



(10) **DE 10 2021 211 370 A1** 2023.04.13

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2021 211 370.2**  
(22) Anmeldetag: **08.10.2021**  
(43) Offenlegungstag: **13.04.2023**

(51) Int Cl.: **B22F 10/20** (2021.01)  
**B33Y 10/00** (2015.01)  
**B22F 10/25** (2021.01)

(71) Anmelder:  
**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung eingetragener Verein,  
80686 München, DE**

(74) Vertreter:  
**Pfenning, Meinig & Partner mbB Patentanwälte,  
01067 Dresden, DE**

(72) Erfinder:  
**Klöden, Burghardt, Dr. rer. nat., 01277 Dresden,  
DE; Quadbeck, Peter, Dr.-Ing., 01277 Dresden, DE;  
Kirchner, Alexander, Dr.-Ing., 01277 Dresden, DE;  
Weißgärber, Thomas, Dr.-Ing., 01277 Dresden, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

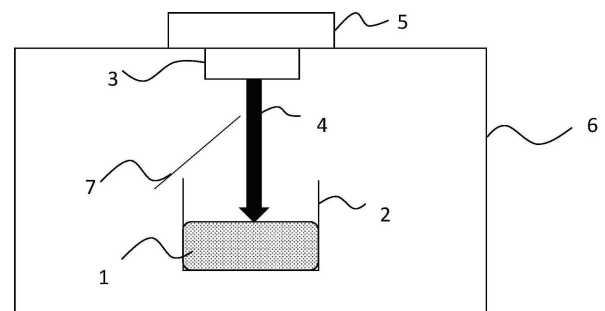
<b>DE</b>	<b>11 2018 001 597</b>	<b>B4</b>
<b>US</b>	<b>2021 / 0 277 502</b>	<b>A1</b>

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Herstellen dreidimensionaler Bauteile**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen dreidimensionaler Bauteile, bei dem aus einem pulverförmigen Ausgangswerkstoff (1), der mit mindestens zwei Komponenten gebildet ist, wobei die Komponenten einen unterschiedlichen Dampfdruck bei gleicher Temperatur aufweisen, durch ein additives Strahlfertigungsverfahren ein Bauteil hergestellt wird. Mindestens ein Prozessparameter zum Betrieb mindestens eines zweidimensional auslenkbaren Energiestrahls wird derart eingestellt, dass sich der Dampfdruck mindestens einer der Komponenten ändert, so dass der Anteil dieses chemischen Elements oder dieser Legierung im Bauteilvolumen lokal definiert im Bauteil variiert wird.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen dreidimensionaler Bauteile sowie eine Vorrichtung zum Durchführen des Verfahrens.

**[0002]** Neue Methoden zur Herstellung von dreidimensional gestalteten Bauteilen aus Metallpulver sind die Verfahren Laser-Beam-Melting (PBF-LB, oder Laserstrahlschmelzen) und Electron-Beam-Melting (PBF-EB oder Elektronenstrahlschmelzen). Bei beiden Verfahrensarten wird ein Computermodell eines zu fertigenden Bauteils zunächst in einzelne Scheiben zerlegt und diese Scheiben werden anschließend sukzessive gefertigt, indem eine Pulverschicht definierter Höhe auf eine Unterlage aufgetragen und durch einen Laserstrahl bzw. Elektronenstrahl anschließend definiert aufgeschmolzen wird. Nicht bestrahltes Pulver bleibt dabei unbeeinträchtigt bzw. wird nur sehr schwach verbunden und kann deshalb später leicht entfernt werden.

**[0003]** Das Verfahren wird mit einem erneuten Aufbringen einer Pulverschicht und einem Aufschmelzen der entsprechend der Werkstückgeometrie gegebenenfalls veränderten Fläche fortgesetzt und so oft wiederholt, bis das gesamte dreidimensionale Bauteil schichtweise fertig aufgebaut ist. Der Aufbauprozess erfolgt unter Verwendung eines Pulvers fester Zusammensetzung mit dem Ziel, diese Zusammensetzung auch im Bauteil zu erhalten, wie beispielsweise in der Druckschrift US 2015/0037601 A1 beschrieben.

**[0004]** Auch wenn die genannten Methoden eine Vielzahl neuer Möglichkeiten in Bezug auf Ressourceneffizienz und geometrische Vielfalt bieten und bei komplex strukturierten Bauteilen bzw. bei Bauteilen, die aus nur schwer spanend zu bearbeitenden Materialien bestehen, ein großes Potential zur Kostenreduzierung aufweisen, gibt es bei pulverbettbasierten Strahlschmelzverfahren Limitierungen. Speziell beim Elektronenstrahlschmelzen kommt es aufgrund einer als Prozessatmosphäre genutzten Vakuumumgebung zum Abdampfen von Elementen mit hohem Dampfdruck, beispielsweise bei Aluminium, Chrom und Magnesium. Dadurch ändert sich die Zusammensetzung, was werkstoffabhängig zu einer signifikanten Änderung der Eigenschaften führen kann. Dieser Vorgang wird als Störeffekt betrachtet und es wird dementsprechend versucht, einen element-spezifischen Verlust bestmöglich zu quantifizieren und das als Ausgangswerkstoff verwendete Pulver entsprechend mit diesen Elementen anzureichern.

**[0005]** Die Fertigung von Bauteilen aus mehreren Werkstoffen oder Gradienten in der Zusammensetzung ist darüber hinaus nur für wenige Werkstoffkombinationen umsetzbar, da die Fertigung nur unter Verwendung mehrerer Pulver bzw. hybridem

Aufbau auf anders gefertigtem Substrat möglich ist. In jedem Fall entstehen prozessbedingt planare Trennflächen zwischen verschiedenen Werkstoffen. Weiterhin ist keine Möglichkeit der Erzeugung beispielsweise eines Gradienten in allen Raumrichtungen bekannt. Die Herstellung von Bauteilen mit variierender chemischer Zusammensetzung ist bisher vor allem unter dem Begriff „Gradientenwerkstoffe“ bzw. „functionally graded materials“ (FGM) bekannt, wobei eine Einordnung hinsichtlich der Fertigungsverfahren in der Dimension des Bauteils bestehen kann. Für Dimensionen im Bereich von 5 mm bis 350 mm werden typischerweise Technologien wie Metallpulverspritzguss (metal injection moulding, MIM) oder Schleuderguss (centrifugal casting, CC) verwendet. Alle diese Verfahren weisen jedoch unterschiedliche Limitierungen hinsichtlich der Gradientenbildung in allen Raumrichtungen oder die Verwendung gewünschter Werkstoffkombinationen auf.

**[0006]** Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren vorzuschlagen, das die genannten Nachteile vermeidet, mit dem also ein formkomplexes Bauteil mit lokal variierender chemischer Zusammensetzung schnell und kosteneffizient herstellbar ist.

**[0007]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren nach Anspruch 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des Verfahrens sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

**[0008]** Bei einem Verfahren zum Herstellen dreidimensionaler Bauteile wird aus einem pulverförmigen Ausgangswerkstoff durch ein additives Fertigungsverfahren ein Bauteil hergestellt. Alternativ kann der Ausgangswerkstoff auch drahtförmig ausgestaltet sein. Der Ausgangswerkstoff ist mit mindestens zwei Komponenten gebildet, d. h. weist mindestens zwei Komponenten auf. Die mindestens zwei Komponenten können mindestens zwei chemische Elemente sein, die mindestens zwei Komponenten können aber auch zwei Legierungen dieser Elemente sein. Die zwei Komponenten können aber auch eine Pulvermischung aus einem metallischen Werkstoff und einer Keramik sein. Die Komponenten, also insbesondere die chemischen Elemente oder Legierungen, weisen einen unterschiedlichen Dampfdruck bei gleicher Temperatur auf, d. h. der Dampfdruck bei gleicher Temperatur ist unterschiedlich für die beiden verwendeten Komponenten. Bei dem Strahlfertigungsverfahren wird mindestens ein Prozessparameter zum Betrieb derart eingestellt, dass sich der Dampfdruck von mindestens einer der Komponenten ändert, so dass der Anteil dieses chemischen Elements oder der Anteil dieser Legierung im Bauteilvolumen lokal definiert im Bauteil variiert wird.

**[0009]** Durch den Ausgangswerkstoff bzw. das Ausgangsmaterial mit fester Zusammensetzung, also einer vorgegebenen Mischung mindestens zweier Komponenten, kann eine Einstellung der Zusammensetzung durch Variation der Prozessparameter und des damit verbundenen spezifischen Abdampfens der chemischen Elemente bzw. Legierungen erfolgen. Beispielsweise wird bei einer Pulvermischung aus einem Metall und einer Keramik das Metall bei dem beschriebenen Verfahren abgedampft und die Keramik verbleibt. Durch einen zweidimensional auslenkbaren Energiestrahlschmelzen kann hierbei lokal definiert und schnell die gewünschte Zusammensetzung an einem bestimmten Ort erreicht werden. Im Rahmen dieser Schrift soll dabei unter einem dreidimensionalen Bauteil insbesondere ein Bauteil verstanden werden, bei dem die Abmessungen in allen drei Raumrichtungen eines kartesischen Koordinatensystems in einer gleichen Größenordnung liegen. Vorzugsweise sind die Abmessungen in jeder der Raumrichtungen um maximal 50 Prozent größer oder kleiner als die Abmessungen in den beiden anderen Raumrichtungen. Unter einem Pulver soll insbesondere ein rieselfähiges Schüttgut mit Partikelgrößen bis zu 200 µm verstanden werden. Überraschenderweise lässt sich durch das beschriebene Verfahren das bislang als Störeffekt angesehene Abdampfen von Elementen mit hohem Dampfdruck in ein vorteilhaftes Verfahrensprinzip umkehren. Indem der unterschiedliche Dampfdruck der Komponenten, also typischerweise der chemischen Elemente bzw. Legierungen, und dessen Abhängigkeit von Temperatur und Druck gezielt zur Einstellung einer lokal definierten Zusammensetzung genutzt wird, entfällt nicht nur der zuvor beschriebene Störeffekt, sondern es können im Gegenteil sogar Bauteile mit einer gewünschten Geometrie einfach hergestellt werden. Für die vorab festgelegte Zusammensetzung des Ausgangswerkstoffes kann auch eine Mischung aus einem chemischen Element und einer Legierung verwendet werden oder, wie bereits dargelegt, auch eine Mischung aus einem Metall als chemischen Element und einer Keramik. Das Fertigungsverfahren ist vorzugsweise pulverbasiert, besonders vorzugsweise pulverbettbasiert.

**[0010]** Das additive Strahlfertigungsverfahren wird vorzugsweise mittels Energiestrahlschmelzen, besonders vorzugsweise Laserstrahlschmelzen oder Elektronenstrahlschmelzen, durchgeführt, um schnell und mit der gewünschten räumlichen Genauigkeit den Ausgangswerkstoff bearbeiten kann. Das additive Strahlfertigungsverfahren ist somit typischerweise Laserstrahlschmelzen oder Elektronenstrahlschmelzen.

**[0011]** Der Prozessparameter kann eine Leistungsdichte im Brennfleck des Energiestrahls, ein Strom des Energiestrahls, der auch als Strahlstrom

bezeichnet wird, eine Vorschubbewegungsgeschwindigkeit des Brennflecks des Energiestrahls, eine Scangeschwindigkeit des Energiestrahls, ein Abstand zwischen nebeneinander angeordneten Bearbeitungsspuren des Energiestrahls und bzw. oder eine Anzahl von Beeinflussungen durch den Energiestrahlschmelzen an einer jeweiligen Position im Bauteilvolumen bzw. eine Anzahl von Aufschmelzvorgängen sein. Durch Variation einer der genannten Prozessparameter oder mehrerer der genannten Prozessparameter können Bauteileigenschaften lokal definiert und positionsgetreu eingerichtet werden.

**[0012]** Es kann vorgesehen sein, dass das Bauteil aus dem pulverförmigen oder drahtförmigen Ausgangswerkstoff in einem geschlossenen System, also insbesondere einem gasdichten System bearbeitet wird, um definierte Prozessbedingungen hinsichtlich des Dampfdrucks zu haben. In besonders bevorzugter Weise wird das Bauteil unter Vakuumbedingungen hergestellt, d. h. das geschlossene System weist eine Vakuumprozessatmosphäre auf.

**[0013]** Die zwei Komponenten können derart ausgewählt sein, dass mindestens eine der Komponenten ein beliebiges Metall ist. Es kann aber auch vorgesehen sein, dass beide Komponente aus metallischen Werkstoffen ausgewählt sind, also zwei verschiedene Metalle verwendet werden. Die zwei Komponenten als chemische Elemente können vorzugsweise ausgewählt sein aus Titan, Aluminium, Niob, Wolfram, Kohlenstoff, Silizium und bzw. oder Bor ausgewählt sein. Die mindestens zwei chemischen Legierungen sind ausgewählt aus Legierungen, die mindestens eines dieser chemischen Elemente, also Titan, Aluminium, Niob, Wolfram, Kohlenstoff, Silizium und bzw. oder Bor aufweisen und typischerweise noch ein weiteres chemisches Element aufweisen. Hierdurch ergibt sich ein breites Spektrum an möglichen Werkstoffkombinationen und gewünschten Bauteileigenschaften. Der pulverförmige Ausgangswerkstoff liegt also typischerweise als Metallpulver vor.

**[0014]** Alternativ oder zusätzlich kann mindestens eine Legierung eingesetzt werden, die ein weiteres chemisches Element oder mehrere weitere chemische Elemente aufweist mit einem Anteil kleiner 40 Masseprozent an der Legierung. Typischerweise werden Legierungen verwendet, die eisenbasiert, nickelbasiert, aluminiumbasiert, siliziumbasiert, refraktärmetallbasiert und bzw. oder titanbasiert sind.

**[0015]** Typischerweise wird ein schichtweises Bearbeiten des pulverförmigen oder drahtförmigen Ausgangswerkstoffes durchgeführt, wobei der mindestens eine Prozessparameter innerhalb einer jeweiligen Schicht lokal definiert variiert wird, um an den jeweiligen Positionen die gewünschten Bauteileigenschaften

ten einzustellen. Alternativ oder zusätzlich kann ein schichtweises Bearbeiten des pulverförmigen oder drahtförmigen Ausgangswerkstoffs durchgeführt werden, wobei der mindestens eine Prozessparameter zwischen verschiedenen übereinander angeordneten Schichten des pulverförmigen oder drahtförmigen Ausgangswerkstoffs variiert wird.

**[0016]** Eine Vorrichtung zum Durchführen des beschriebenen Verfahrens weist eine Haltevorrichtung zum Halten des pulverförmigen oder drahtförmigen Ausgangswerkstoffs, eine Vorrichtung zum Durchführen des additiven Strahlfertigungsverfahrens und eine Steuer-/Regeleinheit zum Steuern bzw. Regeln der Vorrichtung zum Durchführen des additiven Verfahrens und zum Einstellen des mindestens einen Prozessparameters auf.

**[0017]** Die Vorrichtung ist im Fall des Auftragschweißens typischerweise auch mit einer Führung für den pulverförmigen oder drahtförmigen Werkstoff versehen, die einen Ausgang in Form einer Düse aufweist, so dass der Werkstoff coaxial zum Energiestrahlen den Ausgang verlassen kann.

**[0018]** Die Vorrichtung kann auch eine Einheit zum Auffangen und zur Kondensation der beim Durchführen des additiven Strahlfertigungsverfahrens verdampften Komponente aufweisen, beispielsweise ein Blech aus einem Metall oder einem Kunststoff.

**[0019]** Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden nachfolgend anhand von **Fig. 1** erläutert.

**Fig. 1** zeigt in einer schematischen Darstellung eine Vorrichtung, die ausgebildet ist zum Durchführen eines Verfahrens zum Herstellen dreidimensionaler Bauteile.

**[0020]** In einem Gehäuse 6 als geschlossenem System ist in einer Haltevorrichtung 2 ein pulverförmiger Ausgangswerkstoff 1 gehalten, der aus zwei chemischen Elementen mit unterschiedlichem Dampfdruck bei gleicher Temperatur und gleichem Druck ausgebildet ist. Das gasdichte Gehäuse 6 ist abgepumpt, so dass innerhalb des Gehäuses 6 ein Vakuum vorliegt, d. h. ein Umgebungsdruck von weniger als  $10^{-3}$  mbar. Eine entsprechende Pumpe ist Teil der Vorrichtung zum Durchführen des Verfahrens, aus Übersichtsgründen jedoch nicht abgebildet. Der pulverförmige Ausgangswerkstoff 1 wird in der einseitig nach oben offenen Haltevorrichtung 2 durch einen Energiestrahlen 4, im dargestellten Ausführungsbeispiel einen Elektronenstrahl, bearbeitet, der von einer Strahlungsquelle 3 emittiert wird. Die Strahlungsquelle 3 ist somit eine Vorrichtung zum Durchführen eines additiven pulverbasierten Strahlfertigungsverfahrens, im dargestellten Ausführungsbeispiel Elektronenstrahlschmelzen. In weiteren Ausführungsbeispielen kann alternativ oder zusätzlich auch

Laserstrahlschmelzen als Strahlfertigungsverfahren Verwendung finden. Das beschriebene Verfahren kann in einem weiteren Ausführungsbeispiel aber auch pulverbettbasiert durchgeführt werden bzw. es kann statt eines pulverförmigen Ausgangswerkstoffs 1 auch ein drahtförmiger Ausgangswerkstoff verwendet werden. Typischerweise wird dabei der pulverförmige oder drahtförmige Ausgangswerkstoff über eine Zufuhrvorrichtung coaxial zum Energiestrahlen aufgebracht.

**[0021]** Der Energiestrahlen 4 ist zweidimensional auslenkbar bzw. die Haltevorrichtung 2 ist in einer parallel zum Boden des Gehäuses 6 verlaufenden Ebene verschiebbar. Durch eine auf die Strahlungsquelle 3 wirkende Steuer-/Regeleinheit 5 kann der Energiestrahlen 4 derart eingestellt werden, dass mindestens ein Prozessparameter des Energiestrahls 4 derart eingestellt wird, dass sich ein veränderlicher Dampfdruck wenigstens eines der beiden Elemente des Ausgangswerkstoffs 1 einstellt, so dass der Anteil dieses chemischen Elements im Bauteilvolumen definiert im zu fertigenden Bauteil variiert wird. Die Steuer-/Regeleinheit 5 ist im dargestellten Ausführungsbeispiel außerhalb des Gehäuses 6 angeordnet, kann in weiteren Ausführungsbeispielen aber auch innerhalb des Gehäuses 6 befestigt sein. Der Prozessparameter ist ausgewählt aus einer Leistungsdichte im Brennfleck des Energiestrahls 4, einem Strom des Energiestrahls 4, einer Vorschubbewegungsgeschwindigkeit des Brennflecks des Energiestrahls 4, einer Scangeschwindigkeit des Energiestrahls 4, einem Abstand zwischen nebeneinander angeordneten Bearbeitungsspuren des Energiestrahls 4 und/oder einer Anzahl von Beeinflussungen durch den Energiestrahlen 4 an einer jeweiligen Position im Bauteilvolumen.

**[0022]** Der pulverförmige Ausgangswerkstoff 1 wird schichtweise bearbeitet, d. h. der mindestens eine Prozessparameter wird innerhalb einer jeweiligen Schicht lokal definiert variiert. Zusätzlich wird der Prozessparameter im dargestellten Ausführungsbeispiel zwischen verschiedenen übereinander angeordneten Schichten variiert. Für das dargestellte Elektronenstrahlschmelzen wird somit in der Haltevorrichtung 2 als Vorratsbehälter über ein Rakel eine Pulverschicht mit einer Pulverschichtdicke von  $10\ \mu\text{m}$  bis  $1000\ \mu\text{m}$  aufgetragen, im dargestellten Ausführungsbeispiel  $100\ \mu\text{m}$ . Das verwendete Pulver hat einen Teilchendurchmesser von  $50\ \mu\text{m}$  bis  $150\ \mu\text{m}$ , es kann aber allgemein ein Partikeldurchmesser von  $10\ \mu\text{m}$  bis  $200\ \mu\text{m}$  verwendet werden. Das Pulver als Ausgangswerkstoff 1 enthält zwei der Elemente Titan, Aluminium, Niob, Wolfram, Kohlenstoff, Silizium oder Bor. Der Ausgangswerkstoff 1 kann auch mindestens eine Legierung aufweisen, die aus einem der genannten chemischen Elemente gebildet ist. In weiteren Ausführungsbeispielen kann der pulverförmige Ausgangswerkstoff 1 auch eine

Pulvermischung aus einem metallischen Werkstoff als chemisches Element und einer Keramik sein. Die Keramik bleibt in dem schließlich hergestellten Bauteil, während das Metall abgedampft wird.

**[0023]** Im dargestellten Ausführungsbeispiel herrscht innerhalb des Gehäuses 6 ein Druck von  $2 \cdot 10^{-3}$  mbar, es kann aber allgemein ein Vakuum von bis zu  $10^{-6}$  mbar mit Heliumpartialdrücken von bis zu  $4 \cdot 10^{-3}$  mbar verwendet werden. Die Temperatur innerhalb des Gehäuses 6 beträgt mehr als 1000 °C, im dargestellten Ausführungsbeispiel 1100 °C. Die Schichten werden wie schon ausgeführt mit einer Schichtdicke von 100 µm gefertigt, es können aber auch Schichtdicken zwischen 30 µm bis 150 µm vorgesehen sein. Der Energiestrahls 4 rastert eine der Strahlungsquelle 3 zugewandte Oberfläche des Ausgangswerkstoffes 1 ab, wobei ein Abstand der Scanlinien typischerweise gleich einer verwendeten Schichtdicke ist, im dargestellten Ausführungsbeispiel also 100 µm. In weiteren Ausführungsbeispielen kann dieser Abstand aber auch zwischen 30 µm bis 200 µm betragen. Eine Stromstärke des Energiestrahls 4 beträgt 4 mA bis 20 mA und eine Scangeschwindigkeit 0,4 m/s bis 12 m/s.

**[0024]** Bei dem in **Fig. 1** dargestellten Ausführungsbeispiel ist ein gegenüber der Strahlrichtung des Energiestrahls 4 schräg angeordnetes Blech 7 innerhalb des Gehäuses 6 angeordnet. Durch den Strahl 4 verdampftes Metall kann an diesem Blech kondensieren und wiederverwendet werden. Durch diese Recyclingfähigkeit der verwendeten Werkstoffe wird die Effizienz des beschriebenen Verfahrens erhöht und das Verfahren wird umweltverträglicher durchgeführt.

**[0025]** Bei einem Pulver mit zwei Elementen wird der Gehalt bzw. Anteil des Elements mit dem höheren Dampfdruck variiert, wodurch der Gehalt des Elements mit dem niedrigeren Dampfdruck zunimmt. Bei mehr als zwei Elementen im Pulver wird entweder nur der Gehalt des Elements mit dem höchsten Dampfdruck oder es werden die Anteile mehrerer Elemente unterschiedlicher Dampfdrücke variiert. Da die Prozessparameter sowohl innerhalb einer einzelnen Schicht als auch zwischen den einzelnen Schichten variiert werden können, kann ein kontinuierlicher oder diskontinuierlicher Gradient in der Zusammensetzung in allen Raumrichtungen realisiert werden, wobei auch ein lokaler diskontinuierlicher Gradient über eine oder mehrere Schichten realisiert werden kann. Außerdem besteht keinerlei Beschränkung hinsichtlich der Elemente und möglichen Zielzusammensetzungen, solange die Herstellung eines entsprechenden Pulvers möglich ist. Zu beachten ist lediglich, dass die Elemente nur in einer bestimmten Reihenfolge, beginnend mit dem Element mit dem höchsten Dampfdruck, entfernt werden können, d. h. es werden gegebenenfalls die

Gehalte bzw. Anteile mehrerer Elemente gleichzeitig variiert. Hinsichtlich der Prozessatmosphäre ist Vakuum zwar vorteilhaft, das beschriebene Verfahren kann aber auch bei Normaldruck bzw. Atmosphärendruck, also 1013 mbar, bei Einkopplung entsprechend hoher Energien durchgeführt werden. In dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel kann somit beispielsweise Aluminium als chemisches Element im Ausgangswerkstoff 1 im Bereich zwischen 46,5 Atomprozent bis 42, 5 Atomprozent variiert werden, wobei 1 Atomprozent bis 4 Atomprozent Aluminiumverlust einstellbar sind. Beispielsweise kann ein mit dem erläuterten Verfahren hergestelltes Bauteil eine Turbinenschaufel sein, die typischerweise eine Fläche von 80 mm mal 30 mm und einer Höhe von bis zu 230 mm aufweist.

**[0026]** Maximale Konzentrationsunterschiede werden hierbei erzielt, indem von der Oberfläche gasdicht abgeschlossene Teilvolumina nur versintert werden, also kein Schmelzen stattfindet und somit auch kein nachweisbarer Energieverlust.

**[0027]** Eine finale Verdichtung sollte in diesem Fall jedoch über druckunterstütztes Sintern erfolgen. Mit dem beschriebenen Verfahren kann somit mit nur einem Ausgangspulver als Ausgangswerkstoff 1 ein Gradient der Zusammensetzung in allen drei Raumrichtungen erreicht werden, so dass das bislang auftretende Problem einer Querkontamination und nicht immer möglicher Trennung mehrerer Pulver nach dem Aufbauprozess nicht mehr auftritt. Das beschriebene Verfahren kann für eine Bauteilfertigung in den Bereichen Raumfahrt, Medizintechnik, Maschinenbau oder Verbrauchsgüter eingesetzt werden, wobei innerhalb des Bauteils räumlich lokalisiert vorteilhafte Materialeigenschaften durch variable chemische Zusammensetzung erzeugt werden können. Durch Kombination unterschiedlicher und oft gegenläufiger Eigenschaften wie beispielsweise Zähigkeit und Kriechbeständigkeit entstehen leistungsfähigere Bauteile. Zudem kann auch eine Korrosionsbeständigkeit bzw. ein magnetisches Verhalten eingestellt werden.

**[0028]** Lediglich in den Ausführungsbeispielen offenbarte Merkmale der verschiedenen Ausführungsformen können miteinander kombiniert und einzeln beansprucht werden.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- US 20150037601 A1 [0003]

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen dreidimensionaler Bauteile, bei dem

aus einem pulverförmigen oder drahtförmigen Ausgangswerkstoff (1), der mit mindestens zwei Komponenten gebildet ist, wobei die Komponenten einen unterschiedlichen Dampfdruck bei gleicher Temperatur aufweisen, durch ein additives Strahlfertigungsverfahren ein Bauteil hergestellt wird, wobei mindestens ein Prozessparameter zum Betrieb mindestens eines zweidimensional auslenkbaren Energiestrahls derart eingestellt wird, dass sich der Dampfdruck von mindesten einer der Komponenten ändert, so dass der Anteil dieser Komponente im Bauteilvolumen lokal definiert im Bauteil variiert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das additive Strahlfertigungsverfahren mittels Energiestrahlschmelzen, vorzugsweise Laserstrahlschmelzen oder Elektronenstrahlschmelzen, durchgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Prozessparameter die Leistungsdichte im Brennfleck des Energiestrahls, einen Strom des Energiestrahls, eine Vorschubbewegungsgeschwindigkeit des Brennflecks des Energiestrahls, eine Scangeschwindigkeit des Energiestrahls, einen Abstand zwischen nebeneinander angeordneten Bearbeitungsspuren des Energiestrahls und/oder eine Anzahl von Beeinflussungen durch den Energiestrahls an einer jeweiligen Position im Bauteilvolumen umfasst.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Bauteil aus dem pulverförmigen oder drahtförmigen Ausgangswerkstoff (1) in einem geschlossenen System (6) bearbeitet wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Bauteil unter Vakuumbedingungen hergestellt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens zwei Komponenten chemische Elemente sind, die ausgewählt sind aus Titan, Aluminium, Niob, Wolfram, Kohlenstoff, Silizium und/oder Bor oder die mindestens zwei Legierungen ausgewählt sind aus Legierungen, die mindestens eines dieser chemischen Elemente zusammen mit einem weiteren chemischen Element aufweisen.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens zwei Komponenten mindestens eine

Legierung aufweisen, die ein oder mehrere weitere chemische Elemente mit einem Anteil kleiner 40 Masseprozent aufweist.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein schichtweises Bearbeiten des pulverförmigen oder drahtförmigen Ausgangswerkstoffs (1) durchgeführt wird, wobei der mindestens eine Prozessparameter innerhalb einer jeweiligen Schicht lokal definiert variiert wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein schichtweises Bearbeiten des pulverförmigen oder drahtförmigen Ausgangswerkstoffs (1) durchgeführt wird, wobei der mindestens eine Prozessparameter zwischen verschiedenen übereinander angeordneten Schichten des pulverförmigen oder drahtförmigen Ausgangswerkstoffs (1) variiert wird.

10. Vorrichtung zum Durchführen des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit einer Haltevorrichtung (2) zum Halten des pulverförmigen oder drahtförmigen Ausgangswerkstoffs (1), einer Vorrichtung (3) zum Durchführen des additiven Strahlfertigungsverfahrens und einer Steuer-/Regeleinheit (5) zum Steuern der Vorrichtung zum Durchführen des additiven Verfahrens und zum Einstellen des mindestens einen Prozessparameters.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, **gekennzeichnet durch** eine Einheit zum Auffangen und zur Kondensation der beim Durchführen des additiven Strahlfertigungsverfahrens verdampften Komponente.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

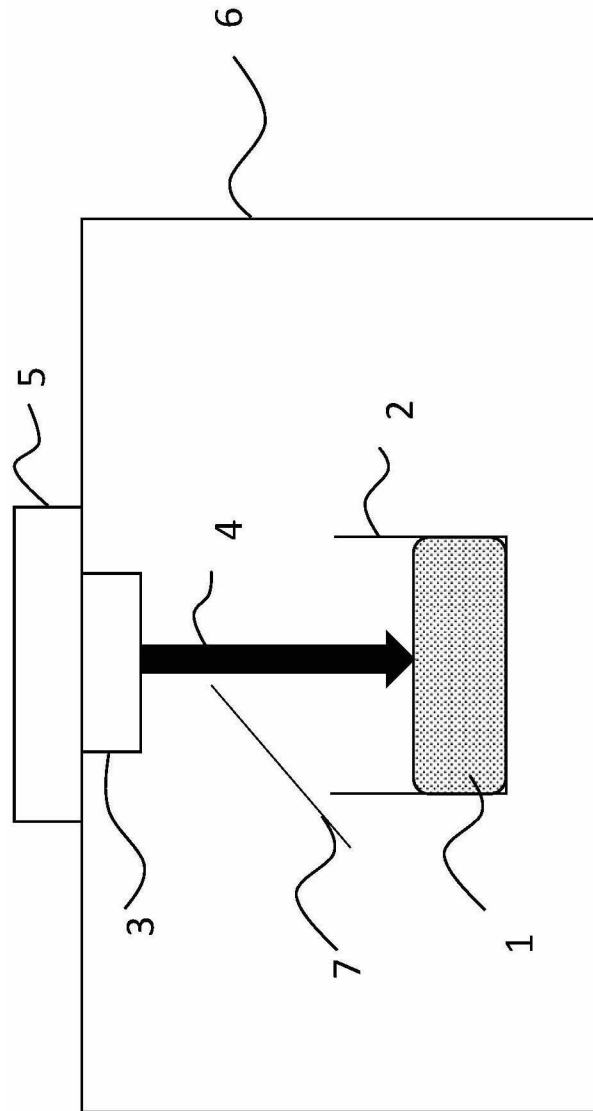


Fig. 1