



(10) **DE 10 2013 021 944 A1** 2015.06.25

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 021 944.2**

(22) Anmeldetag: **20.12.2013**

(43) Offenlegungstag: **25.06.2015**

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

B29C 67/00 (2006.01)

B29C 67/04 (2006.01)

(71) Anmelder:
Paetz, Dominique, 27283 Verden, DE

(72) Erfinder:
gleich Anmelder

(74) Vertreter:
**Dr. Jesgarzewski & Kollegen Rechtsanwälte,
27711 Osterholz-Scharmbeck, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	8 488 994	B2
US	6 066 285	A
WO	2004/ 037 469	A1

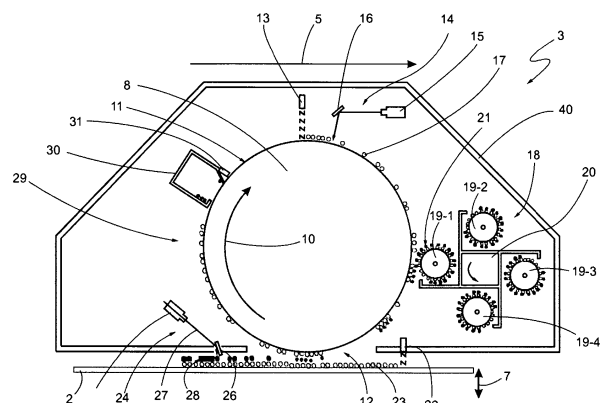
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Generative Fertigungseinrichtung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine generative Fertigungseinrichtung 1 zur schichtweisen additiven Fertigung von dreidimensionalen Objekten mit einer Fertigungsunterlage und mindestens einem Fertigungskopf 3 zur ortselektiven Anordnung von Fertigungsmaterial auf der Fertigungsunterlage beziehungsweise den auf der Fertigungsunterlage zuvor gefertigten Materialschichten.

Um eine Fertigungseinrichtung zu schaffen, welche eine schnelle und genaue Schichtweise dreidimensionaler Werkstücke mit der Möglichkeit der Verarbeitung mehrerer Fertigungsstoffe gewährleistet, ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass der Fertigungskopf 3 derart ausgebildet ist, dass das Fertigungsmaterial über einen nach vorgegebenen Fertigungsrastern für die jeweilige Schicht ortselektiv belichteten Fotoleiter aufnehmbar und zum Fertigungsort transportierbar ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine generative Fertigungseinrichtung zur schichtweisen additiven Fertigung von dreidimensionalen Objekten gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Generative Fertigung ist eine umfassende Bezeichnung für die Fertigung von dreidimensionalen Objekten wie Modellen, Muster, Prototypen oder Werkzeugen. Die Fertigung erfolgt direkt auf der Basis vorgegebener Datenmodelle. Die Computerdarstellung des zu fertigenden Objekts kann beispielsweise unter Zuhilfenahme eines Computers mittels CAD-Software generiert werden. Der Computer analysiert dabei die Darstellung und erzeugt einen Höhenschichtplan des zu fertigenden Objekts, bei dem für jede Schicht ein Fertigungsraster erzeugt werden kann, aus dem ersichtlich ist, an welchen Zellen des Rasters ortselektiv Fertigungsmaterial abgelegt und verfestigt werden soll. Auf diese Weise baut die generative Fertigungseinrichtung das dreidimensionale Werkstück schichtweise auf. Derartige Fertigungsverfahren sind auch unter dem Überbegriff „Rapid Prototyping“ bekannt. Rapid-Prototyping-Fertigungsverfahren setzen vorhandene Konstruktionsinformationen möglichst ohne Umwege oder Formen direkt und schnell in Werkstücke um. Anstelle von Prototypen können selbstverständlich auch andere Objekte, wie Werkzeuge oder auch Fertigteile hergestellt werden, wobei die generative Fertigung von Werkzeugen als „Rapid-Tooling“ und die generative Fertigung von Werkzeugen als „Rapid-Manufacturing“ bezeichnet werden. Gemeinsam ist jedoch sämtlichen Verfahren die Fertigung von dreidimensionalen Objekten nach Vorgabe vorhandener Konstruktionsinformationen, beispielsweise CAD-Daten.

[0003] Es sind verschiedene generative Fertigungsverfahren bekannt, mit denen bei unterschiedlichen Herstellungsgeschwindigkeiten unterschiedliche Werkstoffe verarbeitet werden können.

[0004] Grundsätzlich weisen die Fertigungseinrichtungen zur generativen Fertigung von dreidimensionalen Objekten mindestens einen Fertigungskopf zur Anordnung von Fertigungsmaterial auf einer Fertigungsunterlage beziehungsweise auf der Fertigungsunterlage zuvor gefertigte Materialschichten auf. Die Fertigungsunterlage, auf welcher das dreidimensionale Objekt schichtweise aufgebaut wird, und der wenigstens eine Fertigungskopf sind sowohl entsprechend einer Arbeitsrichtung in der Ebene einer Schicht als auch in der Vorschubrichtung bezogen auf die Dicke der Schichten gegeneinander verschieblich angeordnet. Beispielsweise kann der Fertigungskopf über eine Fertigungsunterlage bahnförmig bewegt werden, welche in der Ebene der Schicht unbeweglich ist, um bei jedem Überfahren des Fertigungsorts Material abzulegen.

[0005] Die generative Fertigungseinrichtung umfasst ferner eine Fixiereinheit zur Befestigung des abgelegten beziehungsweise angeordneten Fertigungsmaterials an den bereits abgelegten Materialschichten.

[0006] Selektives Lasersintern ist ein Verfahren zur Herstellung dreidimensionaler Objekte durch Sintern aus einem pulverförmigen Fertigungsmaterial. Das Fertigungsmaterial wird dabei in einem dünnen Pulverbett auf die Fertigungsunterlage beziehungsweise die darunter bereits abgelegten Materialschichten aufgebracht. Eine Fixiereinheit, welche üblicherweise ein Laser ist, wärmt das Fertigungsmaterial ortselektiv auf, entsprechend den vorgegebenen Fertigungsinformationen, so dass an den bestimmten Orten das Fertigungsmaterial gesintert wird und in einen festen Zustand überführt wird. Das Fertigungsmaterial ist dabei ein Pulver, welches mit einem oder mehreren Sinterbestandteilen gemischt wird, so dass nach dem Aufschmelzen durch die Fixiereinheit und Abkühlen der Schmelze ein festes Material entsteht. Eine generative Fertigungseinrichtung zum Lasersintern kann daher keine reinen Materialien verarbeiten, da grundsätzlich ein Sintergemisch verfestigt wird. Darüber hinaus ist der Arbeitsvorgang vergleichsweise langsam, da nach dem Aufschmelzen und Sintern ein Abkühlen der soeben bearbeiteten Materialschicht abgewartet werden muss, bevor das Pulverbett für die nächste Materialschicht aufgebracht werden kann.

[0007] Sollen Werkstücke aus einem reinen Werkstoff, das heißt ohne Bindemittel, hergestellt werden, so wird das Fertigungsmaterialpulver, beispielsweise ein Metallpulver, vollständig auf geschmolzen. Derartige Fertigungseinrichtungen mit entsprechend starken Lasern werden dem selektiven Laserschmelzen zugeordnet.

[0008] Alternativ zu dem generativen Fertigungsverfahren, welche im Kern mit ortselektivem Aufschmelzen von pulverförmigen Material in einem Pulverbett arbeiten, ist ein generatives Fertigungsverfahren ähnlich dem Funktionsprinzip eines Tintenstrahldruckers unter der Bezeichnung „Multi-jet-Modeling“ oder auch „Poly-jet-Modeling“ bekannt. Dabei weist ein Druckkopf mehrere linear angeordnete Düsen auf. Die Multi-Jet-Fertigungseinrichtungen verarbeiten schmelzfähige Kunststoffe, insbesondere Hartwachse, oder wachsförmige Thermoplaste, und können sehr feine Tröpfchen erzeugen. Sie erreichen dadurch hohe Oberflächengüten. Der Fertigungskopf der Poly-Jet-Fertigungseinrichtung muss jedoch motorgetrieben lange Strecken zurücklegen und arbeitet nur zeitweise am Werkstück, so dass die erreichbaren Fertigungsgeschwindigkeiten zwar für die Herstellung von Prototypen beziehungsweise Modellen („Rapid-Prototyping“) ausreichen mögen, nicht je-

doch für industrielle Anwendungen mit Serien- oder Massenfertigung.

[0009] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine generative Fertigungseinrichtung der gattungsgemäßen Art zu schaffen, welche eine schnelle und genaue schichtweise Fertigung dreidimensionaler Werkstücke mit der Möglichkeit der Verarbeitung mehrerer Fertigungswerkstoffe gewährleistet.

[0010] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine generative Fertigungseinrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0011] Erfindungsgemäß ist eine derartige Ausbildung des wenigstens einen Fertigungskopfs vorgesehen, dass das Fertigungsmaterial nach dem Prinzip der Elektrofotografie ortselektiv aufnehmbar und zur Fertigungsunterlage transportierbar ist. Das Arbeitsprinzip der Elektrofotografie ist beispielsweise aus der Anwendung bei zweidimensionalen Laserdruckern bekannt. Die Erfindung hat dabei erkannt, dass durch das Arbeitsprinzip der Elektrofotografie eine erheblich höhere Fertigungsgeschwindigkeit bei größtmöglicher Genauigkeit erreicht werden kann. Im Vergleich zum selektiven Laserschmelzen ist eine wesentlich höhere Fertigungsgeschwindigkeit gegeben, da der Fertigungswerkstoff nicht Schicht für Schicht erwärmt werden muss. Ferner ist der Verlust von Fertigungsmaterial insbesondere bei verschiedenen Fertigungswerkstoffen erheblich reduziert, da keine Verunreinigungen entstehen.

[0012] Der Fertigungskopf der erfindungsgemäßen Fertigungseinrichtung weist eine elektrofotografische Bildtrommel auf, welche an ihrem Mantel einen Fotoleiter trägt und im Bereich einer Materialübergabe des Fertigungskopfs gegenüber der Fertigungsunterlage frei liegt. Die Bildtrommel ist dabei ein drehbar gelagertes Bauteil, welches sich in seiner Achsrichtung quer zur Arbeitsrichtung des Fertigungskopfs erstreckt. Im Betrieb der Fertigungseinrichtung wird die Bildtrommel in einer Arbeitsdrehrichtung bewegt und über der Fertigungsunterlage abgewälzt. Dabei werden ortselektiv kleine Materialmengen zum Fertigungsort transportiert und dort abgelegt, welche zuvor nach dem Prinzip der Elektrofotografie an dem Fotoleiter der Bildtrommel platziert werden. Die Fertigungsunterlage 2 ist eine im Wesentlichen horizontale Einrichtung der Fertigungseinrichtung, auf der das dreidimensionale Objekt durch Ablage und Verfestigung von Fertigungsmaterial schichtweise aufgebaut wird. Vorteilhaft bildet der Arbeitstisch der Fertigungseinrichtung die Fertigungsunterlage. In einer für Serien- oder Massenfertigung konfigurierten Ausführungsform der erfindungsgemäßen generativen Fertigungseinrichtung bildet ein Gurtförderer die Fertigungsunterlage, auf der stetig weitere Fertigungsorte zum schichtweisen additiven Aufbau dreidimensio-

naler Objekte in den Arbeitsbereich der Fertigungsköpfe bewegbar ist.

[0013] Die Fertigungseinrichtung weist außerdem eine elektrische Konditioniereinrichtung zur elektrostatischen Aufladung des Fotoleiters der Bildtrommel und wenigstens eine Belichtungseinheit auf. Die Belichtungseinheit umfasst dabei Mittel zur ortselektiven Belichtung des Fotoleiters der Bildtrommel entsprechend den vorgegebenen Fertigungsinformationen für das dreidimensionale Objekt bzw. Produkt. Die Belichtungseinheit ist dabei in Arbeitsdrehrichtung der Bildtrommel der elektrischen Konditioniereinrichtung nachgeordnet. Im Betrieb der Fertigungseinrichtung lädt die Konditioniereinrichtung den ihr zugewandten Abschnitt der Bildtrommel elektrostatisch auf. Hierzu umfasst die Konditioniereinrichtung vorteilhaft Koronadrähte, das heißt dünne, nahe der Bildtrommel angebrachte Drähte, welche unter hoher Spannung gesetzt werden und eine Koronaentladung erzeugen. In einer alternativen Ausführungsform der Erfindung umfasst die Konditioniereinrichtung eine Reihe von Punktladedioden, welche parallel zur Achsrichtung der Bildtrommel angeordnet sind und die jeweils zugewandt liegende Mantellinie des Fotoleiters elektrostatisch aufladen. Die Punktladedioden sind solche Dioden, deren Emission für eine lokale Ionisierung bzw. elektrostatische Aufladung ausreicht. Mehrere nebeneinander in einer Reihe angeordnete Punktladedioden wirken somit gemeinsam auf eine Mantellinie des Fotoleiters ein. Wird die Bildtrommel weiter gedreht, wird die jeweils nachfolgende Mantellinie elektrostatisch aufgeladen.

[0014] Nach der Konditionierung des Fotoleiters belichtet die Belichtungseinheit den Fotoleiter entsprechend den vorgegebenen Fertigungsinformationen. Dabei kann in einer vorteilhaften Ausführungsform die Belichtung an den Stellen gelöscht werden, an denen später Fertigungsmaterial auf die Bildtrommel aufgetragen werden soll. An den belichteten Stellen wird der Fotoleiter leitend und verliert dadurch seine Ladung. In einer alternativen Ausführungsform belichtet die Belichtungseinheit ein negatives Druckbild, wobei ortselektiv diejenigen Stellen belichtet werden, welche später kein Fertigungsmaterial aufnehmen sollen.

[0015] Der Fertigungskopf weist außerdem einen der Belichtungseinheit in Arbeitsdrehrichtung der Bildtrommel nachfolgend angeordnete Entwicklereinheit auf, welche wenigstens eine elektrostatisch aufladbare Transferwalze zur Bereitstellung von Fertigungsmaterial auffasst. Die wenigstens eine Transferwalze ist parallel zur Bildtrommel angeordnet. Jede Transferwalze führt über elektrostatische Kräfte gehaltene Fertigungsmaterialmengen an ihrem Mantel einer Oppositionslage zu, an welcher der Mantel der Bildtrommel und der Mantel der Transferwalze im kürzesten Abstand zueinander benachbart liegen.

In dieser Oppositionslage wird an denjenigen Stellen der Bildtrommel, welche zuvor von der Belichtungseinheit nicht belichtet wurden, Fertigungsmaterial von der Transferwalze an die Bildtrommel übergeben. In einer Ausführungsform der Erfindung erzeugt die Belichtungseinheit ein positives Druckbild auf dem Fotoleiter, wobei das Fertigungsmaterial an der Transferwalze negativ ionisiert wird. In einer Ausführungsform mit negativer Druckbilderzeugung wird das Fertigungsmaterial positiv ionisiert.

[0016] Schließlich umfasst der erfindungsgemäße Fertigungskopf eine in Arbeitsdrehrichtung der Bildtrommel vor der Materialübergabe zur Fertigungsunterlage angeordnete und in Richtung der Fertigungsunterlage wirkende elektrische Unterlagenkonditionierung. Die Unterlagenkonditionierung umfasst dabei in einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung Koronadrähte. In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung umfasst die Unterlagenkonditionierung eine Reihe von Punktladedioden, welche quer zur Arbeitsrichtung des Fertigungskopfs angeordnet sind und beim Überfahren des Bauorts beziehungsweise der am Fertigungsort bereits auf der Fertigungsunterlage abgelegte Materialschichten aktiviert werden. Die elektrische Ladung, welche die Unterlagenkonditionierung erzeugt, ist betragsmäßig größer als die Ladung des Fotoleiters auf der Bildtrommel, so dass in der Oppositionslage der Bildtrommel an der Materialübergabe die auf der Bildtrommel mitgeführten Materialmengen von der Bildtrommel gelöst werden und am vorgesehenen Fertigungsort auf die Fertigungsunterlage beziehungsweise die darauf bereits abgelegten Materialschichten übergeben wird.

[0017] In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung sind die der Bildtrommel zugeordnete Konditioniereinheit und/oder die Unterlagenkonditionierung entweder zur Erzeugung einer negativen elektrostatischen Aufladung oder zur Erzeugung einer positiven elektrostatischen Aufladung ausgebildet. Dadurch ist die Anzahl der über das Prinzip der elektrofotografischen Beförderung und Fixierung in der jeweiligen Schicht verarbeitbaren Fertigungsstoffe deutlich erweitert. Die Konditioniereinheit und/oder die Unterlagenkonditionierung sind dabei für eine Polung der elektrostatischen Aufladung eingestellt, welche dem gewählten Fertigungswerkstoff am Besten entspricht. Vorteilhaft sind Konditioniereinheit und/oder die Unterlagenkonditionierung zwischen einer Einstellung zur Erzeugung einer negativen elektrostatischen Aufladung und einer Einstellung zur Erzeugung einer positiven elektrostatischen Aufladung umschaltbar ausgebildet.

[0018] In der bereits erwähnten Ausführungsform der Erfindung mit Erzeugung eines positiven Druckbilds auf dem Fotoleiter und negativer Ionisierung des Fertigungsmaterials an der Transferwalze ist die Un-

terlagenkonditionierung derart ausgebildet und eingestellt, dass eine positive Ladung erzeugbar ist.

[0019] In der Ausführungsform der Erfindung mit Erzeugung eines negativen Druckbilds auf dem Fotoleiter und negativer Ionisierung des Fertigungsmaterials an der Transferwalze ist die Unterlagenkonditionierung derart ausgebildet und eingestellt, dass eine negative Ladung erzeugbar ist. In beiden Ausführungsformen sind die Unterlagenkonditionierungen derart konfiguriert, dass ein Betrag der durch die Unterlagenkonditionierung erzeugbaren elektrischen Ladung größer ist als ein Betrag der von der Konditioniereinheit erzeugbaren Ladung des Fotoleiters am Umfang der Bildtrommel, so dass die ortselektive Übergabe des Fertigungsmaterials von der Bildtrommel zur Fertigungsunterlage oder den auf der Fertigungsunterlage bereits abgelegten Materialschichten des Werkstücks gewährleistet ist.

[0020] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfasst die Belichtungseinheit als Mittel zur ortselektiven Belichtung des Fotoleiters der Bildtrommel einen Laser, insbesondere einen gepulsten Laser wie beispielsweise einen CO₂-Laser, und eine dem Laser zugeordnete Umlenkeinrichtung. Die optische Umlenkeinrichtung ist dabei vorzugsweise ein rotierender Spiegel, insbesondere ein hexagonaler Spiegel, welcher nach Art eines Laserscanners den Laserstrahl des Lasers zeilenweise auf die Bildtrommel lenkt. Der Laser wird gemäß den vorgegebenen Fertigungsrastern für die jeweilige Schicht ein und ausgeschaltet. Aufgrund der Belichtung des Fotoleiters mittels eines Lasers können sehr hohe Fertigungsgeschwindigkeiten erreicht werden, so dass die erfindungsgemäße Fertigungseinrichtung nicht nur zur Herstellung von Prototypen, sondern vielmehr auch für industrielle Serien oder Massenfertigungen geeignet ist.

[0021] In einer alternativen Ausführungsform weist die Belichtungseinheit als Mittel zur ortselektiven Belichtung des Fotoleiters der Bildtrommel in Achsrichtung der Bildtrommel aneinander gereihete Lichtquellen auf. Die einzelnen Lichtquellen sind dabei selektiv ansteuerbar, gemäß den vorgegebenen Fertigungsrastern, so dass auf dem Fotoleiter das gewünschte Druckbild vor der Bestückung des Fotoleiters über die Entwicklereinheit erzeugbar ist. Die selektiv ansteuerbaren Lichtquellen sind dabei vorzugsweise Leuchtdioden.

[0022] Um eine Ionisierung des Baumaterials an der Transferwalze zu gewährleisten, ist der Transferwalze eine Ladeeinheit zugeordnet. Die Ladeeinheit erzeugt dabei elektrostatische Kräfte am Mantel der Transferwalze, welche Fertigungsmaterial während des Transports zur Bildtrommel festhalten.

[0023] Vorteilhaft ist in einem zwischen der Materialübergabe der Bildtrommel und der Konditioniereinheit liegenden Rücklaufabschnitt der Bildtrommel eine Reinigungseinheit angeordnet. Die Reinigungseinheit ist vorteilhaft ein Materialabstreifer, welcher mit einem möglichst kleinen Spalt am Mantel der Bildtrommel angeordnet ist, so dass gegebenenfalls verbleibende Materialreste vom Umfang der rotierenden Bildtrommel abgenommen werden. Nach der Übergabe des Fertigungsmaterials von der Bildtrommel auf die Fertigungsunterlage beziehungsweise die darauf bereits gefertigten Materialschichten verbleiben gegebenenfalls noch Materialreste am Mantel der Bildtrommel, welche während des Rücklaufs zur Konditioniereinheit, wo die Bildtrommel für die nächsten Arbeitszyklus konditioniert wird, gereinigt wird.

[0024] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfasst die Entwicklereinheit mehrere Transferwalzen für jeweils unterschiedliche Fertigungsmaterialien, welche an einem drehbaren Transferkarussell derart gehalten sind, dass jeweils eine Transferwalze in eine aktive Stellung benachbart der Bildtrommel bewegbar ist. Das Transferkarussell ist hierzu mittels eines Antriebs nach Art eines Revolvers in Schritten verstellbar. Auf diese Weise können Objekte mit unterschiedlichen Materialien gefertigt werden, wobei auch innerhalb einer Schicht, nämlich durch kurzzeitiges Verdrehen des Transferkarussells unterschiedliche Materialien eingebaut werden können. Dabei ist auch die Bildung von Legierungen möglich.

[0025] Vorteilhaft weist der Fertigungskopf für eine erste Arbeitsrichtung eine erste Ausstattung mit jeweils mindestens einer Konditioniereinheit, Belichtungseinheit, Entwicklereinheit, Unterlagenkonditionierung und Fixiereinheit auf und für eine der ersten Arbeitseinrichtung entgegengesetzte zweite Arbeitsrichtung eine zweite Ausstattung auf. Die zweite Ausstattung umfasst entsprechend jeweils mindestens eine Konditioniereinheit, eine Belichtungseinheit, eine Entwicklungseinheit, eine Unterlagenkonditionierung und eine Fixiereinheit, welche im Wesentlichen symmetrisch zur ersten Ausstattung angeordnet ist. Auf diese Weise ist die Arbeitsgeschwindigkeit verdoppelt, in dem nach Abschluss eines Bearbeitungszyklus die Arbeitsbewegung des Fertigungskopfs in der Ebene der Schichten geändert wird und die Drehrichtung der Bildtrommel ebenfalls gewechselt wird. Die erste Ausstattung und die zweite Ausstattung sind alternativ aktivierbar, wobei die jeweiligen Arbeitsdrehrichtungen der Bildtrommel entgegengesetzt sind.

[0026] Eine rasche und genaue Befestigung des Fertigungsmaterials auf der Fertigungsunterlage beziehungsweise bereits abgelegten Materialschichten ist gegeben, wenn die Fixiereinheit des Fertigungskopfs einen Laser und eine dem Laser zugeordnete

te, optische Umlenkeinrichtung umfasst. Die Umlenkeinrichtung ist vorzugsweise ein rotierender Spiegel, insbesondere ein hexagonaler Spiegel, welcher nach Art eines Laserscanners den Laserstrahl des Lasers auf die zu fixierenden Stellen umlenkt. Dabei erwärmt der Laserstrahl die ortselektiv angesteuerten Stellen und schmilzt das dort befindliche Fertigungsmaterial, welches anschließend abkühlt und Teil des zu fertigenden Werkstücks wird. Dabei können materialreine Objekte gefertigt werden, wenn sortenreines Fertigungsmaterial, beispielsweise ein Metallpulver, abgelegt und durch den Laserstrahl geschmolzen wird.

[0027] Ist der Bildtrommel eine Heizeinrichtung zugeordnet, so wird der Fertigungswerkstoff vor der Übergabe an die Fertigungsunterlage erwärmt und somit der Energieaufwand für den Schmelzvorgang im Rahmen der Fixierung reduziert. Vorteilhaft ist die Bildtrommel von der Heizeinrichtung auf einem im Wesentlichen konstanten Temperaturniveau gehalten, wobei das Temperaturniveau vorteilhaft einstellbar ist.

[0028] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung umfasst die Fertigungseinrichtung wenigstens einen Fertigungskopf als Hauptfertigungskopf für das Fertigungsmaterial und einen weiteren Fertigungskopf als Stützfertigungskopf für Stützmaterial, welcher koordiniert mit dem Hauptfertigungskopf ansteuerbar ist. Der Stützfertigungskopf ordnet dabei Stützmaterial innerhalb der jeweils zu erzeugenden Materialschichten ab, welches zur Stützung der jeweils nachfolgenden Materialschicht vorgesehen ist. Das Stützmaterial ermöglicht die Ausbildung von Hinterschnitten und dergleichen. Das Stützmaterial wird nach der Fertigung des dreidimensionalen Objekts entfernt, beispielsweise durch eine Wasserspülung.

[0029] Vorteilhaft entspricht der Stützfertigungskopf bezüglich der Anordnung von Bildtrommel, Konditioniereinheit, Belichtungseinheit, Entwicklereinheit und Unterlagenkonditionierung dem Hauptfertigungskopf. Der Stützfertigungskopf arbeitet mit einer ähnlichen Arbeitsgeschwindigkeit wie der Hauptfertigungskopf, so dass insgesamt eine hohe Arbeitsgeschwindigkeit gegeben ist. Die Fixiereinheit des Stützfertigungskopfs ist dabei vorteilhaft eine Wärmequelle, beispielsweise eine Ultraviolettlampe.

[0030] In einer Ausführungsform der Erfindung ist die Fixiereinheit des Hauptfertigungskopfs anstelle einer schmelzenden Einrichtung, beispielsweise eines Lasers, mit einer Wärmequelle, beispielsweise einer oder mehreren Ultraviolettlampen versehen. Dadurch sind bestimmte Fertigungswerkstoffe, welche bspw. flüssig aufgebracht werden oder zur Verfestigung polymerisiert werden, fixierbar.

[0031] Weitere Merkmale ergeben sich aus den Unteransprüchen. Die Erfindung ist nachstehend anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

[0032] Fig. 1 eine perspektivische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels einer generativen Fertigungseinrichtung,

[0033] Fig. 2 eine perspektivische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels einer generativen Fertigungseinrichtung,

[0034] Fig. 3 einen Querschnitt eines Ausführungsbeispiels eines Hauptfertigungskopfs für eine generative Fertigungseinrichtung gemäß Fig. 1 oder Fig. 2,

[0035] Fig. 4 einen Querschnitt eines Ausführungsbeispiels eines Stützfertigungskopfs für eine generative Fertigungseinrichtung gemäß Fig. 1 oder Fig. 2,

[0036] Fig. 5 einen Querschnitt eines weiteren Ausführungsbeispiels eines Hauptfertigungskopfs für eine generative Fertigungseinrichtung gemäß Fig. 1 oder Fig. 2,

[0037] Fig. 6 einen Querschnitt eines weiteren Ausführungsbeispiels eines Stützfertigungskopfs für eine generative Fertigungseinrichtung gemäß Fig. 1 oder Fig. 2.

[0038] Fig. 1 zeigt eine vereinfachte Darstellung einer generativen Fertigungseinrichtung 1 zur schichtweisen additiven Fertigung von dreidimensionalen Objekten. Unter einer additiven Fertigung wird dabei verstanden, dass Fertigungsmaterial auf einer Fertigungsunterlage 2 der Fertigungseinrichtung 1 angehäuft wird. Die Fertigungsunterlage 2 ist der im Wesentlichen horizontale Arbeitstisch der Fertigungseinrichtung, auf dem das dreidimensionale Objekt durch Ablage und Verfestigung von Fertigungsmaterial schichtweise aufgebaut wird.

[0039] Die Fertigungseinrichtung 1 umfasst mindestens einen Fertigungskopf 3, 4 zur ortselektiven Anordnung von Fertigungsmaterial auf der Fertigungsunterlage 2. Im gezeigten Ausführungsbeispiel umfasst die Fertigungseinrichtung einen Hauptfertigungskopf 3 zur ortselektiven Anordnung von Fertigungsmaterial und einen Stützfertigungskopf 4, zur Anordnung von Stützmaterial, welches während der Fertigung zur Stützung der nachfolgend aufzutragenden Materialschichten angebracht wird und nach der Beendigung der Fertigung des Werkstücks entfernt wird. Das Stützmaterial erlaubt dabei die einfache und genaue Fertigung von Hinterschnitten.

[0040] Die Fertigungsköpfe 3, 4 sind entsprechend einer Arbeitsrichtung 5 in der Ebene einer Schicht beziehungsweise einer Ebene der Fertigungsunterlage 2 bewegbar angeordnet. Die Fertigungsköpfe

3, 4 werden im Betrieb der Fertigungseinrichtung 1 über der Fertigungsunterlage 2 hin und her bewegt, wobei Material innerhalb eines Arbeitsbereichs 6 auf der Fertigungsunterlage beziehungsweise den darauf bereits abgelegten Materialschichten angeordnet werden kann. Der Hauptfertigungskopf 3 und der Stützfertigungskopf 4 werden dabei koordiniert über die Fertigungsunterlage 2 gefahren, was in der Darstellung durch die Verbindung durch einen starren Rahmen 9 symbolisiert ist. Die Fertigungsköpfe 3, 4 können in der Fertigungseinrichtung in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht sein.

[0041] Die Fertigungsköpfe 3, 4 und die Fertigungsunterlage sind einerseits in der Arbeitsrichtung 5 relativ zueinander verschieblich angeordnet. Andererseits sind die Fertigungsunterlage 2 und die Fertigungsköpfe 3, 4 in einer Vorschubrichtung 7 bezogen auf die Dicke der Schichten gegeneinander verschieblich angeordnet. Auf diese Weise wird nach jedem Arbeitszyklus, das heißt dem Auftragen einer Materialschicht, der Abstand zwischen den Fertigungsköpfen 3, 4 und der Fertigungsunterlage 2 um den Betrag einer Schichtdicke vergrößert. Vor jedem Arbeitsgang der Fertigungsköpfe 3, 4 ist somit der Abstand zwischen den Fertigungsköpfen 3, 4 und der jeweils oben liegenden Materialschicht des noch unvollendeten dreidimensionalen Werkstücks auf der Fertigungsunterlage 2 stets gleich.

[0042] Im gezeigten Ausführungsbeispiel wird die Arbeitsbewegung in Arbeitsrichtung 5 durch eine Bewegung der Fertigungsköpfe 3, 4 über der Fertigungsunterlage 2 realisiert. Die Fertigungsunterlage 2 ist in Vorschubrichtung 7 einstellbar und bewegbar. In weiteren, nicht gezeigten Ausführungsbeispielen wird die Relativbewegung zwischen den Fertigungsköpfen 3, 4 und der Fertigungsunterlage 2 in Vorschubrichtung 7 durch die Fertigungsköpfe 3, 4 ausgeführt. In einem weiteren, nicht gezeigten, Ausführungsbeispiel ist die Fertigungsunterlage 2 in Arbeitsrichtung 5 bewegbar, während die Fertigungsköpfe 3, 4 fest angeordnet sind.

[0043] Die Fertigungsköpfe 3, 4 sind dazu ausgebildet, Fertigungsmaterial ortselektiv auf der Fertigungsunterlage beziehungsweise den darauf bereits abgelegten Materialschichten anzuordnen. Unter der ortselektiven Anordnung wird dabei verstanden, dass für jede Materialschicht des zu fertigenden Objekts ein Fertigungsraaster vorgegeben wird, in welchem die zur Ablage von Fertigungsmaterial vorgesehenen Stellen beziehungsweise im Fall des Stützfertigungskopfs die zur Ablage von Stützmaterial vorgesehenen Stellen bezeichnet sind, und das Material an den derart vorbestimmten Stellen angeordnet wird. Die Fertigungsraaster werden von einer nicht dargestellten Steuereinheit auf der Grundlage von vorgegebenen Konstruktionsdaten, beispielsweise aus einer CAD-Software, ermittelt und die Fertigungsköpfe 3, 4 von

einer nicht dargestellten Steuereinheit entsprechend angesteuert.

[0044] Jeder Fertigungskopf **3**, **4** weist wenigstens eine nachstehend noch näher erläuterte Bildtrommel **8** auf, welche an ihrem Umfang entsprechend den vorgegebenen Fertigungsrastern mit Fertigungsbeziehungsweise Stützmaterial bestückbar sind und während der Arbeitsbewegung über der Fertigungsunterlage **2** abgewälzt werden. Jeweils diejenige Mantellinie der Bildtrommeln **8**, welche in Opposition zur Fertigungsunterlage **2** liegen, geben Fertigungsbeziehungsweise Stützmaterial an die Fertigungsunterlage **2** beziehungsweise die darauf bereits abgelegten Materialschichten ab.

[0045] Die Erfindung ist nicht auf Fertigungseinrichtungen mit Hauptfertigungsköpfen **3** und Stützfertigungsköpfen **4** beschränkt. In weiteren Ausführungsbeispielen sind ein einzelner Hauptfertigungskopf oder mehrere Hauptfertigungsköpfe angeordnet, so dass verschiedene Fertigungsmaterialien eingesetzt werden können.

[0046] Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Fertigungseinrichtung **1'** ist in **Fig. 2** gezeigt. Die Fertigungseinrichtung **1'** entspricht in ihrem Aufbau bis auf die nachfolgend erläuterten Unterschiede dem Aufbau der Fertigungseinrichtung **1** gemäß **Fig. 1**. Für gleiche Bauteile sind dabei die gleichen Bezugszeichen verwendet.

[0047] Die Fertigungseinrichtung **1'** gemäß **Fig. 2** weist einen Hauptfertigungskopf **3** und zwei Stützfertigungsköpfe **4**, **4'** auf, welche beiderseits des Hauptfertigungskopfs **3** an dem Rahmen **9** befestigt sind. Die Arbeitsbewegung des Hauptfertigungskopfs **3** ist somit über dem Rahmen **9** mit der Arbeitsbewegung der Stützfertigungsköpfe **4**, **4'** gekoppelt, so dass sämtliche Fertigungsköpfe **3**, **4**, **4'** synchron den Arbeitsbereich **6** bestreichen. Die Fertigungsköpfe sind dazu ausgebildet, in beiden Arbeitsrichtungen **5**, das heißt in entgegen gesetzten Richtungen der Arbeitsbewegung Material auftragen zu können, wie nachfolgend anhand von **Fig. 4** und **Fig. 6** beschrieben ist. Dadurch wird in jeder Arbeitsbewegung Fertigungs- und Stützmaterial auf der Fertigungsunterlage beziehungsweise den darauf bereits abgelegten Materialschichten abgelegt, so dass eine Verdoppelung der Fertigungsgeschwindigkeit der Fertigungseinrichtung **1'** gegeben ist. Am Ende einer Arbeitsbewegung wird die Arbeitsrichtung **5** gewechselt und die Fertigungsköpfe **3**, **4**, **4'** in die entgegengesetzte Richtung bewegt.

[0048] **Fig. 3** zeigt einen Querschnitt eines Hauptfertigungskopfs **3**, welcher in einer Arbeitsrichtung **5** arbeitet. Der Hauptfertigungskopf **3** wird dabei in Arbeitsrichtung **5** relativ zur Fertigungsunterlage **2** bewegt. Die Bildtrommel **8** ist in einer Arbeitsdrehrichtung

10 bewegbar, wobei die Drehgeschwindigkeit der Bildtrommel **8** mit der Arbeitsbewegung in Arbeitsrichtung **5** derart synchronisiert ist, dass die Bildtrommel **8** über der Fertigungsunterlage **2** abgewälzt ist.

[0049] Der Hauptfertigungskopf **3** ist derart ausgebildet, dass das Fertigungsmaterial über einen nach den vorgegebenen Fertigungsrastern für die jeweilige Schicht ortselektiv belichteten Fotoleiter **11** aufnehmbar und zum Fertigungsort, das heißt zur Fertigungsunterlage transportierbar ist. Die ortselektive Auftragung von Fertigungsmaterial auf der Fertigungsunterlage **2** beziehungsweise den darauf bereits abgelegten Materialschichten **12** erfolgt nach dem Prinzip der Elektrofotografie. Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Bildtrommel **8** mit einem Fotoleiter **11**, das heißt einem fotoelektrisch wirksamen Material, beschichtet. Die Bildtrommel **8** ist in einem Gehäuse **40** des Fertigungskopfs **3** in Arbeitsdrehrichtung **10** drehbar angeordnet und liegt im Bereich einer Materialübergabe **12** gegenüber der Fertigungsunterlage **2** frei. Die Materialübergabe **12** ist ein freier Durchgang im Gehäuse **40**. Der Hauptfertigungskopf **3** ist mit seinem Gehäuse **40** und damit der Bildtrommel **8** sowie alle anderen Einrichtungen des Fertigungskopfs **3** nach Art eines Schlittens relativ zur Fertigungsunterlage **2** (**Fig. 1**) translatorisch bewegbar.

[0050] Der Hauptfertigungskopf **3** weist außerdem eine elektrische Konditioniereinheit **13** zur elektrostatischen Aufladung des Fotoleiters **11** der Bildtrommel **8** und eine Belichtungseinheit **14** auf. Die Belichtungseinheit **14** umfasst dabei Mittel zur ortselektiven Belichtung des Fotoleiters **11** der Bildtrommel **8**. Die Konditioniereinheit **13**, die auch als Korotron bezeichnet werden kann, erzeugt an dem Fotoleiter **11** eine elektrostatische Ladung in Richtung der Mantellinie, das heißt dem parallel zur Drehachse der Bildtrommel **8** und in Opposition zur Konditioniereinheit **13** liegenden Abschnitt der Bildtrommel **8**. Die Konditioniereinheit **13** kann dabei als Korotron mit so genannten Koronadrähten ausgeführt sein. In weiteren Ausführungsbeispielen ist eine in Achsrichtung der Bildtrommel **8** angeordnete Zeile von Punktladedioden vorgesehen.

[0051] Die Belichtungseinheit **14** ist Arbeitsdrehrichtung **10** der Konditioniereinheit **13** nachgeordnet und weist Mittel zur ortselektiven Belichtung des Fotoleiters **11** der Bildtrommel **8** auf. Darunter ist zu verstehen, dass die Belichtungseinheit nach den vorgegebenen Fertigungsrastern durch optische Einwirkung einzelne Stellen, das heißt ortselektiv, der zugewandt liegenden Mantellinie des Fotoleiters **11** belichtet und dadurch die elektrische Ladung neutralisiert. Im gezeigten Ausführungsbeispiel umfasst die Belichtungseinheit **14** als Mittel zur ortselektiven Belichtung des Fotoleiters **11** der Bildtrommel einen Laser **15** und eine dem Laser **15** zugeordnete optische Um-

lenkeinrichtung. Die Umlenkeinrichtung ist als drehbarer Umlenkspiegel **15** ausgeführt. Der Umlenkspiegel **15** wird von einer nicht dargestellten Antriebseinheit ständig in Umlauf gehalten, wodurch der Laserstrahl **17** des Lasers **15** nach Art eines Laserscanners auf dem Fotoleiter **11** hin und her bewegt wird. Dabei wird der Laser **15** entsprechend den vorgegebenen Fertigungsrastern von der nicht dargestellten Steuereinheit an und aus geschaltet, so dass auf dem Fotoleiter **11** ein Druckbild mit neutralen Stellen und geladenen Stellen erzeugt wird. Die Stellen, welche elektrisch geladen sind, sind in der Darstellung durch einen nicht ausgefüllten Kreis **17** repräsentiert. Der Laser **15** ist vorzugsweise ein gepulster Laser, beispielsweise ein CO₂-Laser.

[0052] Die als Laserscanner ausgeführte Belichtungseinheit **14** ist in der Lage, sehr schnell Druckbilder zeilenweise auf dem Fotoleiter **11** zu erzeugen, wodurch hohe Fertigungsgeschwindigkeiten erreichbar sind.

[0053] In einem nicht dargestellten Ausführungsbeispiel ist anstelle der als Laserscanner ausgeführten Belichtungseinheit **14** eine Belichtungseinheit mit selektiv ansteuerbaren Lichtquellen, insbesondere Laserdioden (LED), als Belichtungseinheit vorgesehen. Die Leuchtdioden sind dabei in Achsrichtung der Bildtrommel **8** aneinandergereiht, wodurch entsprechend der Ansteuerung und Aktivierung der jeweiligen Leuchtdioden einzelne Stellen des Fotoleiters **11** neutralisierbar sind.

[0054] Zur Bestückung der Bildtrommel **8** mit Fertigungsmaterial umfasst der Fertigungskopf eine der Belichtungseinheit **14** in Arbeitsdrehrichtung **10** der Bildtrommel **8** nachfolgend angeordnete Entwicklerseinheit **18**. Die Entwicklerseinheit **18** umfasst wenigstens eine elektrostatisch aufladbare Transferwalze, im vorliegenden Ausführungsbeispiel vier Transferwalzen **19-1**, **19-2**, **19-3**, **19-4**, zur Aufnahme und Bereitstellung von Fertigungsmaterial. Die Transferwalzen **19-1**, **19-2**, **19-3**, **19-4**, sind parallel zur Bildtrommel **8** angeordnet und stellen unterschiedliche Fertigungsmaterialien bereit. Die Transferwalzen **19-1**, **19-2**, **19-3**, **19-4** sind an einem drehbar angeordneten Transferkarussell **20** derart gehalten, dass jeweils eine Transferwalze **19-1** in eine aktive Stellung benachbart der Bildtrommel **8** bewegbar ist.

[0055] Die Transfertrommeln **19-1**, **19-2**, **19-3**, **19-4** sind drehbar angeordnet und nehmen aus einem ihnen jeweils zugeordneten Materialbehälter an ihrem Umfang Fertigungsmaterial auf, welches mit der Drehung der Transferwalze in Opposition zu der Bildtrommel **8** gebracht wird.

[0056] Das Fertigungsmaterial wird an der jeweiligen Transferwalze über elektrostatische Ladungen gehalten. Hierzu ist der Transferwalze **19-1**, **19-2**,

19-3, **19-4** eine entsprechende Ladeeinheit zugeordnet. Die Ladung des Fertigungsmaterials an den Fertigungswalzen ist dabei elektrisch entgegen der Ladung des Fotoleiters **11** gesetzt. An den durch die Kreise **17** entsprechend dem belichteten Druckbild geladenen Stellen wird ortselektiv Fertigungsmaterial von der aktiven Transferwalze **19-1** an die Bildtrommel **8** übergeben.

[0057] Mit der weiteren Bewegung der Bildtrommel **8** in Arbeitsdrehrichtung **10** wird das Fertigungsmaterial entsprechend den ausgefüllten Kreisen **21** in Richtung der Materialübergabe **12** weiterbewegt. Das Fertigungsmaterial wird vorteilhaft granuliert oder pulverförmig bereitgestellt. Insbesondere für die Anordnung von Stützmaterial in der jeweils zu fertigenden Schicht sind auch flüssige Fertigungsmaterialien vorteilhaft. Hierzu werden entsprechende Stützfertigungsmaterialien eingesetzt, welche gemäß dem Prinzip der Elektrofotografie über die elektrostatische Ladung des Fotoleiters **11** ortselektiv übergeben werden können.

[0058] Schließlich umfasst der Fertigungskopf eine in Arbeitsdrehrichtung **10** der Bildtrommel **8** vor der Materialübergabe **12** angeordnete und in Richtung der Fertigungsunterlage **2** wirkende elektrische Unterlagenkonditionierung **22**. Die Unterlagenkonditionierung **22** ist dabei an dem Gehäuse des Fertigungskopfs **3** gehalten. Die Unterlagenkonditionierung **22** kann dabei nach Art eines Korotrons mit Koronadrähten ausgestattet sein, welche die Fertigungsunterlage **2** beziehungsweise die darauf bereits abgelegten Materialschichten ionisieren. In einem weiteren Ausführungsbeispiel umfasst die Unterlagenkonditionierung **22** eine in Achsrichtung der Bildtrommel **8**, das heißt in Querrichtung der Fertigungsunterlage **2**, angeordnete Reihe von Punktladedioden. Die Unterlagenkonditionierung ist derartig dimensioniert, dass die von der Unterlagenkonditionierung erzeugten Ladungen (Kreise **23**) größer sind als die von der Konditioniereinheit **13** erzeugten Ladungen (Kreise **17**). Auf diese Weise ist sichergestellt, dass das Fertigungsmaterial am Umfang der Bildtrommel **8** in der Oppositionslage, das heißt im dichtesten Abstand gegenüber der Fertigungsunterlage **2**, auf die Fertigungsunterlage **2** beziehungsweise die darauf bereits angeordneten Materialschichten abgelegt wird beziehungsweise aufgrund der elektrischen Ladung selbsttätig überspringt.

[0059] Der Fertigungskopf **3** umfasst ferner eine Fixiereinheit **24** zum Aufschmelzen von Fertigungsmaterial. Die Fixiereinheit **24** ist dabei derart ausgebildet, dass das von der Bildtrommel **8** auf der Fertigungsunterlage beziehungsweise den auf der Fertigungsunterlage zuvor gefertigten Materialschichten abgelegte Fertigungsmaterial aufschmelzbar ist. Die Fixiereinheit **24** ist daher in Arbeitsdrehrichtung **10** der Bildtrommel nachgeordnet und im Bereich eines Bodens

des Gehäuses **40** des Fertigungskopfs **3** angeordnet. Die Fixiereinheit **24** ist daher von dem Fertigungskopf **3** nach Art eines Schlittens über das ortselektiv abgelegte Material fahrbar.

[0060] Die Fixiereinheit **24** des Hauptfertigungskopf **3** umfasst einen Laser **25**, nämlich im gezeigten Ausführungsbeispiel einen gepulsten CO₂-Laser, und eine dem Laser **25** zugeordnete optische Umlenkeinrichtung. Die Umlenkeinrichtung ist im gezeigten Ausführungsbeispiel ein drehbar angeordneter Spiegel, welcher den Laserstrahl **27** des Lasers **25** in Richtung der Fertigungsunterlage **2** umlenkt. Der Spiegel **26** ist vorzugsweise ein Hexagonalspiegel. Der Spiegel **26** wird laufend in einer kontinuierlichen Drehbewegung gehalten und bildet mit dem Laser **25** einen Laserscanner, wobei der Laserstrahl **27**, beziehungsweise dessen Laserpulse, in quer zur Arbeitsrichtung **5** liegenden Zeilen umlenkbar ist. Durch entsprechende Ansteuerung, das heißt Ein- und Ausschaltung des Lasers **25**, wird der Laser bei Erreichen solcher Stellen eingeschaltet, wo das zuvor von der Bildtrommel **8** ortselektiv abgelegte Fertigungsmaterial zu schmelzen ist. Nach der Verflüssigung durch die Einwirkung der Fixiereinheit **24** erstarrt das Fertigungsmaterial. Der erstarrte Bereich des Fertigungsmaterials wird in der Darstellung durch das gefüllte Rechteck **28** repräsentiert.

[0061] Jeder Umfangsabschnitt der Bildtrommel **8**, das heißt die parallel zur Drehachse der Bildtrommel **8** liegenden Mantelabschnitte, erreichen nach dem Passieren der Materialübergabe **12** und Durchlaufen eines Rücklaufabschnitts **29** der Bildtrommel **8** wieder die Konditioniereinheit **13**, wo ein neuer Arbeitszyklus des Fertigungskopfs **3** beginnt. Im Bereich des Rücklaufabschnitts **29**, welcher zwischen der Materialübergabe **12** und der Konditioniereinheit **13** liegt, ist ein Materialabstreifer **30** angeordnet. Der Materialabstreifer **30** begrenzt zur Oberfläche der Bildtrommel **8** einen schmalen Spalt und hindert gegebenenfalls an der Oberfläche der Bildtrommel **8** verbleibende Materialreste am weiteren Transport. Die Materialreste werden vielmehr von der Oberfläche mechanisch getrennt und im Materialabstreifer **30** gesammelt. In weiteren Ausführungsbeispielen können andere Reinigungseinheiten vorgesehen sein, wie beispielsweise Bürsten oder dergleichen. Im Rücklaufabschnitt **29** ist schließlich eine Entladeeinheit **31** angeordnet, welche gegebenenfalls an dem Fotoleiter **11** verbleibende Ladungen (Kreise **17**) neutralisiert. Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Entladeeinheit **31** baulich mit dem Materialabstreifer **30** beziehungsweise der Reinigungseinheiten verbunden.

[0062] In Fig. 4 ist ein schematischer Querschnitt eines Stützfertigungskopfs **4** dargestellt, welcher bezüglich der Anordnung von Bildtrommel **8**, Konditioniereinheit **13**, Belichtungseinheit **14**, Entwicklereinheit **18** und Unterlagenkonditionierung **22** dem

Hauptfertigungskopf **3** gemäß Fig. 3 entspricht. Auch ein Materialabstreifer **30** sowie eine Entladeeinheit **31** sind entsprechend dem Materialabstreifer des Hauptfertigungskopfs **3** (Fig. 3) angeordnet. Anstelle eines revolverartig arbeitenden Transferkarussells **20** mit vier Transferwalzen **19-1**, **19-2**, **19-3**, **19-4**, können auch andere Anzahlen von Transferwalzen insbesondere an deren Stützfertigungskopf **4** vorgesehen sein. Insbesondere für Serien- oder Massenfertigung („Rapid-Manufacturing“) ist oft ein einziges Stützmaterial, beispielsweise ein wasserlöslicher Kleber oder ähnliches Bindematerial, ausreichend. In solchen Ausführungsbeispielen des erfindungsgemäßen Stützfertigungskopfs **4** ist anstelle des Transferkarussells **20** eine einzelne Transferwalze vorgesehen. Die Transferwalze wird wie bereits zu Fig. 3 beschrieben mit Stützmaterial bestückt. Das Stützmaterial kann dabei pulverförmig, granulatförmig oder flüssig sein.

[0063] Im Unterschied zum Hauptfertigungskopf **3** umfasst der Stützfertigungskopf **4** eine Fixiereinheit **32**, welche eine Wärmequelle umfasst. Die Wärmequelle ist dabei auf das vorgesehene Stützmaterial abgestimmt, um das von der Bildtrommel **8** aufgetragene Stützmaterial zu verfestigen. Die Wärmequelle umfasst dabei vorzugsweise eine oder mehrere Ultraviolettquellen, welche in einem quer zur Arbeitsrichtung **5** des Stützfertigungskopfs **4** liegenden Arbeitsbereich auf die abgelegte Materialschicht einwirken.

[0064] Fig. 5 zeigt ein besonders vorteilhaftes Ausführungsbeispiel eines Hauptfertigungskopfs **4**, welcher für zwei entgegengesetzte Arbeitsrichtungen **5** ausgebildet ist. Die Fertigungseinrichtung arbeitet durch einen Hauptfertigungskopf gemäß Fig. 5 mit einer doppelten Fertigungsgeschwindigkeit gegenüber einer Ausführung mit dem Fertigungskopf gemäß Fig. 3. Der Fertigungskopf **4** umfasst im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 5 für eine erste Arbeitsrichtung eine erste Ausstattung mit Konditioniereinheit **13**, Belichtungseinheit **14-1**, Entwicklereinheit **18-1**, Unterlagenkonditionierung **22-1** und Fixiereinheit **24-1** und eine zweite Ausstattung für eine der ersten Arbeitsrichtung entgegengesetzte zweite Arbeitsrichtung auf. Die zweite Ausstattung umfasst ebenfalls die Konditioniereinheit **13**, eine Belichtungseinheit **14-2**, eine Entwicklereinheit **18-2**, eine Unterlagenkonditionierung **22-2** und eine Fixiereinheit **24-2**. Die zweite Ausstattung ist im Wesentlichen symmetrisch zur ersten Ausstattung angeordnet und die jeweiligen Einheiten um die Bildtrommel **8** gruppiert. Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist eine gemeinsame Konditioniereinheit **13** vorgesehen, welche zentral angeordnet ist und ständig in Betrieb ist und den Fotoleiter **11** der Bildtrommel **8** konditioniert. Die Konditioniereinheit **13**, die Belichtungseinheiten **14-1**, **14-2**, die Entwicklereinheiten **18-1**, **18-2**, die Unterlagenkonditionierungen **22-1**, **22-2** und die Fixiereinheiten **24-1**, **24-2** beider Ausstattungen für die jewei-

ligen Arbeitsrichtungen **5** sind jeweils baugleich und entsprechend der Beschreibung zu **Fig. 3** angeordnet und ausgebildet.

[0065] Der Hauptfertigungskopf **3** umfasst außerdem für jede Ausstattung eine Reinigungseinheit, nämlich im gezeigten Ausführungsbeispiel einen Materialabstreifer **30-1**, **30-2**. Außerdem umfasst der Hauptfertigungskopf **3** zwei Endladeeinheiten **31-1**, **31-2**, welche analog zu dem Aufbau gemäß **Fig. 3** im Bereich der Materialabstreifer **30-1**, **30-2** angeordnet sind.

[0066] Die Bildtrommel **8** des Hauptfertigungskopfs **3** gemäß **Fig. 5** ist in entgegengesetzten Arbeitsdrehrichtungen **10** betreibbar. Nachdem der Hauptfertigungskopf in einer Arbeitsrichtung **5** das Ende des Arbeitsbereichs **6** (**Fig. 1**, **Fig. 2**) erreicht hat, wird der Hauptfertigungskopf **3** in die entgegengesetzte Arbeitsdrehrichtung gefahren und gleichzeitig die Arbeitsdrehrichtung **10** der Bildtrommel umgekehrt. Die beiden Ausstattungen mit Konditioniereinheiten, Belichtungseinheiten, Entwicklereinheiten, Unterlagenkonditionierungen und Fixiereinheiten sind alternativ aktivierbar. Mit der Umschaltung der Arbeitsrichtung **5** des Fertigungskopfs und der damit einhergehenden Umkehrung der Arbeitsdrehrichtung **10** der Bildtrommel **8** wird die bis dahin aktive Ausstattung ausgeschaltet und die jeweils andere Ausstattung aktiviert.

[0067] **Fig. 6** zeigt einen Stützfertigungskopf **4** welcher ähnlich dem Hauptfertigungskopf **3** gemäß **Fig. 5** für entgegengesetzte Arbeitsrichtungen **5** ausgebildet ist. Der Stützfertigungskopf **4** gemäß **Fig. 6** weist eine erste Ausstattung mit Konditioniereinheit **13**, Belichtungseinheit **14-1**, Entwicklereinheit **18-1**, Unterlagenkonditionierung **22-1** und Fixiereinheit **24-1** auf. Diese erste Ausstattung ist in einer Arbeitsdrehrichtung **10** entsprechend der Beschreibung des Stützfertigungskopfs gemäß **Fig. 4** aktiviert. Der Stützfertigungskopf **4** gemäß **Fig. 6** umfasst eine zweite Ausstattung mit einer Belichtungseinheit **14-2**, Entwicklereinheit **18-2**, Unterlagenkonditionierung **22-2** und einer Fixiereinheit **24-2**, welche alternativ zur ersten Ausstattung aktivierbar ist. Sie wird nach einer Umschaltung der Arbeitsdrehrichtung **10** der Bildtrommel **8** aktiviert. Die nicht dargestellte Steuereinheit der Fertigungseinrichtung steuert entsprechend nach Erreichen eines Endes des Arbeitsbereichs **6** (**Fig. 1**, **Fig. 2**) und einer Umschaltung der Arbeitsrichtung der Fertigungsköpfe die Arbeitsdrehrichtung **10** der Bildtrommel **8** um und aktiviert die jeweils andere Ausstattung.

[0068] Mit der erfindungsgemäßen Fertigungseinrichtung können bei rascher und genauer Fertigung verschiedene Fertigungswerkstoffe kombiniert werden. Darüber hinaus ist eine Einfärbung einzelner Fertigungsmaterialien durch Farbpartikel möglich. Gegenüber herkömmlichen generativen Fertigungs-

verfahren ist mit der erfindungsgemäßen Fertigungseinrichtung eine vergrößerte Baufläche gegeben. Insbesondere werden hohe Fertigungsgeschwindigkeiten erreicht, da der Fertigungswerkstoff nicht schichtweise erwärmt wird und – wie beispielsweise beim selektiven Lasersintern oder Laserschmelzen eine Abkühlung der soeben bearbeiteten Materialschicht abgewartet werden muss. Weiterer Vorteil der erfindungsgemäßen Fertigungseinrichtung ist die Reduzierung von Materialabfall bei verschiedenen Werkstoffen, da mit der erfindungsgemäßen Fertigungseinrichtung binderfreie Werkstoffe verwendet werden und keine Verunreinigungen entstehen.

[0069] Die Fixiereinheit des Hauptfertigungskopfs mit einem Laser erlaubt ein vollständiges Schmelzen der ortselektiv vorgelegten Materialportionen, wodurch auf einfache Weise bei Verwendung mehrerer Fertigungswerkstoffe Legierungen miteinander verbunden werden. Mit entsprechend feinkörnigen oder flüssigen Fertigungsmaterialien können sehr feine Oberflächenstrukturen, gefertigt werden.

[0070] Die Ausbildung der Fertigungseinrichtung mit einem oder mehreren Hauptfertigungsköpfen und einem oder mehreren Stützfertigungsköpfen **4**, das heißt der Einbringung mehrerer Komponenten erlaubt den Einsatz verschiedener Klebstoffe, um verschiedene Funktionen zum Beispiel an hoch belasteten Bauelementen zu realisieren.

Patentansprüche

1. Generative Fertigungseinrichtung zur schichtweisen additiven Fertigung von dreidimensionalen Objekten, mit mindestens einer Fertigungsunterlage (**2**) und mindestens einem Fertigungskopf (**3**, **4**, **4'**) zur ortselektiven Anordnung von granuliertem, pulverförmigem oder flüssigem Fertigungsmaterial auf der Fertigungsunterlage (**2**) beziehungsweise den auf der Fertigungsunterlage (**2**) zuvor gefertigten Materialschichten, welcher mindestens eine Fixiereinheit (**24**, **24-1**, **24-2**) zum Schmelzen von Fertigungsmaterial umfasst, wobei die Fertigungsunterlage (**2**) und der Fertigungskopf (**3**) sowohl entsprechend einer Arbeitsrichtung (**5**) in der Ebene einer Schicht, als auch in einer Vorschubrichtung (**7**) bezogen auf die Dicke der Schichten gegeneinander verschieblich angeordnet sind,

dadurch gekennzeichnet, dass

der Fertigungskopf (**3**, **4**, **4'**) derart ausgebildet ist, dass das Fertigungsmaterial über einen nach vorgegebenen Fertigungsrastern für die jeweilige Schicht ortselektiv belichteten Fotoleiter (**11**) aufnehmbar und zum Fertigungsort transportierbar ist, wobei der Fertigungskopf (**3**, **4**, **4'**) hierfür die folgenden Merkmale aufweist:

– eine elektrofotographische Bildtrommel (**8**), welche an ihrem Mantel eine Fotoleiter (**11**) trägt und im Bereich einer Materialübergabe (**12**) des Fertigungs-

kopfs (3) gegenüber der Fertigungsunterlage (2) frei liegt,

- mindestens eine elektrische Konditioniereinheit (13) zur elektrostatischen Aufladung des Fotoleiters (11) der Bildtrommel (8),
- mindestens eine der Konditioniereinheit (13) in Arbeitsdrehrichtung (10) der Bildtrommel (8) nachfolgend angeordnete Belichtungseinheit (14, 14-1, 14-2), welche Mittel zur ortselektiven Belichtung des Fotoleiters (11) der Bildtrommel (8) umfasst,
- mindestens eine der Belichtungseinheit (14, 14-1, 14-2) in Arbeitsdrehrichtung (10) der Bildtrommel (8) nachfolgend angeordnete Entwicklereinheit (18, 18-1, 18-2) mit wenigstens einer elektrostatisch aufladbaren Transferwalze (19-1, 19-2, 19-3, 19-4) zur Bereitstellung von Fertigungsmaterial, welche parallel zur Bildtrommel (8) angeordnet ist,
- mindestens eine in Arbeitsdrehrichtung (10) der Bildtrommel (8) vor der Materialübergabe (12) angeordnete und in Richtung der Fertigungsunterlage (2) wirkende elektrische Unterlagenkonditionierung (22, 22-1, 22-2).

2. Fertigungseinrichtung nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet**, dass die Belichtungseinheit (14, 14-1, 14-2) als Mittel zur ortselektiven Belichtung des Fotoleiters (11) der Bildtrommel (8) einen Laser (15), insbesondere einen gepulsten Laser, und einen dem Laser (15) zugeordnete optische Umlenkeinrichtung, insbesondere einen drehbar angeordneten Umlenkspiegel (16), umfasst.

3. Fertigungseinrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Belichtungseinheit (14, 14-1, 14-2) als Mittel zur ortselektiven Belichtung des Fotoleiters (11) der Bildtrommel (8) in Achsrichtung der Bildtrommel (8) aneinander gereichte, selektiv ansteuerbare Lichtquellen, insbesondere Leuchtdioden, aufweist.

4. Fertigungseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Transferwalze (19-1, 19-2, 19-3, 19-4) eine Ladeinheit zugeordnet ist.

5. Fertigungseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einem zwischen Materialübergabe (12) und Konditioniereinheit (13) liegenden Rücklaufabschnitt (29) der Bildtrommel (8) eine Reinigungseinheit, insbesondere ein Materialabstreifer (30), angeordnet ist.

6. Fertigungseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einem zwischen Materialübergabe (12) und Konditioniereinheit (13) liegenden Rücklaufabschnitt (29) der Bildtrommel (8) eine Entladeeinheit (31, 31-1, 31-2) angeordnet ist.

7. Fertigungseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Konditioniereinheit (13) und/oder die Unterlagenkonditionierung (22, 22-1, 22-2) als Koronadrähte umfassendes Korotron oder in Querrichtung zur Arbeitsrichtung (5) des Fertigungskopfs (3, 4) angeordnete Punktladedioden umfasst.

8. Fertigungseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Entwicklereinheit (18, 18-1, 18-2) mehrere Transferwalzen (19-1, 19-2, 19-3, 19-4) für jeweils unterschiedliche Fertigungsmaterialien umfasst, welche an mindestens einem drehbaren Transferkarussell (20) derart gehalten sind, dass nach dem Prinzip eines Revolvers jeweils eine Transferwalze (19-1, 19-2, 19-3, 19-4) in eine aktive Stellung benachbarte Bildtrommel (8) bewegbar ist.

9. Fertigungseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass der Fertigungskopf (3) für eine erste Arbeitsrichtung (5) eine erste Ausstattung mit jeweils mindestens einer Konditioniereinheit (13), Belichtungseinheit (14-1), Entwicklereinheit (18-1), Unterlagenkonditionierung (22-1) und Fixiereinheit (24-1) aufweist und für eine der ersten Arbeitsrichtung entgegengesetzte zweite Arbeitsrichtung eine zweite Ausstattung mit jeweils mindestens einer Konditioniereinheit (13), Belichtungseinheit (14-2), Entwicklereinheit (18-2), Unterlagenkonditionierung (22-2) und Fixiereinheit (24-2) aufweist, welche im Wesentlichen symmetrisch zur ersten Ausstattung angeordnet ist.

10. Fertigungseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Fixiereinheit (24, 24-1, 24-2) des Fertigungskopfs einen Laser (25), und eine dem Laser (25) zugeordnete, optische Umlenkeinrichtung, insbesondere einen drehbar angeordneten Umlenkspiegel (26), umfasst.

11. Fertigungseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch wenigstens einen Fertigungskopf als Hauptfertigungskopf (3) für Fertigungsmaterial und einen koordiniert mit dem Hauptfertigungskopf (3) ansteuerbaren Fertigungskopf als Stützfertigungskopf (4) für Stützmaterial.

12. Fertigungseinrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Stützfertigungskopf (4) bezüglich der Anordnung von Bildtrommel (8), Konditioniereinheit (13), Belichtungseinheit (14, 14-1, 14-2), Entwicklereinheit (18, 18-1, 18-2) und Unterlagenkonditionierung (22, 22-1, 22-2) dem Hauptfertigungskopf (3) entspricht.

13. Fertigungseinrichtung nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens

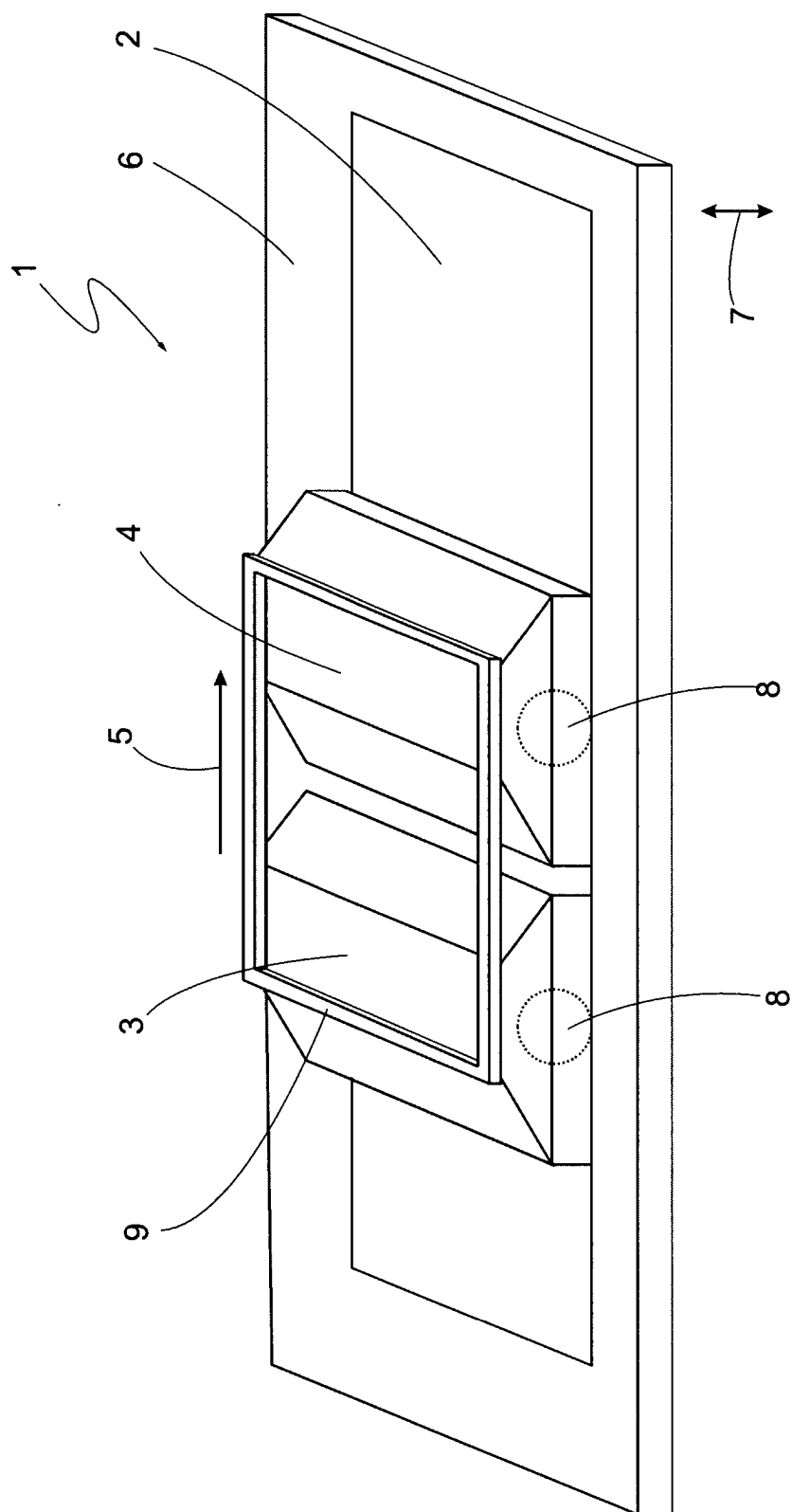
eine Fixiereinheit (32) des Stützfertigungskopfs (4) eine Wärmequelle umfasst.

14. Fertigungseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Unterlagenkonditionierungen (22, 22-1, 22-2) derart konfiguriert sind, dass ein Betrag der durch die Unterlagenkonditionierung (22, 22-1, 22-2) erzeugbaren elektrischen Ladung größer ist als ein Betrag der von der Konditioniereinheit (13) erzeugbaren Ladung der Bildtrommel (8).

15. Fertigungseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Konditioniereinheit (13) und/oder die Unterlagenkonditionierung (22, 22-1, 22-2) entweder beide zur Erzeugung einer negativen elektrostatischen Aufladung oder zur Erzeugung einer positiven elektrostatischen Aufladung ausgebildet sind oder zwischen einer Einstellung zur Erzeugung einer negativen elektrostatischen Aufladung und einer Einstellung zur Erzeugung einer positiven elektrostatischen Aufladung umschaltbar ausgebildet sind.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



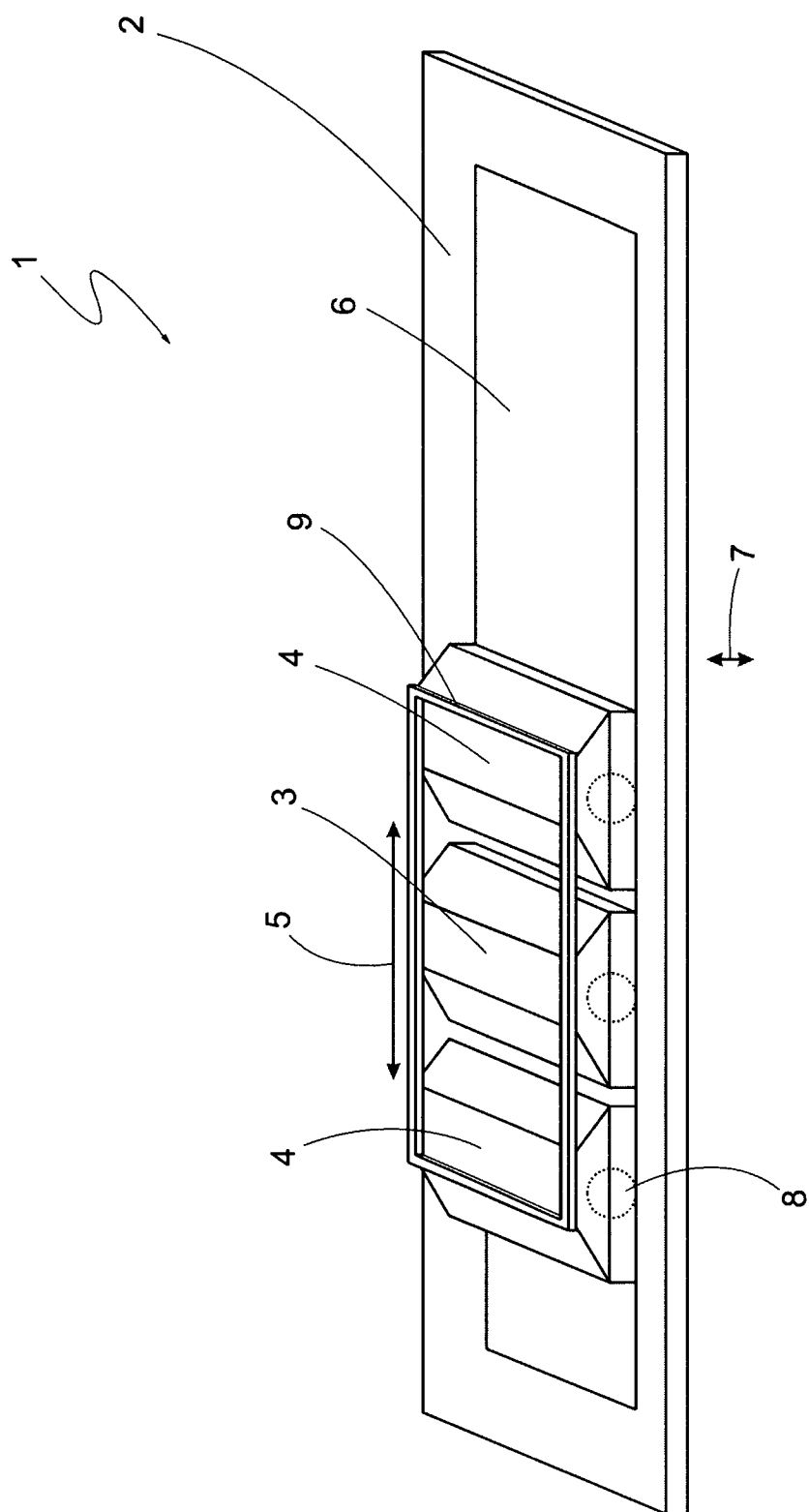


Fig. 2

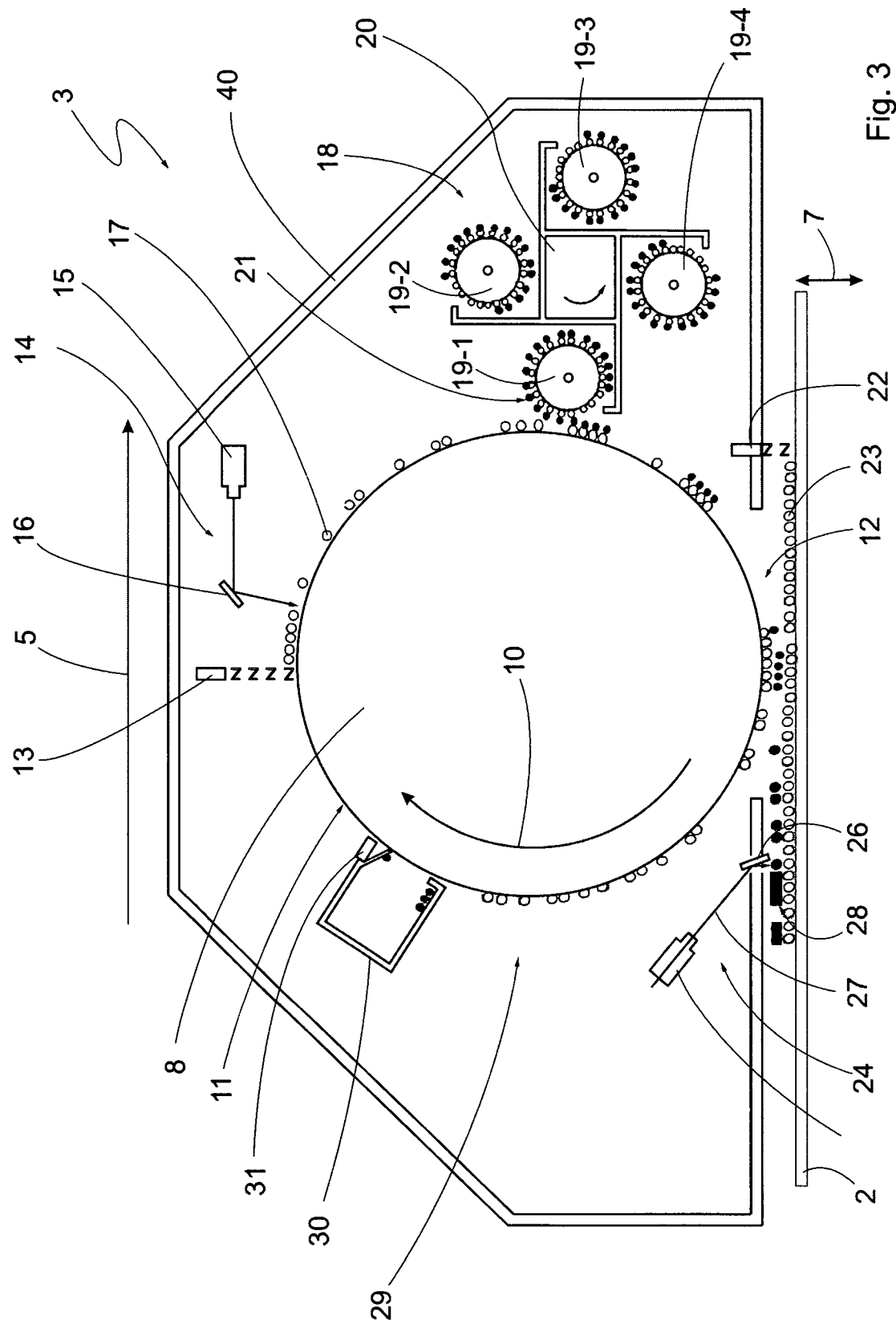
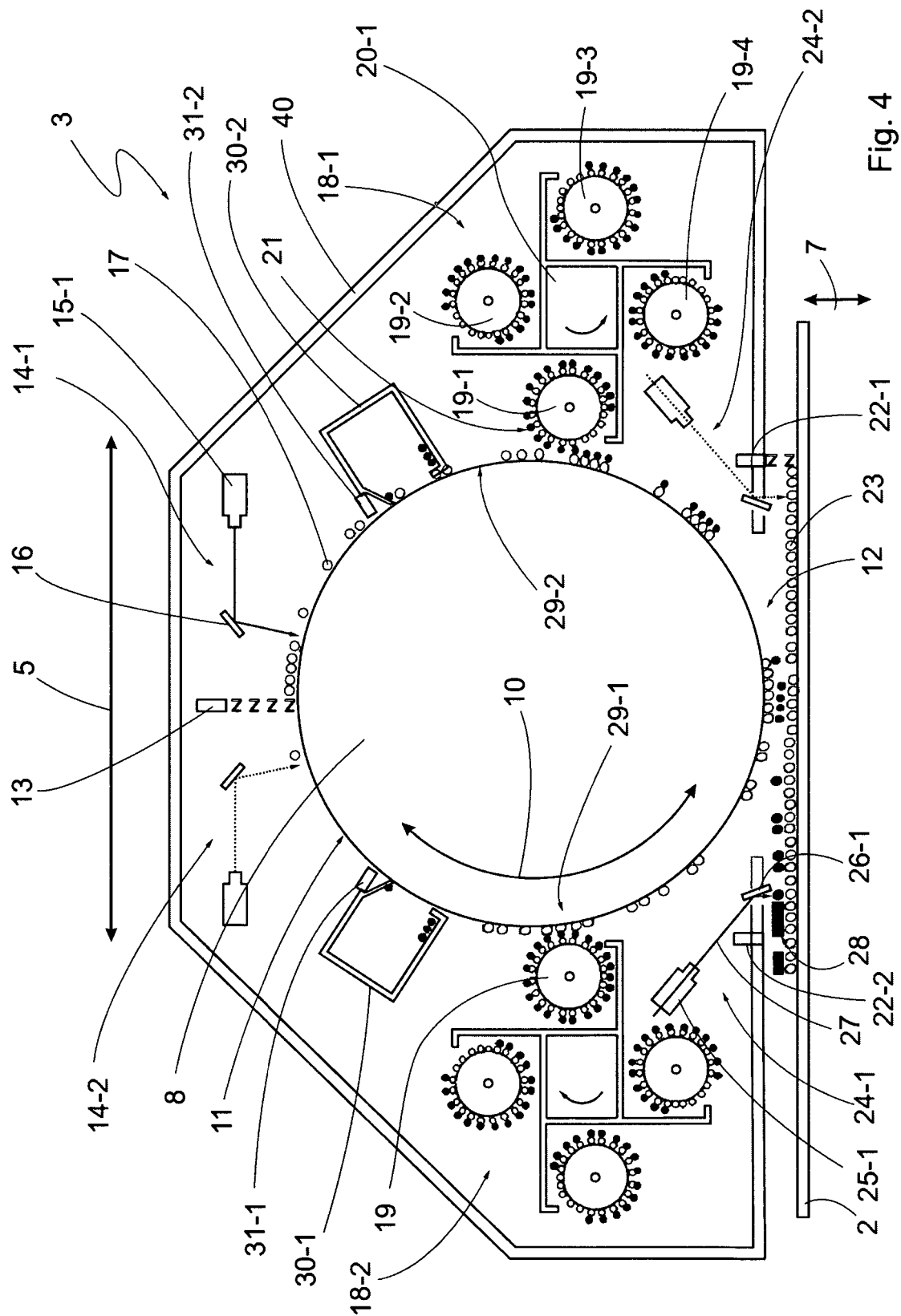


Fig. 3



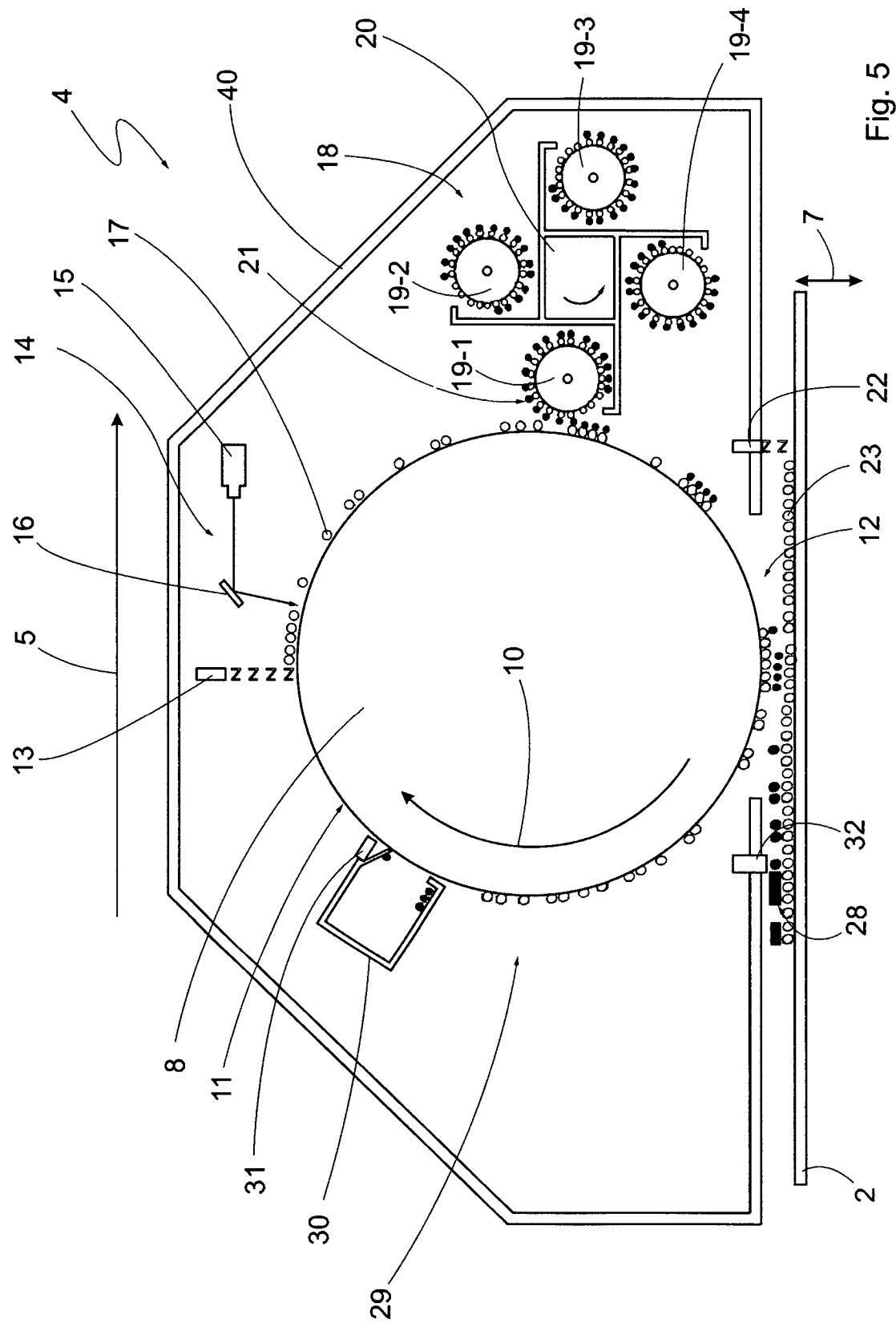


Fig. 5

