



(10) **DE 10 2018 102 082 A1** 2019.08.01

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 102 082.1**

(22) Anmeldetag: **30.01.2018**

(43) Offenlegungstag: **01.08.2019**

(51) Int Cl.: **B22F 3/105 (2006.01)**

**G01N 23/225 (2018.01)**

(71) Anmelder:  
**pro-beam AG & Co. KGaA, 82152 Planegg, DE**

(72) Erfinder:  
**Löwer, Thorsten, Dr., 80339 München, DE**

(74) Vertreter:  
**Ostertag & Partner, Patentanwälte mbB, 70597  
Stuttgart, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

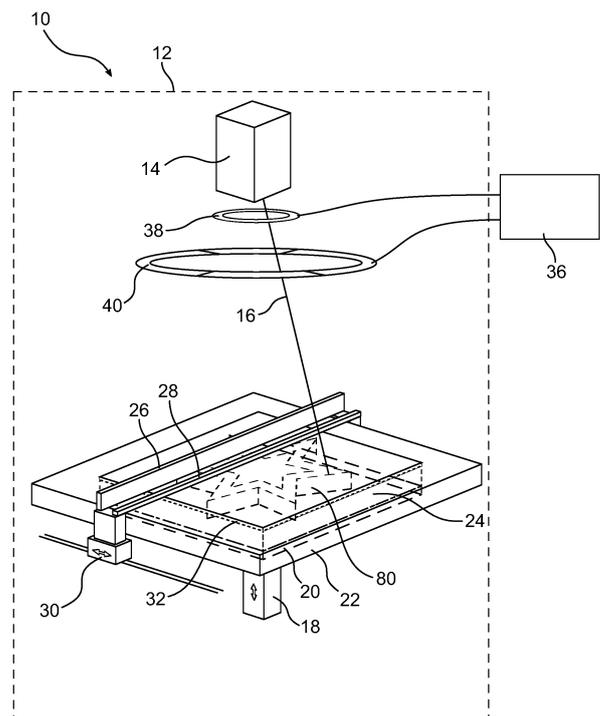
<b>DE</b>	<b>10 2010 011 059</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2015 / 0 034 606</b>	<b>A1</b>

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Elektronenstrahlanlage zur additiven Herstellung eines Werkstücks**

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren und eine Elektronenstrahlanlage zur additiven Herstellung eines Werkstücks (80) arbeiten wie folgt: Bereitstellen eines pulverförmigen Werkstoffes in einem Pulverbett (24) in einer Elektronenstrahlanlage (10); Örtlich selektives Schmelzen des Werkstoffes im Pulverbett (24) mit einem bewegten Elektronenstrahl (16); Erfassen von Rückstreuelektronen (42), die von dem Werkstoff oder dem Werkstück (80) zurückgestreut werden, mit einem Rückstreuelektronendetektor (38, 40); Auswerten der Rückstreuelektronen (42) mit einer Auswerteeinheit (36)



**Beschreibung**

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

## Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur additiven Herstellung eines Werkstücks mit folgenden Schritten:

- a) Bereitstellen eines pulverförmigen Werkstoffes in einem Pulverbett in einer Elektronenstrahl-anlage;
- b) Örtlich selektives Schmelzen des Werkstoff im Pulverbett mit einem bewegten Elektronenstrahl;

**[0002]** Die Erfindung betrifft ferner eine Elektronenstrahlanlage zur additiven Herstellung eines Werkstücks aus einem pulverförmigen Werkstoff mit

- a) einem Behältnis zur Aufnahme eines pulverförmigen Werkstoff in einem Pulverbett,
- b) einem Elektronenstrahlerzeuger, der dazu eingerichtet ist, einen Elektronenstrahl auf lateral unterschiedliche Orte des Pulverbetts zu richten, um dort örtlich selektiv den pulverförmigen Werkstoff zu schmelzen.

## Beschreibung des Standes der Technik

**[0003]** Additive Herstellungsprozesse von Werkstücken erfahren derzeit unter dem Stichwort 3D-Druck große Aufmerksamkeit. Dabei ist es bereits bekannt, mit einem Laserstrahl einen pulverförmigen Werkstoff wie beispielsweise ein Kunststoffgranulat in einem Werkstoffbett Schicht für Schicht punktweise selektiv zu schmelzen, sodass nach und nach aus dem geschmolzenen und danach wieder ausgehärteten Kunststoff ein zusammenhängendes Werkstück erhalten wird. Am Ende des additiven Herstellungsprozesses wird dieses Werkstück von dem noch pulverförmigen Rest des pulverförmigen Werkstoffs befreit.

**[0004]** Zur Überwachung eines solchen Herstellungsprozesses ist aus der EP 2 032 345 B1 zudem bekannt, eine Kamera einzusetzen, welche die Bearbeitungszone optisch überwacht.

**[0005]** Eine Bildauswertung kann dann durch Aufzeichnen einzelner Schichtbilder Schicht für Schicht erkennen, ob das Werkstück wie gewünscht voranschreitet. Durch Zusammenfügen der einzelnen Schichtbilder kann die Bildverarbeitung darüber hinaus von dem Werkstück ein tomographisches Bild erzeugen.

**[0006]** Ferner ist es auch bekannt, sogenannte Elektronenstrahlanlagen, bei welchen in einem Vakuumgefäß ein Elektronenstrahl auf ein Werkstoffbett ge-

richtet wird, zur additiven Herstellung von Werkstücken zu verwenden.

**[0007]** Hierbei hat sich jedoch herausgestellt, dass die Anwendung eines optischen Überwachungsverfahrens nicht zu zufriedenstellenden Ergebnissen führt.

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0008]** Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur Überwachung eingangs genannter Art anzugeben, welches auch bei der Verwendung von Elektronenstrahlen zur additiven Herstellung eines Werkstücks gewünschte Ergebnisse liefert.

**[0009]** Aufgabe der Erfindung ist es ferner eine entsprechende Elektronenstrahlanlage anzugeben.

**[0010]** Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren eingangs genannter Art gelöst, das die folgenden Schritte umfasst:

- c) Erfassen von Rückstreuелеktronen, die von dem Werkstoff oder dem Werkstück zurückgestreut werden, mit einem Rückstreuелеktronendetektor;
- d) Auswerten der Rückstreuелеktronen mit einer Auswerteeinheit.

**[0011]** Bei der additiven Herstellung von Werkstücken mit Hilfe von Elektronenstrahlanlagen werden typischerweise andere Materialien wie bei der Verwendung von Laserstrahlanlagen verwendet. Beispielsweise werden in Elektronenstrahlanlagen häufig Metalle oder Metalllegierungen verwendet.

**[0012]** Der Erfinder hat dabei erkannt, dass beim Schmelzen mittels Elektronenstrahlen der bekannte Ansatz, eine Kamera einzusetzen, nicht anwendbar ist. Denn der zu verschmelzende Werkstoff im Pulverbett muss beim Elektronenstrahlschmelzen häufig vorerhitzt werden, um das Pulver bereits nahe an oder bis direkt an die Schmelztemperatur zu bringen. Ansonsten würde ein pulverförmiger Werkstoff aufgrund von elektrostatischer Abstoßung und aufgrund der Prozessführung im Vakuum aus dem Pulverbett „verblasen“.

**[0013]** Der pulverförmige Werkstoff ist daher bereits rotglühend und würde sich von einem weißglühenden Schmelzpunkt optisch kaum unterscheiden bzw. würde die Dynamik einer optischen Erfassung überfordern. Auch kühlt sich das Werkstück im Vakuum nur langsam Abkühlen, sodass die Grenze zwischen Werkstück und pulverförmigem Werkstoff bei einer optischen Erfassung ohne längere Wartezeiten kaum erkennbar wäre.

**[0014]** Der Erfinder hat ferner erkannt, dass ein Warten auf das Abkühlen des Werkstücks zur optischen Erfassung nicht anwendbar ist, da dann im Werkstück Gefügeänderungen auftreten, die nicht wünschenswert sind.

**[0015]** Der Erfinder ist daher dazu übergegangen, die Rückstreuelektronen zur Überwachung des additiven Herstellungsprozesses heranzuziehen.

**[0016]** Im Gegensatz zur optischen Erfassung einer gesamten Schicht mit einer einzelnen Aufnahme werden die Rückstreuelektronen jeweils nur an einem Punkt, dem Auftreffpunkt des Elektronenstrahls zurück gestreut. Daher liefert das erfindungsgemäße Verfahren erst durch eine entsprechende Scanbewegung eine der optischen Erfassung vergleichbares Bild.

**[0017]** Insbesondere kann dabei die Intensität der Rückstreuelektronen, d.h. der Rückstreuelektronenstrom, ausgewertet werden.

**[0018]** Insgesamt erlaubt das erfindungsgemäße Verfahren eine bessere Kontrolle des gesamten additiven Herstellungsprozesses bei der Verwendung eines Elektronenstrahls zum örtlich selektiven Schmelzen.

**[0019]** Vorzugsweise kann durch das Auswerten die Dichte des Werkstücks bestimmt werden.

**[0020]** Das Rückstreuverhalten der Elektronen wird stark durch die Dichte des Werkstoffes an dem jeweiligen Auftreffpunkt des Elektronenstrahls bestimmt. Daher eignet sich die Auswertung der erfassten Rückstreuelektronen besonders zur Bestimmung der Dichte des Werkstoffs. Dies ist ein besonderer Vorteil gegenüber der aus dem Herstellungsprozess mittels Laser bekannten optischen Erfassung, da dadurch eine innere Struktur des Werkstückmaterials bestimmt werden kann.

**[0021]** Vorzugsweise kann durch das Auswerten der Rückstreuelektronen ein Schichtbild des Werkstücks erzeugt werden.

**[0022]** Durch ein Erfassen der Rückstreuelektronen Schicht für Schicht während des additiven Herstellungsprozesses kann von dem erzeugten Werkstück eine Art tomographische Bild generiert werden. Da das Rückstreuverhalten der Elektronen vor allem von der Dichte des Werkstoffs abhängt, zeigt dieses Bild besonders Vorteilhaft die Dichteverteilung innerhalb des Werkstücks.

**[0023]** Vorzugsweise kann durch das Auswerten eine Änderung der Zusammensetzung des Werkstoffs bestimmt werden.

**[0024]** Falls der Werkstoff für das Werkstück sich wie beispielsweise im Falle einer Legierung aus unterschiedlichen Komponenten zusammensetzt lässt sich auf diese Weise die Änderung der Legierung bestimmen, sofern sich diese Änderung auf das Rückstreuverhalten der Rückstreuelektronen auswirkt. So kann beispielsweise eine Legierung im ursprünglichen, pulverförmigen Werkstoff eine erste Dichte aufweisen und die geschmolzene und wieder erstarrte Legierung im Werkstück kann eine zweite Dichte aufweisen. Auch Änderungen der Zusammensetzung im Pulverbett können erkannt werden und beispielsweise zur Temperaturführung des Vorheizens verwendet werden. Insbesondere kann auch die Stickstoffverarmung eines Materials aufgrund des Schmelzvorgangs gemessen werden.

**[0025]** Vorzugsweise kann durch das Auswerten der Rückstreuelektronen die Mikroporosität des Werkstücks bestimmt werden.

**[0026]** Mit Hilfe entsprechender Parametrisierung des Elektronenstrahls und/oder der Temperaturführung des Pulverbetts kann ein mikroporöses Werkstück hergestellt werden, bei welchem die Pulverpartikel nur teilweise miteinander verschmolzen sind. Über das erfindungsgemäße Verfahren kann dabei die Mikroporosität überwacht werden. Davon unabhängig kann die Mikroporosität jedoch auch zur Überwachung eines vollständigen Schmelzprozesses verwendet werden, um eine möglichst geringe Mikroporosität des Werkstücks zu erhalten.

**[0027]** Vorzugsweise kann durch das Auswerten die Oberflächenqualität des Bauteils bestimmt wird.

**[0028]** Da die Rückstreuelektronen stark auf die Dichte des Werkstoff reagieren, kann die Auswertung besonders gut den Übergang vom weniger Dichten pulverförmigen Werkstoff zum geschmolzenen und damit dichteren Werkstoff des Werkstücks erkennen. Insbesondere können dadurch Sinterhalse erkannt werden, die sich von einer Oberfläche des Werkstücks in das benachbarte heiße Pulver erstrecken. Dies ist beispielsweise von entscheidender Bedeutung zur Temperaturführung des Pulverbetts, um eine glatte Oberfläche zu erhalten.

**[0029]** Denn der additive Herstellungsprozess mit Hilfe des Elektronenstrahls hat gerade gegenüber dem aus kaltem Pulver bauenden Laserprozess den Nachteil schlechterer Oberflächenqualität aufgrund des Vorheizens. Durch das erfindungsgemäße Verfahren kann man dennoch ein Werkstück mit einer qualitativ hochwertigeren Oberfläche erzeugen, wobei das Werkstück zugleich weniger Verspannungen als ein Werkstück aus einem Laserprozesses aufweist.

**[0030]** Vorzugsweise kann das Erfassen der Rückstreuelektronen während des Schmelzens und/oder nach dem Schmelzen erfolgen.

**[0031]** Da auch während des Schmelzvorgangs mit Hilfe des Elektronenstrahls Elektronen zurückgestreut werden, kann das Erfassen und Auswerten grundsätzlich auch zeitgleich am jeweiligen Schmelzpunkt erfolgen. Insbesondere kann die Dichte laufend während des Schmelzprozesses an dem jeweiligen Punkt gemessen werden.

**[0032]** Das Erfassen und Auswerten kann jedoch auch beispielsweise mit einer verminderten Elektronenstrahlintensität nach dem eigentlichen Schmelzvorgang erfolgen. Dann kann auch eine Scanbewegung durchgeführt werden, um beispielsweise ein gesamtes Schichtbild zu erzeugen.

**[0033]** Vorzugsweise kann das Ergebnis des Auswertens zur Prozesssteuerung verwendet werden.

**[0034]** Ganz allgemein kann der gesamte additive Herstellungsprozess in Abhängigkeit der Auswertung der Rückstreuelektronen, insbesondere der oben genannten Auswertungen, geregelt werden. Zu den steuerbaren Prozessparametern zählt beispielsweise Temperatursteuerung für das Vorheizen des Pulvers, die Elektronenstrahlintensität und/oder die Geschwindigkeit, mit welcher der Elektronenstrahl bewegt wird.

**[0035]** Vorzugsweise kann das Auswerten der Rückstreuelektronen richtungsabhängig mit Hilfe mehrerer an unterschiedlichen Orten angeordneten Rückstreuelektronendetektoren erfolgen.

**[0036]** Dazu kann zumindest einer der Detektoren beispielsweise zwischen  $30^\circ$  und  $60^\circ$  bezogen auf die senkrechte Rückstreurichtung seitlich angeordnet sein, um den Rückstreuekegel richtungsabhängig zu erfassen. Ferner kann ein üblicherweise einstückiger Rückstreuelektronendetektor in mehrere Sektoren unterteilt sein. Dadurch kann man Schattenwurf-topographien erzeugen, die für weitere Prozesssteuerungen ausgewertet werden können.

**[0037]** Diese richtungsabhängige Messung der Rückstreuelektronen kann auch unabhängig von dem hier erfindungsgemäßen additiven Herstellungsverfahren ganz allgemein bei der Elektronenstrahlbearbeitung zur Anwendung kommen.

**[0038]** Hinsichtlich der Elektronenstrahlanlage wird die Aufgabe durch eine eingangs genannte Elektronenstrahlanlage gelöst, bei der

c) die Elektronenstrahlanlage eine Auswerteeinheit und einen Rückstreuelektronendetektor aufweist, die dazu eingerichtet sind, Rückstreuelektronen, die von dem Werkstoff oder dem Werkstück zurückgestreut werden, zu erfassen und auszuwerten.

**[0039]** Eine solche Elektronenstrahlanlage kann die oben beschriebenen Verfahren durchführen.

#### Figurenliste

**[0040]** Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnungen näher erläutert. In diesen zeigen:

**Fig. 1** eine perspektivische Ansicht einer erfindungsgemäßen Elektronenstrahlanlage zur additiven Herstellung eines Werkstücks mit einem Rückstreuelektronenstrahldetektor und einer Auswerteeinheit;

**Fig. 2** eine Schnittansicht der Elektronenstrahlanlage aus **Fig. 2**;

**Fig. 3** eine schematische Darstellung der Abfolge eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur additiven Herstellung eines Werkstücks mit einem Schritt zur Erfassung und Auswertung der Rückstreuelektronen.

#### BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

**[0041]** **Fig. 1** zeigt eine Elektronenstrahlanlage **10** mit einem Vakuumgehäuse **12**, in welchem eine Elektronenstrahlkanone **14** zur Erzeugung eines Elektronenstrahls **16** angeordnet ist.

**[0042]** Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist die Elektronenstrahlkanone **14** oberhalb eines Hubtisches **18** mit einer elektrisch leitfähigen Hubplatte **20** und mit einem Aufnahmerahmen **22** angeordnet, der als räumlich begrenztes Pulverbehältnis dient, welches ein Pulverbett **24** aus einem zu bearbeitenden pulverförmigen Werkstoff aufnimmt.

**[0043]** Wird die Hubplatte **20** nach unten gefahren, kann das Pulverbett **24** nach und nach einen größer werdenden Bereich einnehmen, sodass das Pulverbett **24** Schicht für Schicht vergrößert wird.

**[0044]** Oberhalb des Aufnahme Rahmens **22** ist dazu eine Pulverauftrageinrichtung **26** mit einer Raket **28** angeordnet, die mit einer Verfahreinrichtung **30** über den Hubtisch **18** bewegt werden kann. Die Pulverauftrageinrichtung **26** weist einen nicht gezeigten Behälter für den pulverförmigen Werkstoff auf, aus welchem durch eine Verfahrbewegung jeweils als oberste lose Schicht **32** der Werkstoff auf dem Pulverbett **24** eben aufgerakelt werden kann.

**[0045]** Über ein in **Fig. 2** ersichtliches Heizelement **34** am oberen Rand des Aufnahmerahmens **22** kann das Pulverbett **24** erwärmt werden.

**[0046]** Mit dem Bezugszeichen **80** ist in **Fig. 1** ferner ein beispielhaft als Stern dargestelltes Werkstück bezeichnet, das durch Verschmelzen einzelner Partikel im Pulverbett **22** mit Hilfe des Elektronenstrahls **16** nach und nach ausgebildet bzw. „gedruckt“ wurde.

**[0047]** Aus **Fig. 2** ist dabei ersichtlich, dass das Werkstück **80** auch in senkrechter Richtung zur horizontalen Fläche des Pulverbetts **22** mit Ausnehmungen und Wölbungen komplexer strukturiert ist.

**[0048]** Zudem sind dort am Werkstück **80** beispielhaft kleinere Sinterhalse **82** gezeigt, welche aus der ansonsten glatten Oberfläche des Werkstücks **80** hervorstehen.

**[0049]** Ferner ist ein mikroporöser Bereich **84** des Werkstücks **80** gezeigt, in welchem nur eine teilweise Verschmelzung der Pulverpartikel erfolgte.

**[0050]** Die Elektronenstrahlanlage **10** weist außerdem eine Auswerte- und Steuerungseinheit **36** auf, welche elektrisch mit zwei Rückstreuelektronendetektoren **38** und **40** verbunden ist.

**[0051]** Im einfachsten hier gezeigten Fall sind die Rückstreuelektronendetektoren **38** und **40** konzentrisch um die Hauptachse des Elektronenstrahls **16** herum angeordnete Metallringe unterschiedlichen Durchmessers. Der Rückstreuelektronendetektor **40** ist dabei in vier Sektoren unterteilt, welche (hier nicht explizit dargestellt) jeweils einzeln elektrisch mit der Auswerte- und Steuerungseinheit **36** verbunden sind.

**[0052]** Wie aus **Fig. 2** ersichtlich ist, können mit Hilfe der Rückstreuelektronendetektoren **36** und **38** sogenannte Rückstreuelektronen **42** detektiert werden, die aufgrund des Elektroneneintrages durch den Elektronenstrahl **16** vom Pulverbett **24** oder dem Werkstück **80** zurückgestreut werden.

**[0053]** Die Auswerte- und Steuerungseinheit **36** ist dann dazu eingerichtet, verschiedene Eigenschaften des pulverförmigen Werkstoffs im Pulverbett **24** oder des Werkstücks **80** zu bestimmen.

**[0054]** Zudem kann die Auswerte- und Steuerungseinheit **36** diese Information dazu nutzen, den additiven Herstellungsprozess zu steuern. Dazu ist die Auswerte- und Steuerungseinheit **36** beispielsweise elektrisch mit dem Heizelement **34** zum Erwärmen des Pulverbetts **24** verbunden.

**[0055]** Die erfindungsgemäße Elektronenstrahlanlage **10** arbeitet wie aus **Fig. 3** ersichtlich wie folgt:

**[0056]** Zunächst wird im Schritt **A** mit der Pulverauftrageinrichtung **26** die oberste lose Schicht **32** aus pulverförmigem Werkstoff auf dem Pulverbett **24** aufgetragen. Im Nachlauf zur Bewegung der Pulverauftrageinrichtung **26** wird dabei noch während der Bewegung überschüssiges Pulver abgerakelt.

**[0057]** Anschließend bzw. zugleich wird entsprechend Schritt **B** das Pulverbett **24** dabei mit Hilfe des Heizelements **34** bis knapp unter oder an die Schmelztemperatur des Werkstoffs erhitzt.

**[0058]** Dann wird im Schritt **C** mit der Elektronenstrahlanlage **14** der Elektronenstrahl **16** erzeugt, der dann durch örtlich selektives Schmelzen der Pulverpartikel und das anschließende Erstarren des Werkstoffs die zu erzeugende 3D-Struktur des Werkstücks **80** vorgibt. Örtlich selektives Schmelzen bedeutet dabei ein punktuell Verschmelzen des pulverförmigen Werkstoffes am Auftreffort des Elektronenstrahls **16**. Je nach Scan-Strategie wird das Werkstück dann Punkt für Punkt, Linie für Linie und Schicht für Schicht erzeugt.

**[0059]** Im eigentlichen erfindungsgemäßen Schritt wird **D** dann der Elektronenstrahl **16** über das Pulverbett **24**, insbesondere über das gesamte Pulverbett **24**, geführt und dabei die Rückstreuelektronen **42** erfasst. Hierzu zeichnet die Auswerte- und Steuerungseinheit **36** den von den Rückstreuelektronendetektoren **38** und **40** erfassten Strom auf und wertet diesen aus.

**[0060]** Dadurch können verschiedene Eigenschaften sowohl des Pulverbetts **24** und/oder des Werkstücks **80** bestimmt werden. Hierzu gehört insbesondere die Bestimmung der Dichte des Werkstoffes und/oder des Werkstücks **80**, der Oberflächenqualität des Werkstücks **80**, des Vorhandenseins von Sinterhalsen **82**, der Mikroporosität des Werkstücks **80**, der Zusammensetzung des Werkstoffes und/oder anderer Eigenschaften.

**[0061]** Die oben beschriebenen Schritte **A** bis **D** werden jeweils Schicht um Schicht wiederholt bis die 3D-Struktur **80** beendet ist.

**[0062]** Da die Rückstreuelektronen **42** beispielsweise je nach Ausrichtung einer Oberfläche des Werkstücks **80** in unterschiedlich Richtungen unterschiedlich stark rückgestreut werden, kann die Auswerte- und Steuerungseinheit **36** durch entsprechende Auswertung der unterschiedlichen Ströme beispielsweise in den vier Sektoren des Rückstreuelektronendetektors **40** oder zwischen den beiden Detektoren **38** und **40** zusätzliche Informationen erhalten.

**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**

- EP 2032345 B1 [0004]

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur additiven Herstellung eines Werkstücks (80) mit folgenden Schritten:

- a) Bereitstellen eines pulverförmigen Werkstoffes in einem Pulverbett (24) in einer Elektronenstrahlanlage (10);
- b) Örtlich selektives Schmelzen des Werkstoff im Pulverbett (24) mit einem bewegten Elektronenstrahl (16); **gekennzeichnet durch:**
- c) Erfassen von Rückstreuelektronen (42), die von dem Werkstoff oder dem Werkstück (80) zurückgestreut werden, mit einem Rückstreuelektronendetektor (38, 40);
- d) Auswerten der Rückstreuelektronen (42) mit einer Auswerteeinheit (36).

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch das Auswerten der Rückstreuelektronen (42) die Dichte des Werkstücks (80) und/oder der pulverförmigen Werkstoffes bestimmt wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch Auswerten der Rückstreuelektronen (42) ein Schichtbild des Werkstücks (80) und/oder der pulverförmigen Werkstoffes erzeugt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch das Auswerten der Rückstreuelektronen (42) eine Änderung der Zusammensetzung des Werkstoffes bestimmt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch das Auswerten der Rückstreuelektronen (42) die Porosität des Werkstücks (80) bestimmt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch das Auswerten der Rückstreuelektronen (42) die Oberflächenqualität des Werkstücks (80) bestimmt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Erfassen der Rückstreuelektronen (42) während des Schmelzens und/oder nach dem Schmelzen erfolgt.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Ergebnis des Auswertens zur Prozesssteuerung verwendet wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Auswerten der Rückstreuelektronen (42) richtungsabhängig mit Hilfe mehrerer an unterschiedlichen Orten angeordneten Rückstreuelektronendetektoren (38, 40) erfolgt.

10. Elektronenstrahlanlage (10) zur additiven Herstellung eines Werkstücks (80) aus einem pulverförmigen Werkstoff mit

- a) einem Behältnis (20, 22) zur Aufnahme eines pulverförmigen Werkstoff in einem Pulverbett (24),
- b) einem Elektronenstrahlerzeuger (14), der dazu eingerichtet ist, einen Elektronenstrahl (16) auf lateral unterschiedliche Orte des Pulverbetts (24) zu richten, um dort örtlich selektiv den pulverförmigen Werkstoff zu schmelzen, **dadurch gekennzeichnet**, dass
- c) die Elektronenstrahlanlage (10) eine Auswerteeinheit (36) und einen Rückstreuelektronendetektor (38, 40) aufweist, die dazu eingerichtet sind, Rückstreuelektronen (42), die von dem Werkstoff oder dem Werkstück (80) zurückgestreut werden, zu erfassen und auszuwerten.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

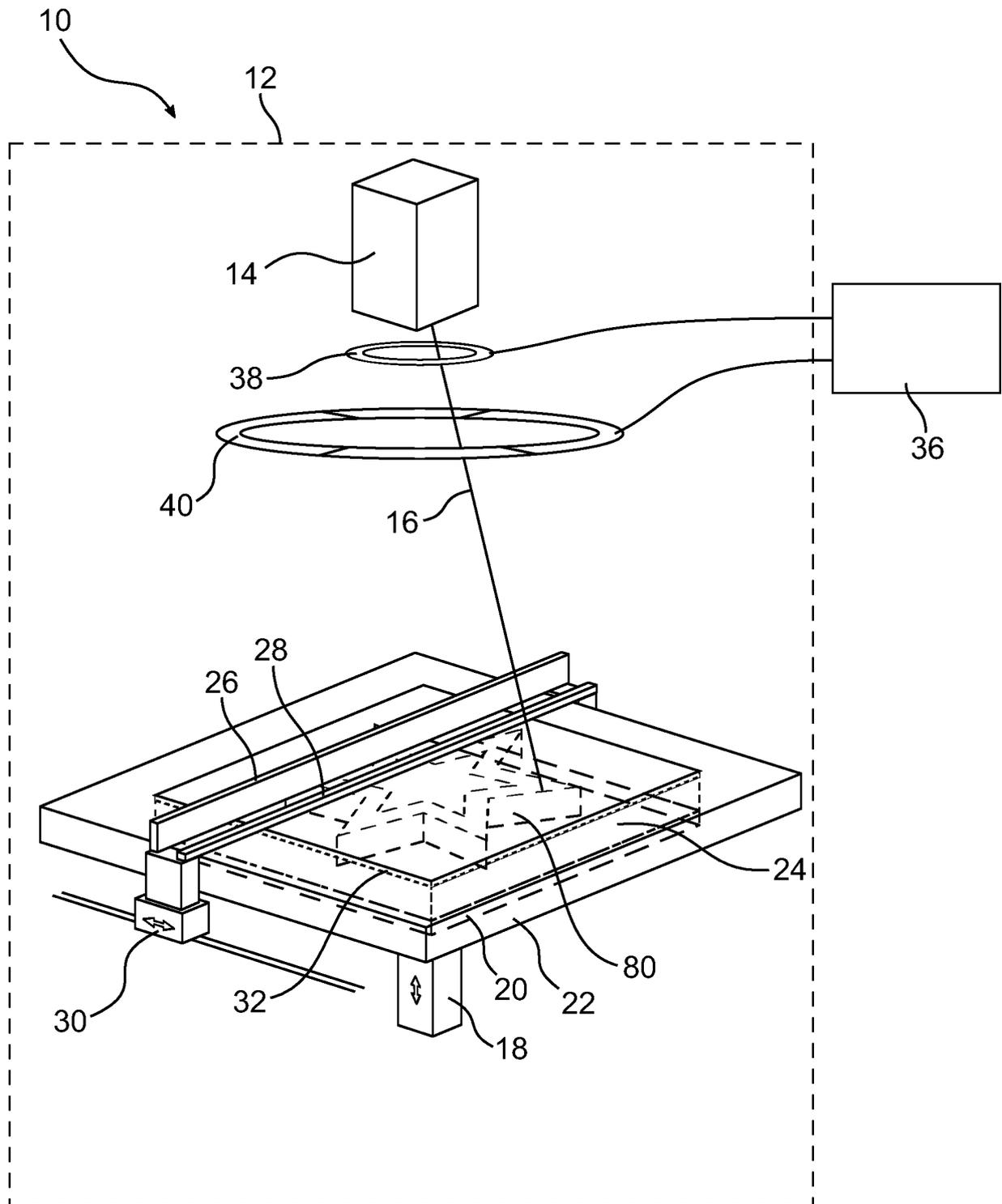


Fig. 1

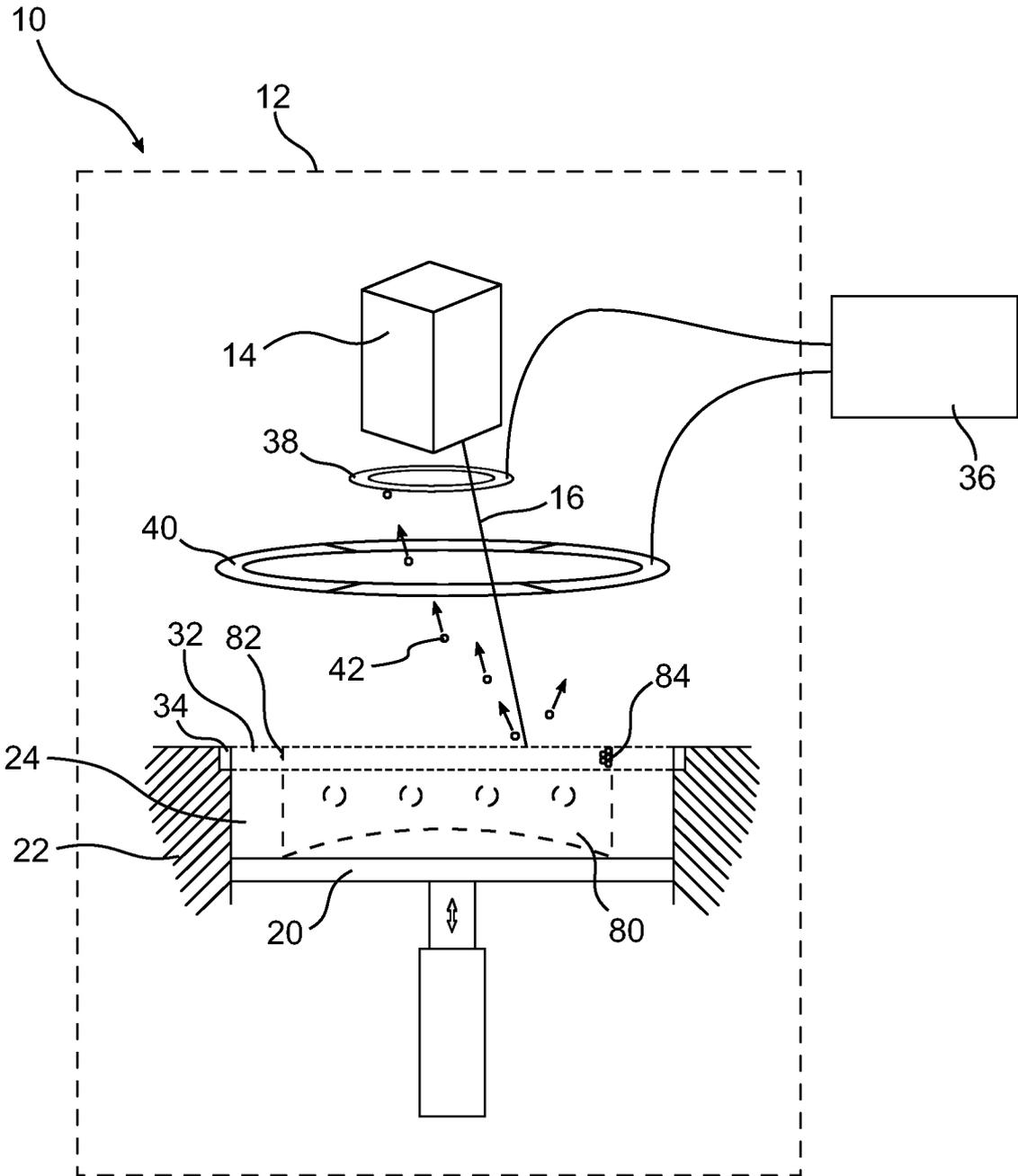


Fig. 2

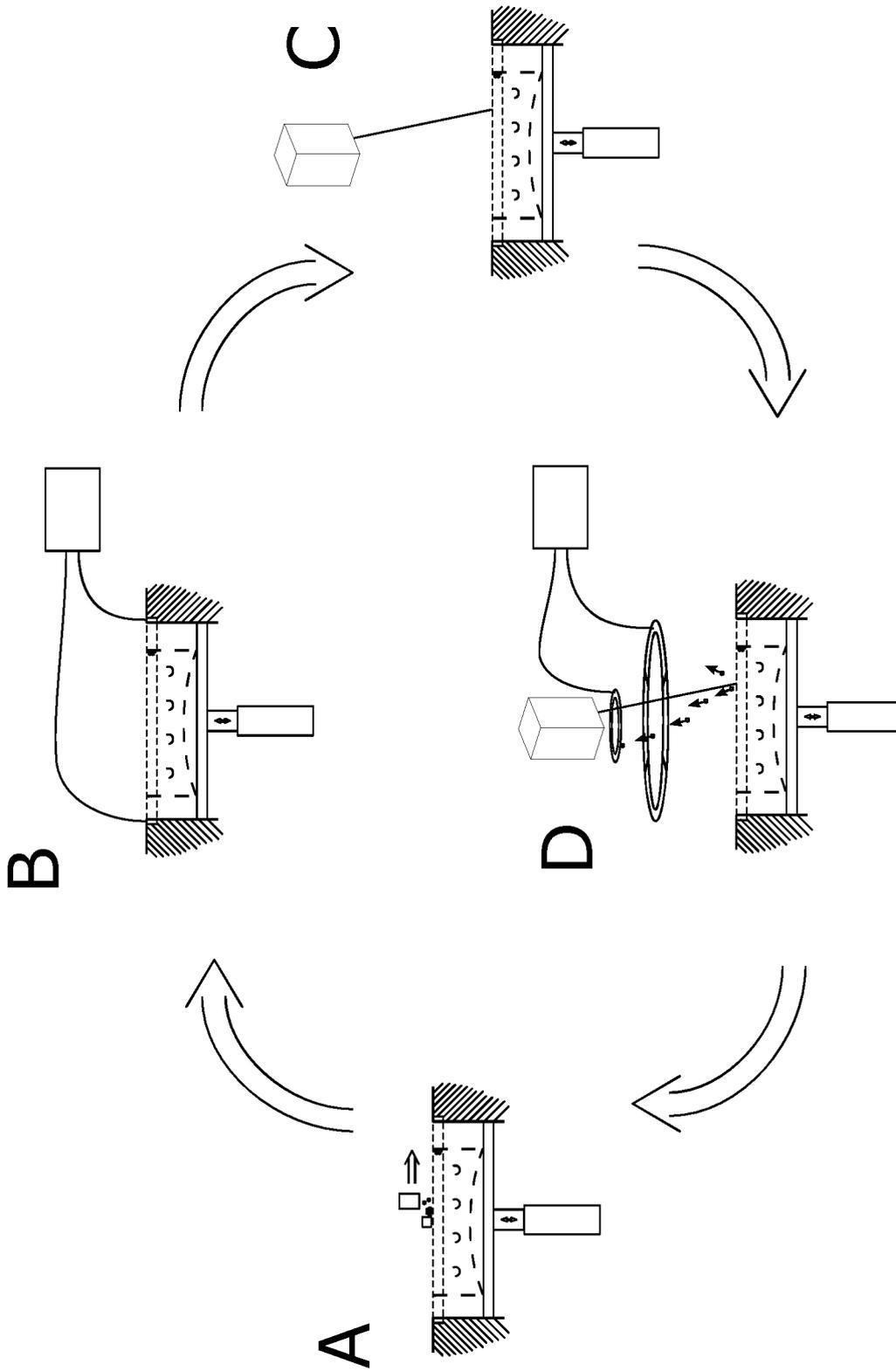


Fig. 3