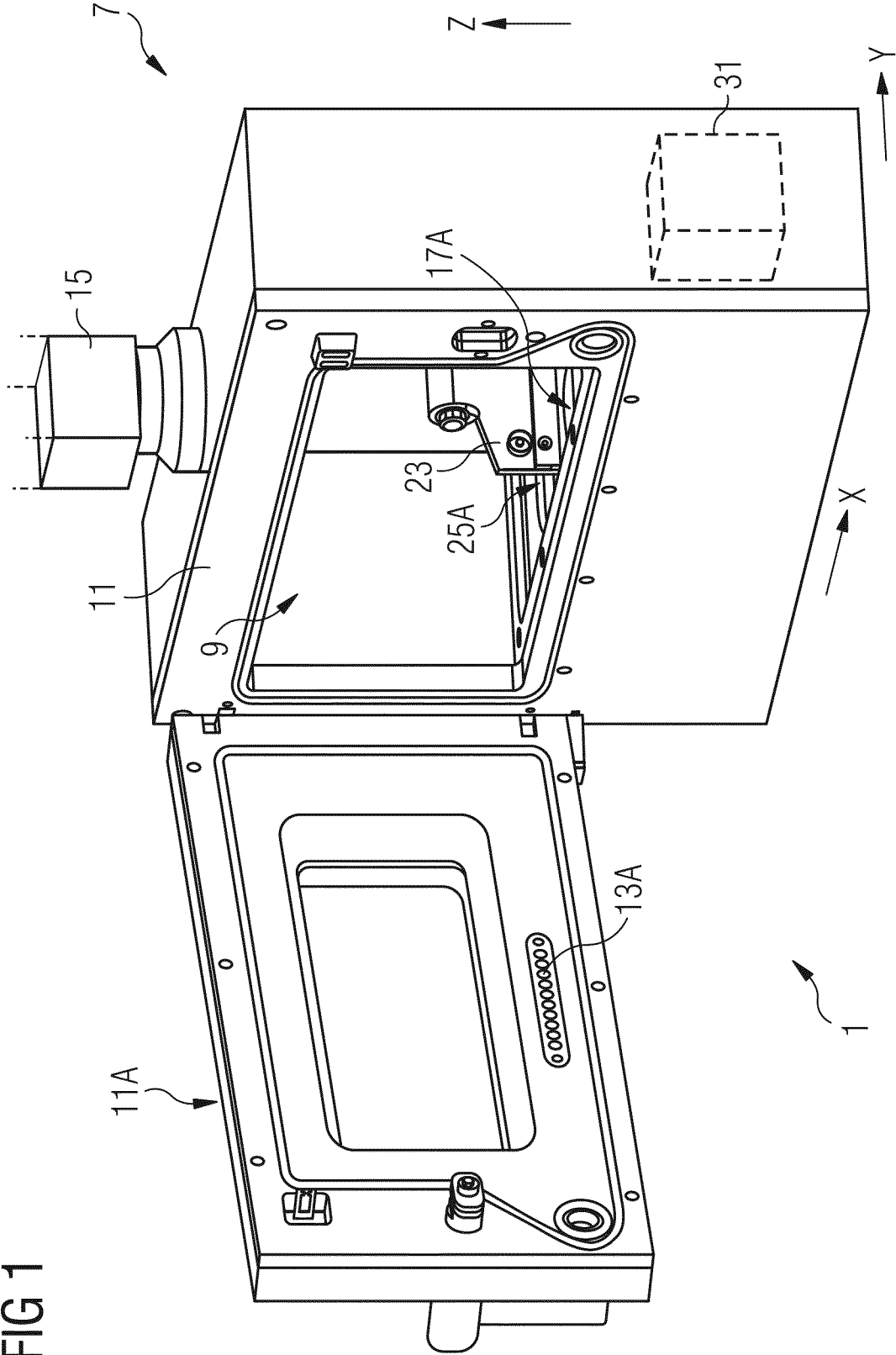


FIG 2

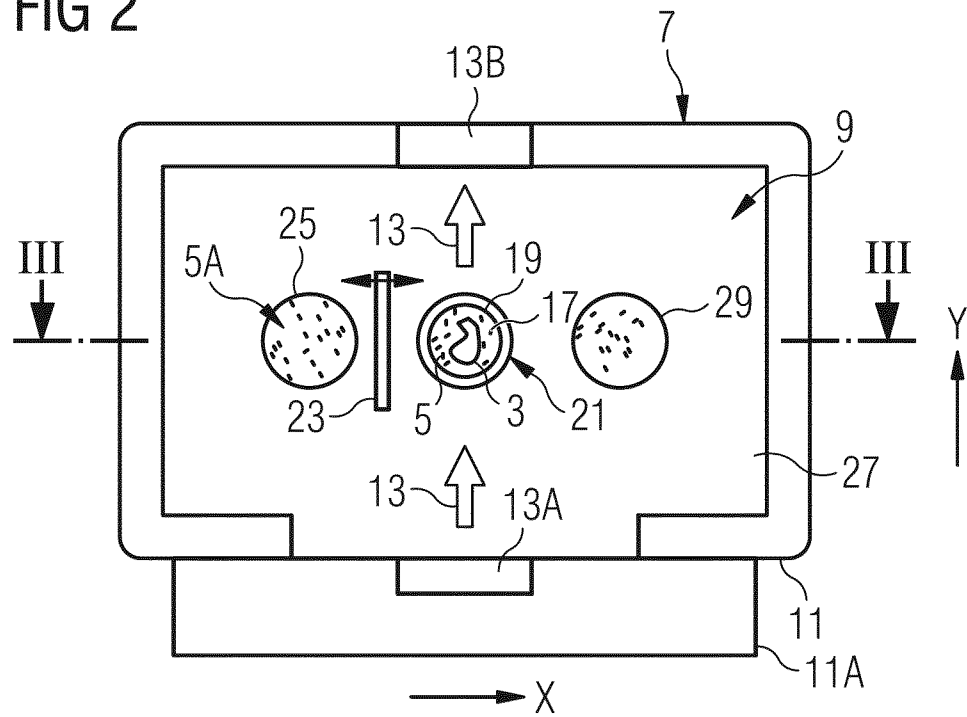


FIG 3

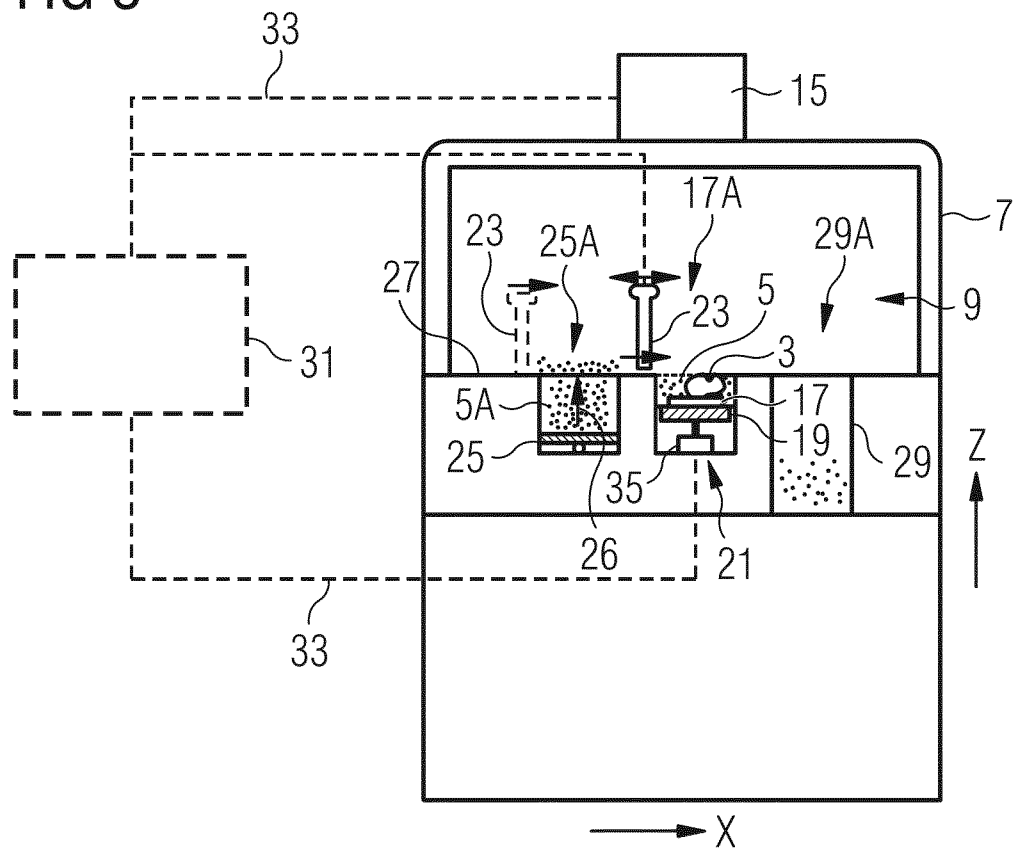


FIG 4A

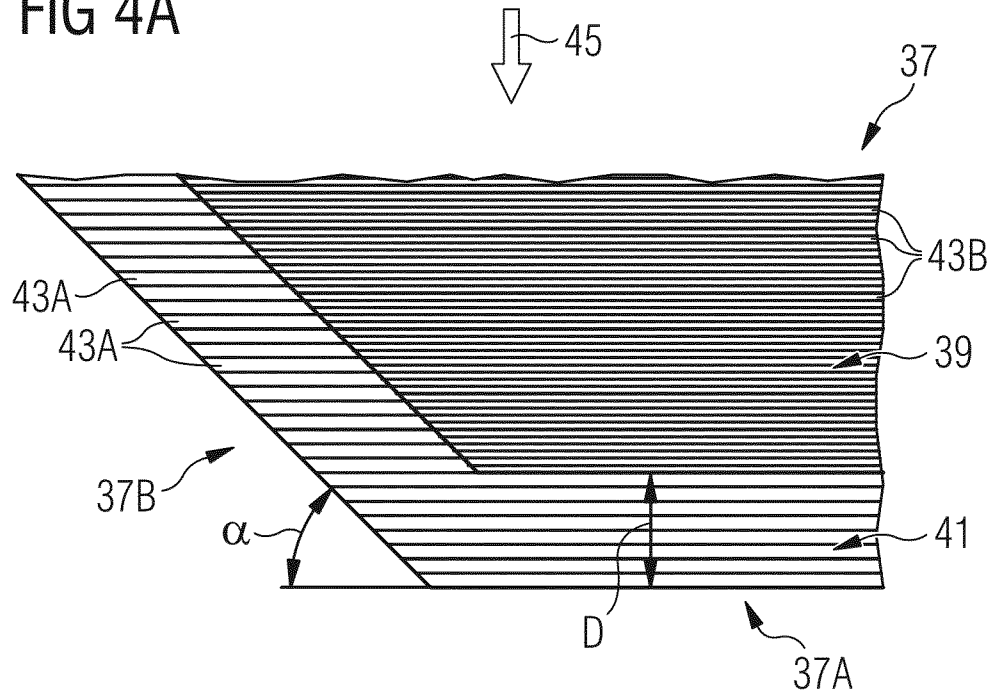


FIG 4B

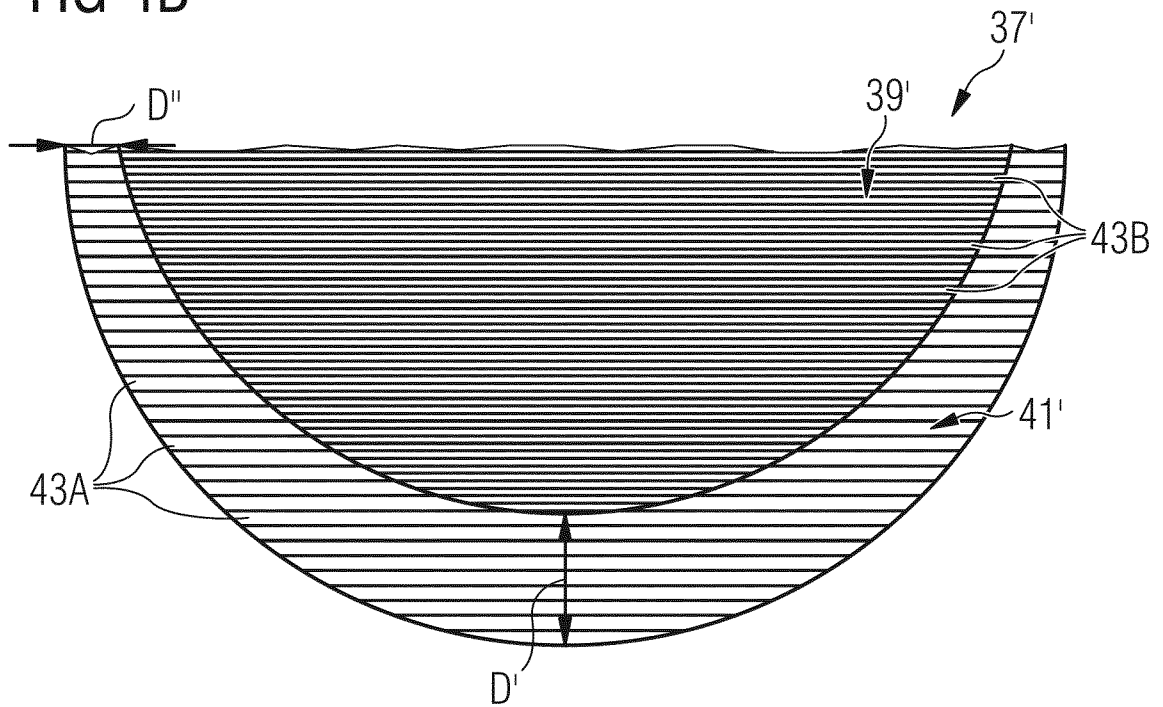


FIG 5A

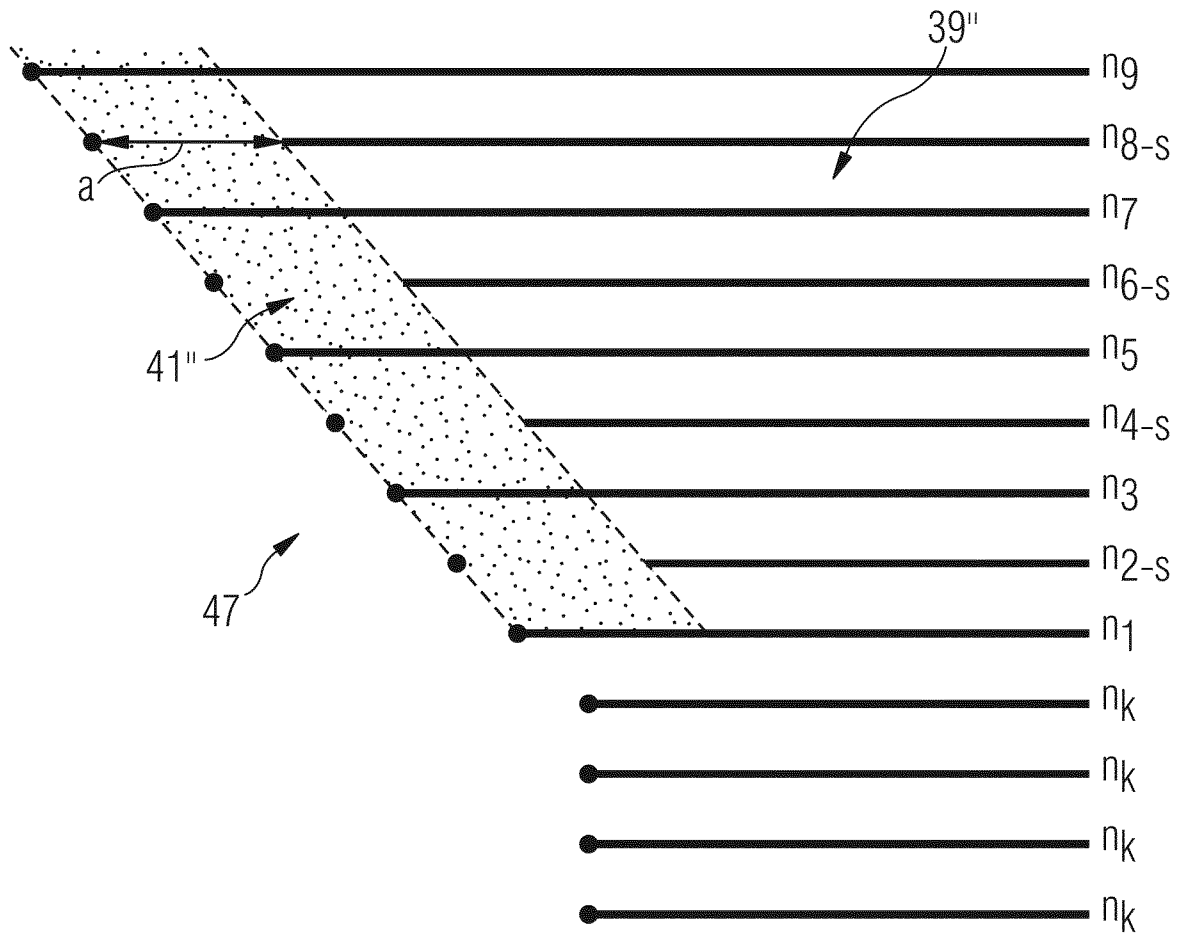


FIG 5B

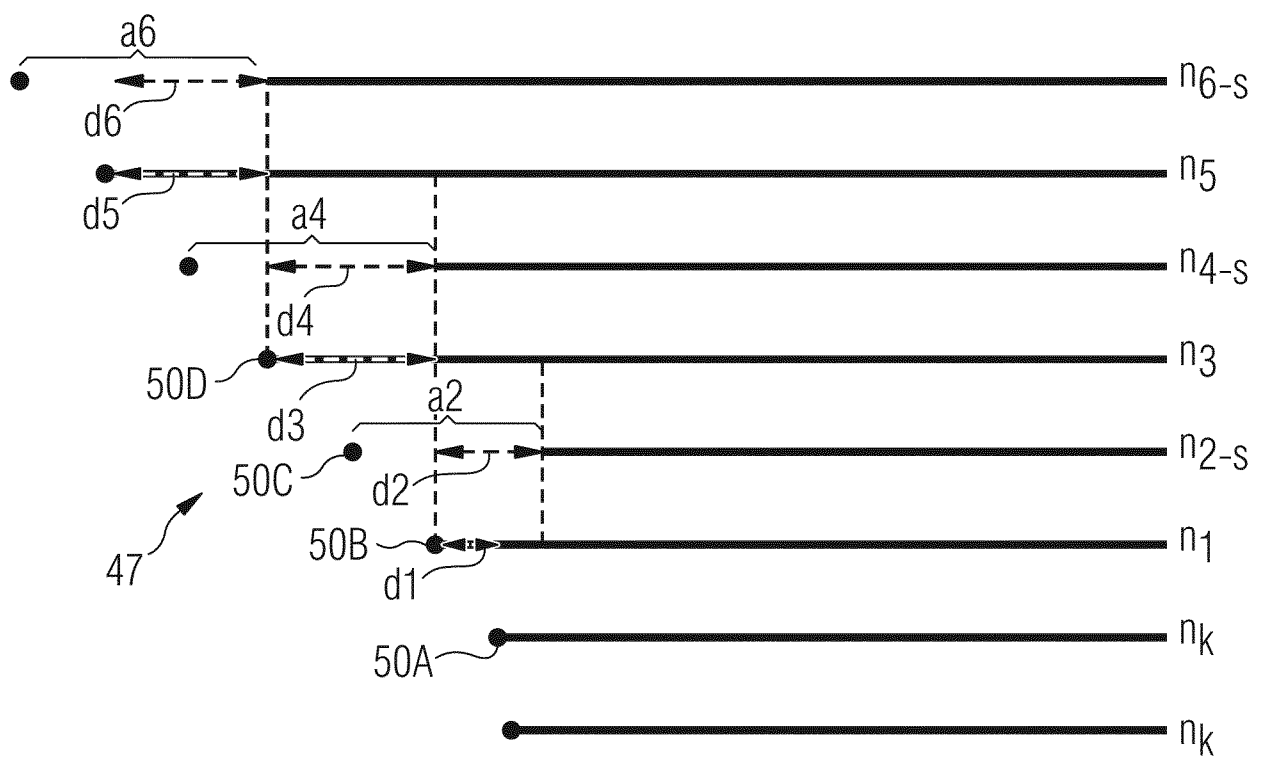


FIG 6D

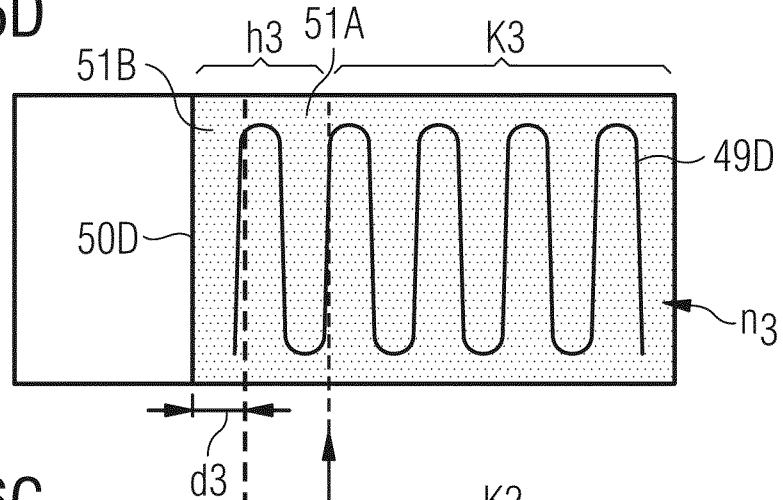


FIG 6C

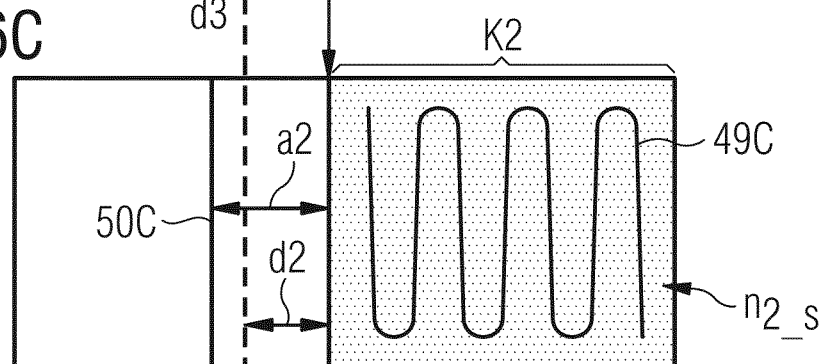


FIG 6B

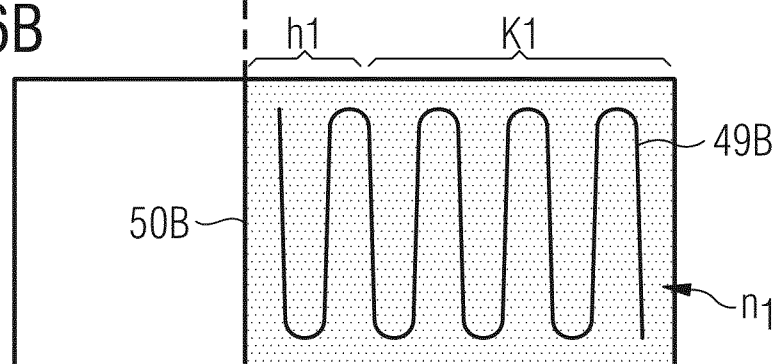


FIG 6A

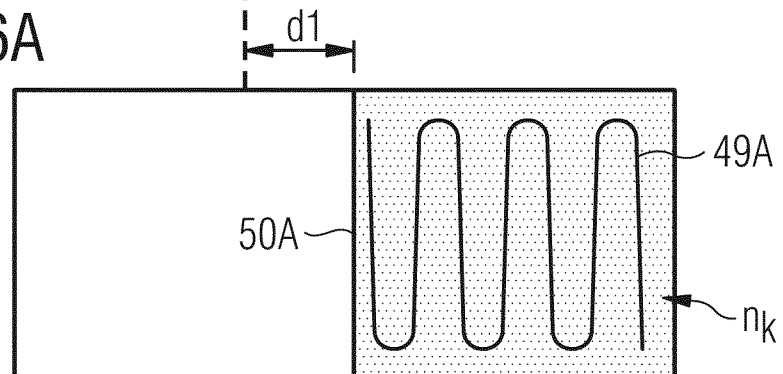


FIG 7

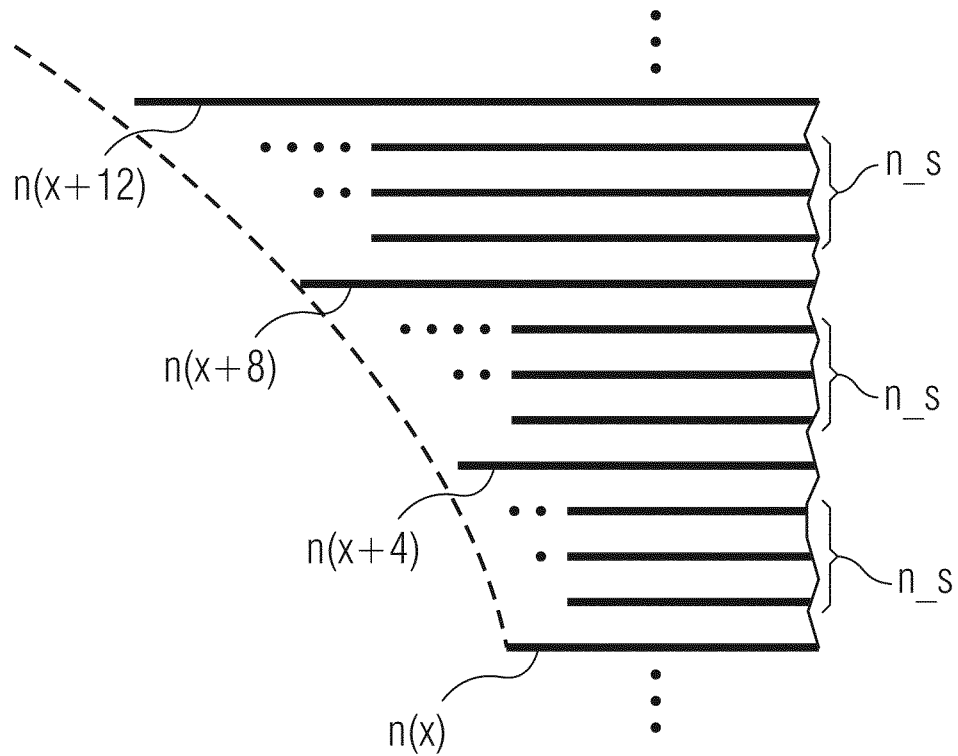


FIG 8

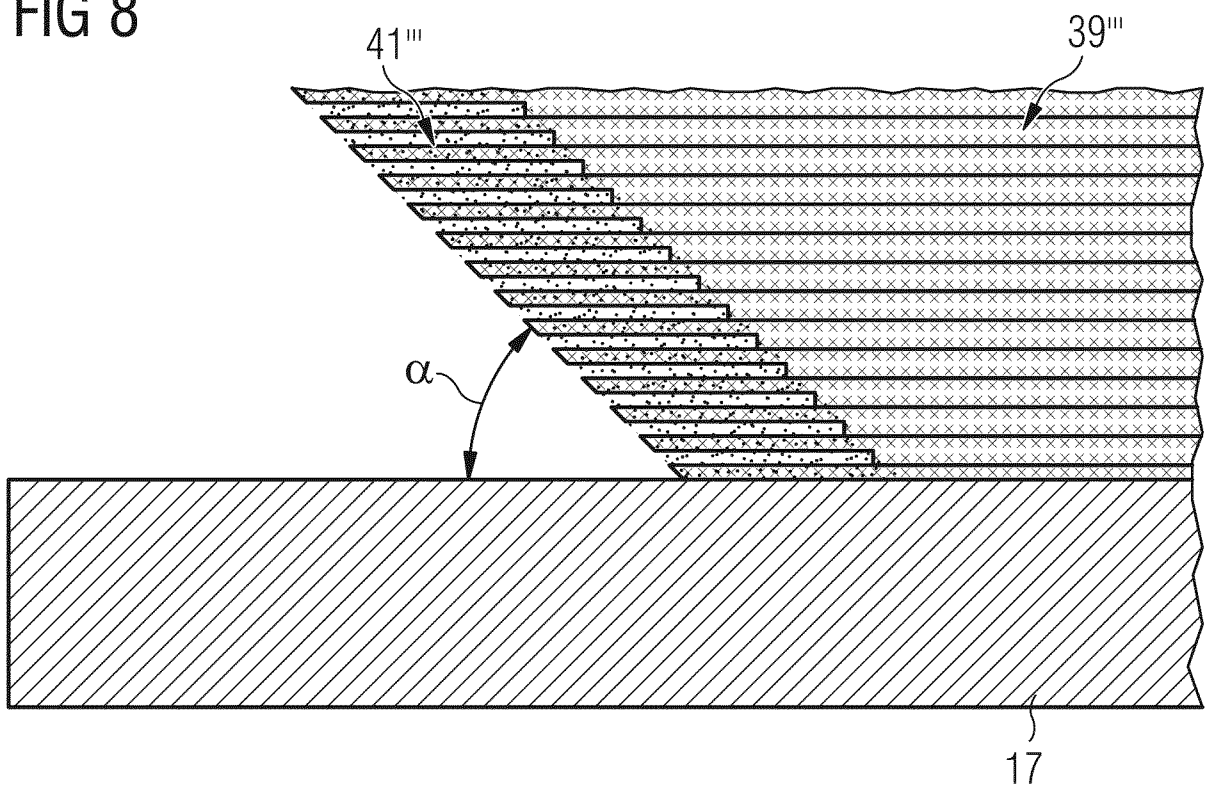
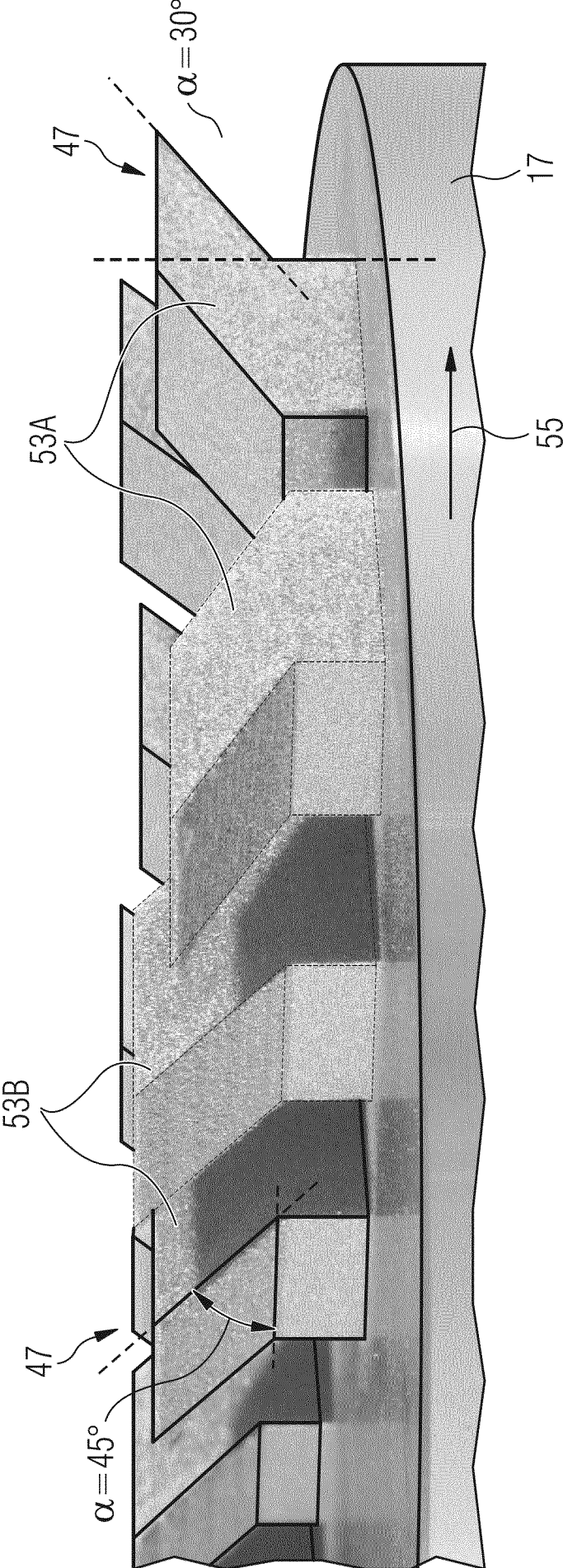


FIG 9



8/11

FIG 10

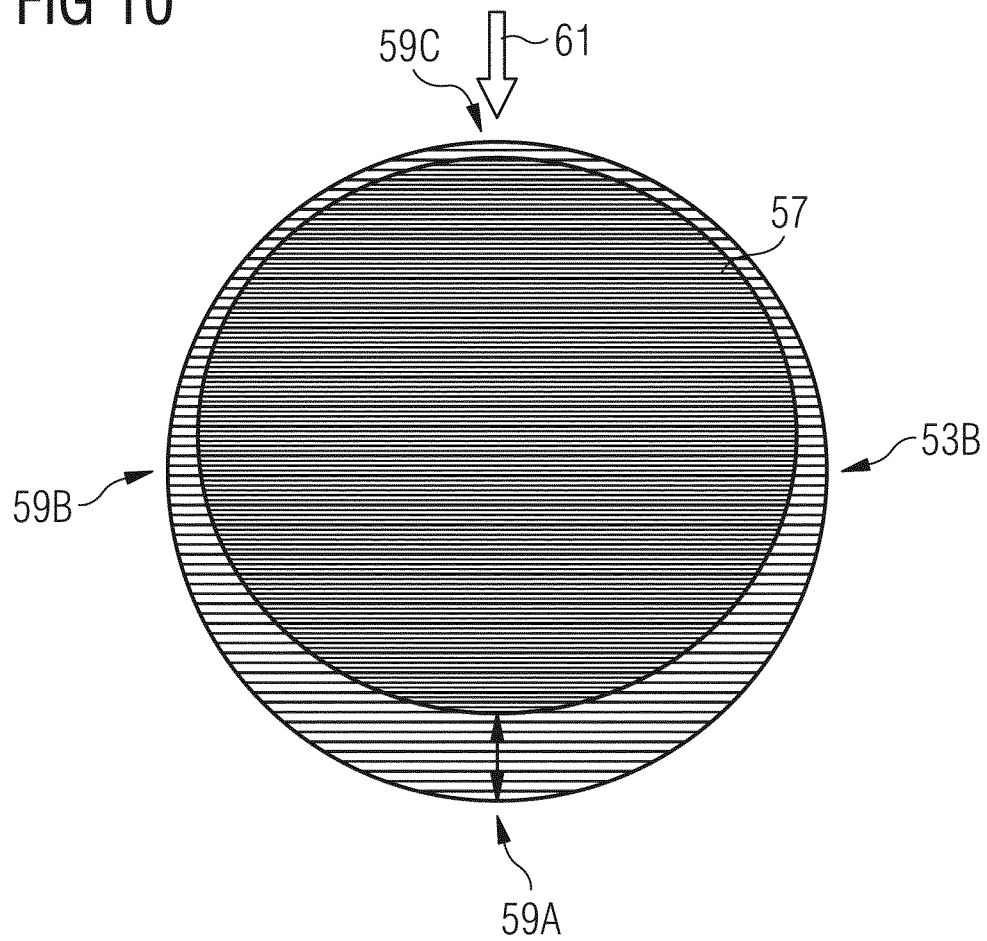


FIG 11

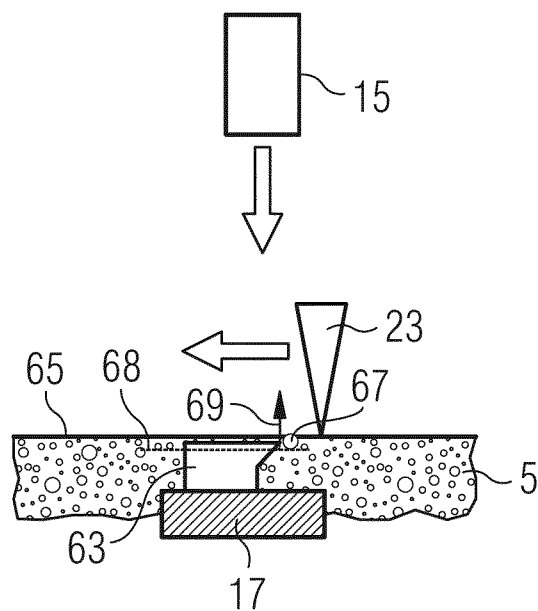


FIG 12

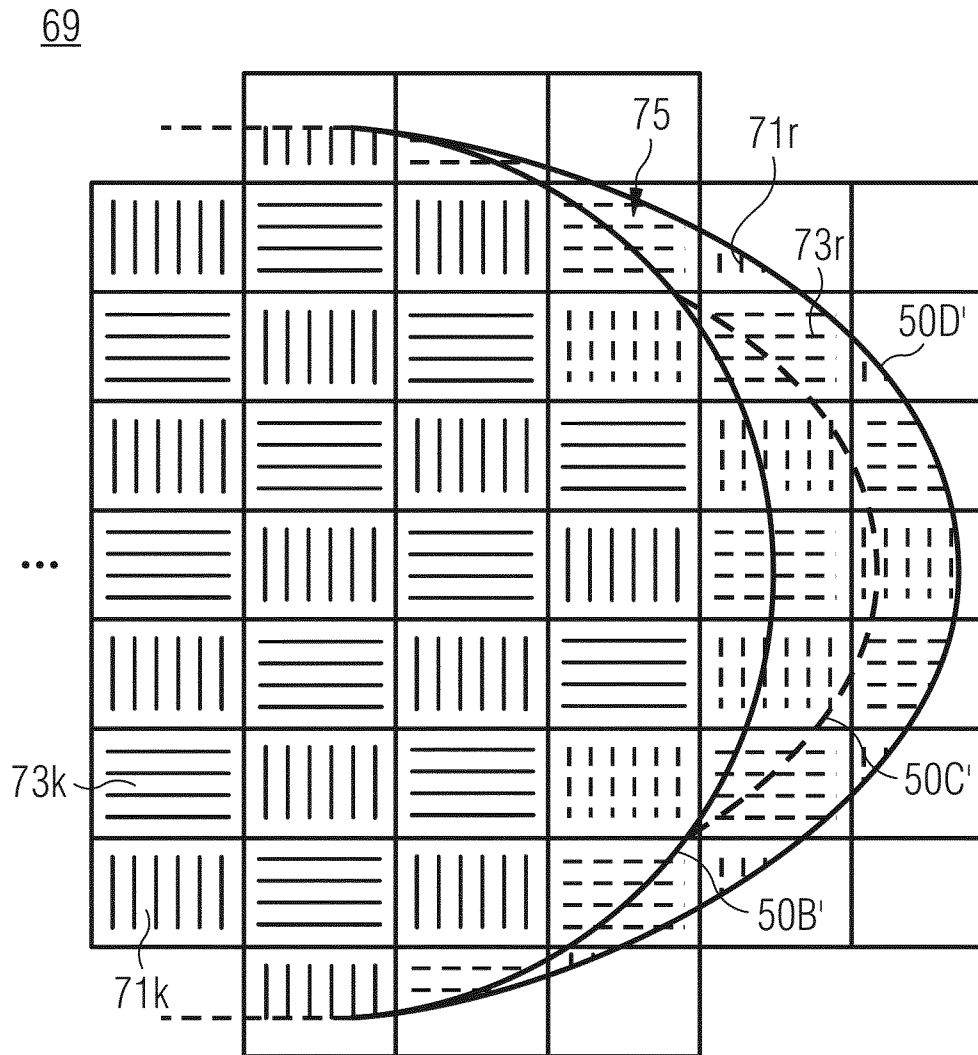


FIG 15

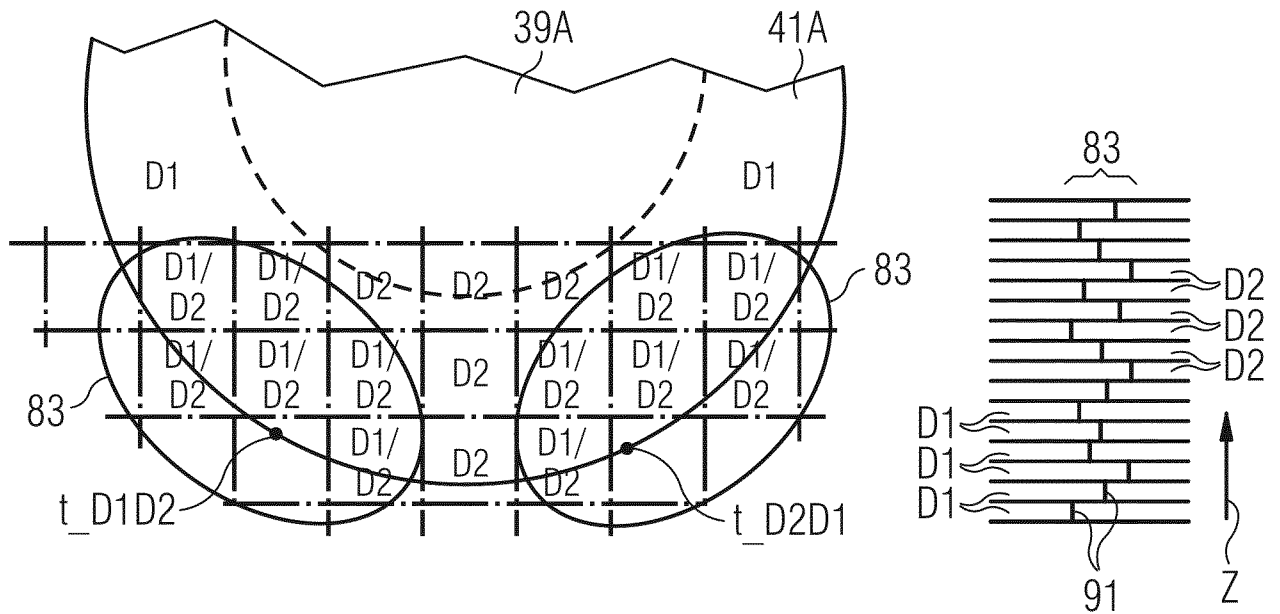
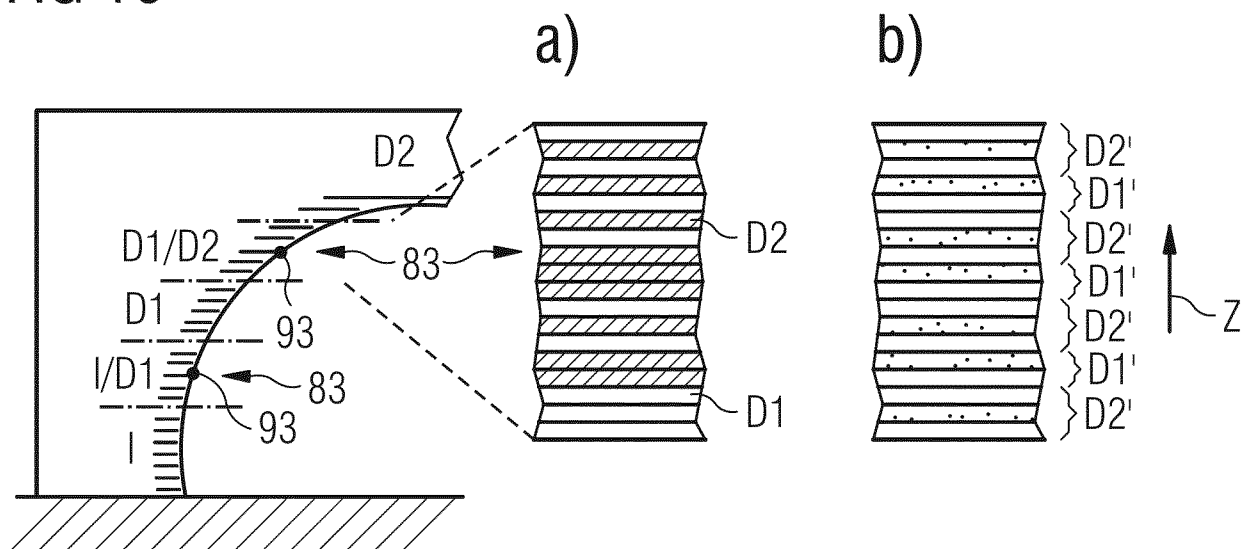


FIG 16



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2018/073788

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B22F 3/105(2006.01)i; **B22F 5/00**(2006.01)i; **B22F 5/10**(2006.01)i; **B22F 7/00**(2006.01)i; **B33Y 10/00**(2015.01)i;
B33Y 50/00(2015.01)i; **B29C 64/153**(2017.01)i

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)

B22F; B29C; C22C; C04B; B33Y

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

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

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	EP 3053674 A1 (ALSTOM TECHNOLOGY LTD [CH]) 10 August 2016 (2016-08-10) paragraphs [0029] - [0033] figures 3, 4, 6	1,2,4-6,8,9,14-16,18,19 3,7,10-13,17
X	US 2016233060 A1 (NARENDRNATH KADTHALA R [US] ET AL) 11 August 2016 (2016-08-11) paragraph [0082] figure 9	1-6,8,9,14-16,18,19
X	B K Foster ET AL. "Optical, layerwise monitoring of powder bed fusion" <i>Proceedings: 26th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium - An Additive Manufacturing Conference</i> , 12 August 2015 (2015-08-12), pages 295-307, Retrieved from the Internet: http://sffsymposium.engr.utexas.edu/sites/default/files/2015/2015-24-Foster.pdf [retrieved on 2018-12-18] XP055536185	19
A	figure 3	1-18



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

19 December 2018

Date of mailing of the international search report

03 January 2019

Name and mailing address of the ISA/EP

**European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands**

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Traon, Nicolas

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2018/073788**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 3127635 A1 (TRUMPF LASER-UND SYSTEMTECHNIK GMBH [DE]; TRUMPF SISMA S R L [IT]) 08 February 2017 (2017-02-08)	3,7,10-13,17
A	claims 1, 10 figures 2-4	1,2,4-6,8,9,14-16,18,19

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2018/073788

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
EP	3053674	A1	10 August 2016	CN	105834421	A	10 August 2016
				EP	3053674	A1	10 August 2016
				KR	20160095634	A	11 August 2016
				US	2016221115	A1	04 August 2016
US	2016233060	A1	11 August 2016	CN	107210179	A	26 September 2017
				EP	3254305	A1	13 December 2017
				JP	2018507327	A	15 March 2018
				KR	20170115599	A	17 October 2017
				SG	11201706207Q	A	30 August 2017
				TW	201636192	A	16 October 2016
				US	2016233060	A1	11 August 2016
				WO	2016126403	A1	11 August 2016
EP	3127635	A1	08 February 2017	CN	106424723	A	22 February 2017
				EP	3127635	A1	08 February 2017

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	B22F3/105 B33Y50/00	B22F5/00 B29C64/153
	B22F5/10	B22F7/00
		B33Y10/00
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
B22F B29C C22C C04B B33Y		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)		
EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 3 053 674 A1 (ALSTOM TECHNOLOGY LTD [CH]) 10. August 2016 (2016-08-10)	1,2,4-6, 8,9, 14-16, 18,19
Y	Absätze [0029] - [0033] Abbildungen 3, 4, 6	3,7, 10-13,17
X	US 2016/233060 A1 (NARENDRNATH KADTHALA R [US] ET AL) 11. August 2016 (2016-08-11)	1-6,8,9, 14-16, 18,19
	Absatz [0082] Abbildung 9	
	----- -/-	
☒ 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
19. Dezember 2018		03/01/2019
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 Traon, Nicolas

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	B K Foster ET AL: "Optical, layerwise monitoring of powder bed fusion", Proceedings: 26th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium - An Additive Manufacturing Conference, 12. August 2015 (2015-08-12), Seiten 295-307, XP055536185, Gefunden im Internet: URL: http://sffsymposium.engr.utexas.edu/sites/default/files/2015/2015-24-Foster.pdf [gefunden am 2018-12-18]	19
A	Abbildung 3 -----	1-18
Y	EP 3 127 635 A1 (TRUMPF LASER-UND SYSTEMTECHNIK GMBH [DE]; TRUMPF SISMA S R L [IT]) 8. Februar 2017 (2017-02-08)	3,7, 10-13,17
A	Ansprüche 1, 10 Abbildungen 2-4 -----	1,2,4-6, 8,9, 14-16, 18,19

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/073788

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 3053674	A1	10-08-2016	CN 105834421 A 10-08-2016
			EP 3053674 A1 10-08-2016
			KR 20160095634 A 11-08-2016
			US 2016221115 A1 04-08-2016

US 2016233060	A1	11-08-2016	CN 107210179 A 26-09-2017
			EP 3254305 A1 13-12-2017
			JP 2018507327 A 15-03-2018
			KR 20170115599 A 17-10-2017
			SG 11201706207Q A 30-08-2017
			TW 201636192 A 16-10-2016
			US 2016233060 A1 11-08-2016
			WO 2016126403 A1 11-08-2016

EP 3127635	A1	08-02-2017	CN 106424723 A 22-02-2017
			EP 3127635 A1 08-02-2017
