

**SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT**  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH** **712 245 B1**

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(51) Int. Cl.: **B22F 3/105** (2006.01)  
**B29C 64/135** (2017.01)  
**B33Y 10/00** (2015.01)  
**B33Y 30/00** (2015.01)  
**B29C 64/153** (2017.01)  
**B29C 64/241** (2017.01)  
**B29C 64/245** (2017.01)

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 00251/17

(22) Anmeldedatum: 01.03.2017

(43) Anmeldung veröffentlicht: 15.09.2017

(30) Priorität: 04.03.2016  
DE 102016203582.7

(24) Patent erteilt: 15.12.2020

(45) Patentschrift veröffentlicht: 15.12.2020

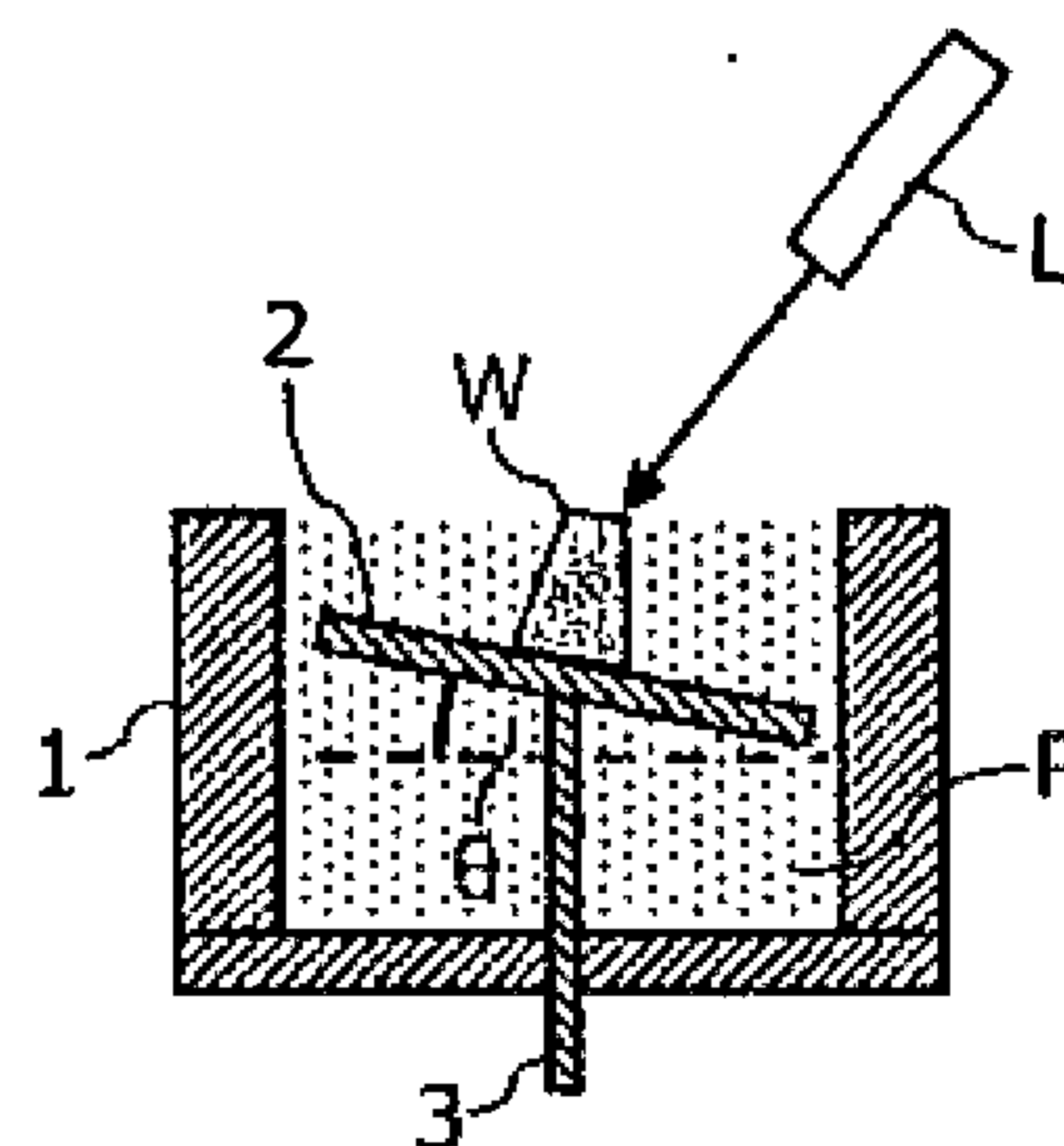
(73) Inhaber:  
AIRBUS Operations GmbH, Kreetslag 10  
21129 Hamburg (DE)

(72) Erfinder:  
Thorsten Michael Wienberg, 21129 Hamburg (DE)

(74) Vertreter:  
Hepp Wenger Ryffel AG, Friedtalweg 5  
9500 Wil / SG (CH)

(54) **Additives Fertigungssystem und Verfahren zur additiven Fertigung von Bauteilen.**

(57) Ein System zur additiven Fertigung von Bauteilen (W) umfasst einen Pulveraufnahmebehälter (1), welcher dazu ausgelegt ist, ein als Ausgangsstoff für ein zu fertigendes Bauteil (W) pulverförmiges Material (P) aufzunehmen, eine innerhalb des Pulveraufnahmebehälters (1) gelagerte Bauplattform (2), welche gegenüber dem Pulveraufnahmebehälter (1) um eine Rotationsachse (3) drehbar gelagert ist, einen Absenkantrieb, welcher dazu ausgelegt ist, die Bauplattform (2) innerhalb des Pulveraufnahmebehälters (1) schrittweise oder kontinuierlich abzusenken, und eine Energieeintragungseinrichtung (6), welche über einer Öffnung des Pulveraufnahmebehälters (1) angeordnet ist und dazu ausgelegt ist, an einer Oberfläche eines in dem Pulveraufnahmebehälter (1) eingebrachten pulverförmigen Materials (P) eine lokal selektive Schmelzung oder Aushärtung desselben durchzuführen. Die Bauplattform (P) ist dabei gegenüber einer Rotationsachse (3) der drehbaren Lagerung um einen Neigungswinkel (0) kippbar ist.



## Beschreibung

### TECHNISCHES GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die Erfindung betrifft ein System zur additiven Fertigung von Bauteilen und ein Verfahren zur additiven Fertigung von Bauteilen, bei denen eine verbesserte räumliche Positionierung des halbfertigen Bauteils während der Fertigung möglich ist, insbesondere für einen Einsatz in der Herstellung von Bauteilen mit verbesserten Materialeigenschaften im Luft- und Raumfahrtbereich.

### TECHNISCHER HINTERGRUND

[0002] Stereolithographie („stereolithography“, SLA), selektives Lasersintern („selective laser sintering“, SLS) und selektives Laserschmelzen („selective laser melting“, SLM) gehören zur Gruppe der generativen Fertigungsverfahren und werden landläufig auch als „3D-Druckverfahren“ bezeichnet. Dabei werden auf der Basis von geometrischen Modellen Datensätze erzeugt, die in einem speziellen generativen Fertigungssystem zur Herstellung von Objekten vordefinierter Form aus formlosen Materialien wie Flüssigkeiten und Pulvern formneutralem Halbzeugen wie etwa band-, draht- oder bahnförmigem Material mittels chemischer und/oder physikalischer Prozesse genutzt werden. 3D-Druckverfahren verwenden additive Prozesse, bei denen das Ausgangsmaterial schichtweise in vorgegebenen Formen sequentiell aufgebaut wird.

[0003] 3D-Druckverfahren sind derzeit weit verbreitet in der Herstellung von Prototypen oder in der schnellen Produktentwicklung („Rapid Product Development“, RPD), in der eine ressourceneffiziente Prozesskette zur bedarfsgerechten Klein- und Großserienfertigung individualisierter Bauteile eingesetzt wird. 3D-Druckverfahren finden vielfältige Anwendung im Bauingenieurwesen, in der Architektur, in der Dentaltechnik, im Werkzeugbau, in der Implantologie, im Industriedesign, in der Automobilindustrie sowie auch in der Luft- und Raumfahrtindustrie.

[0004] 3D-Drucker und speziell Lasersintervorrichtungen verwenden ein rechnergestütztes Konstruktionssystem („computer-aided design“, CAD) einerseits und eine Strahlanlage andererseits, welche den generativen Schichtaufbau des zu druckenden Objekts auf der Basis des von dem CAD-System bereitgestellten digitalen Fertigungsmodells durchführt. Ein dreidimensionales CAD-Modell des zu druckenden Objekts wird dabei einer zur Generierung der für die Strahlanlage notwendigen Steuerdaten durchgeführten Aufbereitungsprozedur unterzogen, dem sogenannten „Slicing“. Dabei wird das CAD-Modell in Schichten vorgegebener gleichmäßiger Dicke mit Schichtnormalen entlang der Aufbaurichtung der Strahlanlage digital zerlegt, welche dann die Basis für die Steuerung des Energiestrahls an der Ausgangsmaterialoberfläche in der Strahlanlage bilden. Ein herkömmlicher Schichtzerlegungsalgorithmus bildet dabei das CAD-Modell auf ein parkettiertes Oberflächenmodell ab, wodurch eine Menge geschlossener Kurven bzw. Oberflächenpolygone entstehen, die die sogenannten „Slices“ zwischen zwei senkrecht durch in Aufbaurichtung der Strahlanlage aufeinanderfolgenden Modellschnitte definieren.

[0005] Solche Oberflächenmodelle können zum Beispiel im für die Stereolithographie gängigen STL-Format gespeichert werden, welches die Oberflächengeometrie des dreidimensionalen zu druckenden Objekts als Rohdaten unstrukturierter Dreieckstexturen beschreibt. Die Strahlanlage liest die Oberflächenmodelldaten ein und setzt sie in ein entsprechendes Ansteuerungsmuster für den Laserstrahl in einem SLA-, SLS- oder SLM-Fertigungsverfahren um.

[0006] Durch 3D-Druckverfahren wie SLA, SLS oder SLM entsteht viel Designfreiheit bei der Fertigung komplexer dreidimensionaler Bauelemente und Komponenten hinsichtlich deren geometrischer Form und Struktur. Es ist dabei wünschenswert, die Fertigung von Bauelementen und Komponenten zu beschleunigen, indem Fertigungsschritte effizienter implementiert werden.

[0007] Verschiedene Ansätze im Stand der Technik beschäftigen sich mit auf einer rotatorischen Bewegung der Bauplattformen basierenden 3D-Druckprozessen: Die Druckschrift DE 10 2013 210 242 A1 zeigt eine Anlage zum selektiven Laserschmelzen mit einem topfförmigen Pulverbettträger, welcher bei der Pulverbetterzeugung gedreht werden kann. Die Druckschrift DE 10 2009 046 440 A1 offenbart eine Vorrichtung zur generativen Herstellung eines Bauteils mit einer ablenkbaren Trägerplatte und einer über der Trägerplatte rotierenden Materialbereitstellungseinheit. Die Druckschrift DE 102 35 434 A1 offenbart eine Vorrichtung zur schichtweisen, generativen Herstellung von dreidimensionalen Objekten mit einem drehbaren Baubereich. Die Druckschriften US 2008/0109102 A1 und US 2004/0265413 A1 offenbaren jeweils eine 3D-Druckvorrichtung mit einer drehbaren Bauplattform. Die Druckschrift WO 2015/139094 A1 offenbart eine computergesteuerte Anlage zur generativen Fertigung von Bauteilen, welche einen in einer aushärtbaren Flüssigkeit gelagerten robotischen Arm mit einer daran drehbar und kippbar gelagerten Bauplattform aufweist.

### ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0008] Eine der Aufgaben der Erfindung besteht daher darin, effizientere Lösungen für die generative Fertigung von Objekten zu finden, insbesondere in solchen Fertigungsverfahren, die unter Zuhilfenahme von selektiven Lasersinterverfahren, selektiven Laserschmelzverfahren oder Stereolithographieverfahren von pulverförmigen Ausgangsstoffen hergestellt werden.

**[0009]** Diese und andere Aufgaben werden durch ein System zur additiven Fertigung von Bauteilen mit den Merkmalen des Anspruchs 1, ein Verfahren zur additiven Fertigung von Bauteilen mit den Merkmalen des Anspruchs 9 und ein nicht-flüchtiges computerlesbares Speichermedium mit den Merkmalen des Anspruchs 15 gelöst.

**[0010]** Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung umfasst ein System zur additiven Fertigung von Bauteilen einen Pulveraufnahmebehälter, welcher dazu ausgelegt ist, ein als Ausgangsstoff für ein zu fertigendes Bauteil pulverförmiges Material aufzunehmen, eine innerhalb des Pulveraufnahmebehälters gelagerte Bauplattform, welche gegenüber dem Pulveraufnahmebehälter um eine Rotationsachse drehbar gelagert ist, einen Absenkantrieb, welcher dazu ausgelegt ist, die Bauplattform innerhalb des Pulveraufnahmebehälters schrittweise oder kontinuierlich abzusenken, und eine Energieeintragseinrichtung, welche über einer Öffnung des Pulveraufnahmebehälters angeordnet ist und dazu ausgelegt ist, an einer Oberfläche eines in dem Pulveraufnahmebehälter eingebrachten pulverförmigen Materials eine lokal selektive Schmelzung oder Aushärtung desselben durchzuführen. Die Bauplattform ist dabei gegenüber einer Rotationsachse der drehbaren Lagerung um einen Neigungswinkel kippbar.

**[0011]** Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung umfasst ein Verfahren zur additiven Fertigung von Bauteilen die Schritte des Einbringens eines pulverförmigen Materials für ein Pulverbett als Ausgangsstoff für ein zu fertigendes Bauteil in einem Pulveraufnahmebehälter, des lokal selektiven Schmelzens oder Aushärtens des pulverförmigen Materials an einer Oberfläche des Pulverbetts durch eine über einer Öffnung des Pulveraufnahmebehälters angeordnete Energieeintragungseinrichtung, des Drehens einer innerhalb des Pulveraufnahmebehälters drehbar gelagerten Bauplattform um eine Rotationsachse während des lokal selektiven Schmelzens oder Aushärtens, und des schrittweisen oder kontinuierlichen Absenkens der Bauplattform innerhalb des Pulveraufnahmebehälters. Dabei wird die Bauplattform während des Drehens gegenüber der Rotationsachse um einen Neigungswinkel gekippt.

**[0012]** Gemäß einem dritten Aspekt der Erfindung sind auf einem nicht-flüchtigen computerlesbaren Speichermedium computerausführbare Anweisungen gespeichert, die bei Ausführung mittels einer datenverarbeitenden Vorrichtung die datenverarbeitende Vorrichtung dazu veranlassen, die Schritte eines Verfahrens gemäß dem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung auszuführen.

**[0013]** Eine wesentliche Idee der Erfindung besteht darin, Pulverbettfertigungsanlagen mit einer drehbaren und kippbaren Bauplattform auszustatten, die im Pulverbett ausgerichtet und während eines Sinter- oder Schmelzvorgangs unter einer im Wesentlichen stationären Energieeintragungseinrichtung rotierend bewegt werden kann. Dadurch können insbesondere rotationssymmetrische Werkstücke besonders effizient und mit hoher Genauigkeit gefertigt werden, da eine Bewegung und Justierung der Energieeintragungseinrichtung nicht oder nur in geringem Umfang notwendig ist.

**[0014]** 3D-Druckprozesse im Allgemeinen und die hierin beschriebenen Varianten im Speziellen sind insbesondere für die Bauteilfertigung vorteilhaft, da sie die Herstellung von dreidimensionalen Komponenten in urformenden Verfahren ermöglichen, ohne spezielles, auf die äußere Form der Komponenten abgestimmtes Fertigungswerkzeug zu benötigen. Dadurch werden hocheffiziente, Material sparende und Zeit sparende Herstellungsprozesse für Bauteile und Komponenten ermöglicht. Besonders vorteilhaft sind derartige 3D-Druckverfahren für strukturelle Bauteile im Luft- und Raumfahrtbereich, da dort sehr viele verschiedene, auf spezielle Einsatzzwecke abgestimmte Bauteile eingesetzt werden, die in solchen 3D-Druckverfahren mit geringen Kosten, geringer Fertigungsverlaufzeit und mit geringer Komplexität in den für die Herstellung benötigten Fertigungsanlagen hergestellt werden können.

**[0015]** Durch die Möglichkeit, eine rotierende Bauplattform für zu fertigende Werkstücke selektiv zu kippen bzw. deren Plattformebene gegenüber der Rotationsachse um einen Neigungswinkel schräg zu stellen, bietet sich die Möglichkeit, auch stärker abgeschrägte Unterschnitte bzw. Überhänge zu fertigen, an denen ansonsten eine aufgetragene Pulverschicht abrutschen würde. Zudem können durch eine Schrägstellung der Bauplattform weitere strukturelle Modifikationen an bereits ausgehärteten Werkteilmereichen durchgeführt werden, die bei einer nicht geneigten Plattform unterhalb der Pulverbettoberfläche liegen würden und damit für die selektive Aushärtung unzugänglich wären.

**[0016]** Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen ergeben sich aus den weiteren abhängigen Ansprüchen sowie aus der Beschreibung unter Bezugnahme auf die Figuren.

**[0017]** Gemäß einiger Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Systems und Verfahrens kann das pulverförmige Material ein metallisches Pulver aufweisen.

**[0018]** Gemäß einiger weiterer Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Systems und Verfahrens können der Pulveraufnahmebehälter und/oder die Bauplattform eine zylindrische Form aufweisen.

**[0019]** Gemäß einiger weiterer Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Systems kann das System weiterhin ein Pulverreservoir, welches dazu ausgelegt ist, zusätzliches pulverförmiges Material in den Pulveraufnahmebehälter nachzuführen, und eine Pulverabtragvorrichtung umfassen, welche dazu ausgelegt ist, das aus dem Pulverreservoir zusätzlich nachgeführte pulverförmige Material an der Pulveroberfläche zur Glättung der Oberfläche abzutragen.

**[0020]** Gemäß einiger weiterer Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Systems kann der Absenkantrieb ein durch einen Absenkantriebsmotor angetriebenes Schneckengetriebe aufweisen.

**[0021]** Gemäß einiger weiterer Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Systems kann das System weiterhin einen mit der Rotationsachse starr verbundenen Drehtisch, und ein oder mehrere Kugellager aufweisen, welche die Bauplattform

drehbar auf dem Drehtisch lagern. Dabei kann in einigen Ausführungsformen ein Drehantriebsmotor und eine durch den Drehantriebsmotor angetriebene Drehantriebswelle vorgesehen werden, wobei die Drehantriebswelle die Bauplattform zur Drehung um die Rotationsachse auf dem Drehtisch antreibt.

[0022] Gemäß einiger weiterer Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Systems kann die Energieeintragseinrichtung einen punktförmig oder linienförmig auf die Pulveroberfläche fokussierten Laser umfassen.

[0023] Gemäß einiger Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens kann das lokal selektive Schmelzen oder Aushärten mithilfe eines punktförmig oder linienförmig auf die Pulveroberfläche fokussierten Laser durchgeführt werden.

[0024] Gemäß einiger weiterer Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens kann das Verfahren weiterhin den Schritt des Änderns des Neigungswinkels nach einem jeweiligen Absenken der Bauplattform um eine vorbestimmte Distanz aufweisen. Dabei kann in einigen Ausführungsvarianten nach einem Ändern des Neigungswinkels der Bauplattform zusätzliches pulverförmiges Material aus einem Pulverreservoir in den Pulveraufnahmebehälter nachgeführt werden.

[0025] Die obigen Ausgestaltungen und Weiterbildungen lassen sich, sofern sinnvoll, beliebig miteinander kombinieren. Weitere mögliche Ausgestaltungen, Weiterbildungen und Implementierungen der Erfindung umfassen auch nicht explizit genannte Kombinationen von zuvor oder im Folgenden bezüglich der Ausführungsbeispiele beschriebenen Merkmale der Erfindung. Insbesondere wird dabei der Fachmann auch Einzelaspekte als Verbesserungen oder Ergänzungen zu der jeweiligen Grundform der vorliegenden Erfindung hinzufügen.

#### KURZE INHALTSANGABE DER FIGUREN

[0026] Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend anhand der in den schematischen Figuren angegebenen Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen dabei:

- Fig. 1 eine schematische Illustration eines Systems zur additiven Fertigung von Bauteilen gemäß einer Ausführungsform der Erfindung,
- Fig. 2 eine schematische Illustration einer Detailansicht des Systems zur additiven Fertigung von Bauteilen nach Fig. 1 gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung,
- Fig. 3 eine schematische Illustration eine weitere Detailansicht des Systems zur additiven Fertigung von Bauteilen nach Fig. 1 gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung,
- Fig. 4 ein Blockdiagramm eines Verfahrens zur additiven Fertigung von Bauteilen gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung, und
- Fig. 5 eine schematische Illustration eines computerlesbaren Speichermediums gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung.

[0027] Die beiliegenden Figuren sollen ein weiteres Verständnis der Ausführungsformen der Erfindung vermitteln. Sie veranschaulichen Ausführungsformen und dienen im Zusammenhang mit der Beschreibung der Erklärung von Prinzipien und Konzepten der Erfindung. Andere Ausführungsformen und viele der genannten Vorteile ergeben sich im Hinblick auf die Zeichnungen. Die Elemente der Zeichnungen sind nicht notwendigerweise maßstabsgetreu zueinander gezeigt. Richtungsangebende Terminologie wie etwa „oben“, „unten“, „links“, „rechts“, „über“, „unter“, „horizontal“, „vertikal“, „vorne“, „hinten“ und ähnliche Angaben werden lediglich zu erläuternden Zwecken verwendet und dienen nicht der Beschränkung der Allgemeinheit auf spezifische Ausgestaltungen wie in den Figuren gezeigt.

[0028] In den Figuren der Zeichnung sind gleiche, funktionsgleiche und gleich wirkende Elemente, Merkmale und Komponenten - sofern nichts anderes ausgeführt ist - jeweils mit denselben Bezugszeichen versehen.

#### BESCHREIBUNG VON AUSFÜHRUNGSBEISPIELEN

[0029] 3D-Druckverfahren im Sinne der vorliegenden Anmeldung umfassen alle generativen Fertigungsverfahren, bei welchen auf der Basis von geometrischen Modellen Objekte vordefinierter Form aus formlosen Materialien wie Flüssigkeiten oder Pulvern formneutralem Halbzeugen wie etwa band-, draht- oder bahnförmigem Material mittels chemischer und/oder physikalischer Prozesse in einem speziellen generativen Fertigungssystem hergestellt werden. 3D-Druckverfahren im Sinne der vorliegenden Anmeldung verwenden dabei additive Prozesse, bei denen das Ausgangsmaterial schichtweise in vorgegebenen Formen sequentiell aufgebaut wird. 3D-Druckverfahren umfassen dabei insbesondere Stereolithographie („stereolithography“, SLA), selektives Lasersintern („selective laser sintering“, SLS) und selektives Laserschmelzen („selective laser melting“, SLM). Insbesondere umfassen 3D-Druckverfahren im Sinne der vorliegenden Erfindung additive Fertigungsverfahren, bei denen metallische Ausgangsstoffe wie beispielsweise verflüssigtes Metall oder Metallpulver zur generativen Fertigung von Bauteilen eingesetzt werden.

[0030] Fig. 1 zeigt eine schematische Illustration eines Systems 10 zur additiven bzw. generativen Fertigung von Bauteilen, im Folgenden kurz 3D-Druckvorrichtung 10. Die 3D-Druckvorrichtung 10 kann beispielsweise eine Anlage zum selek-

tiven Lasersintern, eine Anlage zum selektiven Laserschmelzen oder eine Stereolithographieanlage sein. Im Folgenden werden die grundlegenden Prinzipien der 3D-Druckvorrichtung 10 beispielhaft im Zusammenhang mit SLS erläutert werden, obschon Druckvorrichtungen für andere 3D-Druckverfahren anders aufgebaut sein können.

**[0031]** Eine Energieeintragseinrichtung, beispielsweise ein CO<sub>2</sub>-Laser L, sendet einen Energiestrahл ortsselektiv auf einen bestimmten Teil einer Pulveroberfläche pulverförmigen Materials P, welches in einer als Pulveraufnahmebehälter ausgestatteten Arbeitskammer 1 auf einer Bauplattform 2 aufliegt. Der Pulveraufnahmebehälter 1 kann beispielsweise generell topfförmig sein und die äußere Form eines Hohlzylinders oder hohlen Kastens annehmen. Dementsprechend kann die Bauplattform 2 beispielsweise eine zylindrische Scheibe geringer Dicke sein, deren Durchmesser etwas geringer ist als der Durchmesser des Pulveraufnahmebehälters 1, so dass eine Drehung der Bauplattform 2 innerhalb des Pulveraufnahmebehälters 1 um eine Rotationsachse 3 möglich wird.

**[0032]** Die Energieeintragseinrichtung L kann beispielsweise ein ortsfest montierter Laser sein, welcher mithilfe einer nicht explizit dargestellten optischen Ablenkvorrichtung wie etwa einer Anordnung beweglicher bzw. kippbarer Spiegel den Laserstrahl je nach deren Kippstellung auf einen bestimmten Teil der Pulveroberfläche des Pulvers P ablenkt und auf der Pulveroberfläche fokussiert. Das pulverförmige Material P kann beispielsweise ein Metallpulver oder ein Metalllegierungspulver aufweisen, wie zum Beispiel AlMgSc (Scalmalloy®).

**[0033]** Es kann auch möglich sein, einen Linienlaser als Energieeintragseinrichtung L zu verwenden, der mithilfe geeigneter refraktiver Optik wie etwa Powell-Linsen oder Zylinderlinsen einen Laserstrahl in einer Linie auf die Pulveroberfläche des Pulvers P wirft bzw. dort fokussiert abbildet. Wenn der Pulveraufnahmebehälter 1 bzw. die Bauplattform 2 zylindrisch ausgebildet sind, kann die Laserlinie dabei radial vom Zentrum der Bauplattform 2 hin zum Rand des Pulveraufnahmebehälters 1 projiziert werden.

**[0034]** An der Auftreffstelle des Laserstrahls bzw. der Laserlinie wird das Pulver P lokal erhitzt, so dass die Pulverpartikel lokal aufgeschmolzen werden und bei einem Abkühlen ein Agglomerat bilden. In Abhängigkeit von einem durch ein CAD-System bereitgestellten und gegebenenfalls aufbereiteten digitalen Fertigungsmodell rastert der Laserstrahl die Pulveroberfläche ab. Nach dem selektiven Schmelzen und lokalen Agglomerieren der Pulverpartikel in der Oberflächenschicht des Pulvers P kann überschüssiges, nicht agglomeriertes Pulver gegebenenfalls in einen (nicht dargestellten) Überschussbehälter übertragen werden. Danach wird die Bauplattform 2 abgesenkt und neues Pulver PS aus einem Pulverreservoir S in den Pulveraufnahmebehälter 1 eingetragen. Die Pulveroberfläche kann mit Hilfe einer Pulverabtragvorrichtung D wie etwa einer Nivellierwalze oder einer anderen geeigneten Raket- oder Walzeinrichtung geglättet werden. Der Pulvereintrag PS aus dem Pulverreservoir S kann zur Beschleunigung des Schmelzprozesses durch Infrarotlicht auf eine knapp unter der Schmelztemperatur des Pulvers liegende Arbeitstemperatur vorgewärmt werden. Das gesamte System 10 kann dabei in einem (nicht explizit dargestellten) Gehäuse aufgenommen werden, welches in evakuierter Atmosphäre oder in Inertgasatmosphäre gehalten wird.

**[0035]** Auf diese Weise entsteht in einem iterativen generativen Aufbauprozess ein dreidimensionales gesintertes bzw. „gedrucktes“ Objekt bzw. Werkstück W aus agglomeriertem Pulver. Das umliegende Pulver dient dabei der Abstützung des bis dahin aufgebauten Teils des Objekts W, so dass keine externe Stützkonstruktion notwendig ist. Durch die schrittweise kontinuierliche Abwärtsbewegung Z2 der Bauplattform 2 entsteht das Werkstück W in schichtweiser Modellerzeugung.

**[0036]** Zur Abwärtsbewegung Z2 weist die 3D-Druckvorrichtung 10 einen Absenkantrieb auf, welcher die Bauplattform 2 innerhalb des Pulveraufnahmebehälters 1 schrittweise oder kontinuierlich absenken kann. Dazu ist die Bauplattform 2 auf einer Rotationsachse 3 montiert, welche sich senkrecht durch einen Boden des Pulveraufnahmebehälters 1 hindurch erstreckt. Der Absenkantrieb kann beispielsweise ein durch einen Absenkantriebsmotor 5 angetriebenes Schneckengetriebe 4 aufweisen, welches mit einem Außengewinde der Rotationsachse 3 in Eingriff steht und eine Rotationsbewegung der Welle des Absenkantriebsmotors 5 in eine Translationsbewegung der Rotationsachse 3 in Richtung Z2 umsetzt.

**[0037]** Die Bauplattform 2 ist zudem gegenüber dem Pulveraufnahmebehälter 1 um die Rotationsachse 3 drehbar gelagert. Dazu kann die 3D-Druckvorrichtung 10 einen mit der Rotationsachse 3 starr verbundenen Drehtisch 9 aufweisen, auf welchem die Bauplattform 2 über ein oder mehrere Kugellager 8 drehbar gelagert ist. Ein Drehantriebsmotor 6 überträgt eine Drehbewegung auf eine durch den Drehantriebsmotor 6 angetriebene Drehantriebswelle 7, welche ihrerseits mit einem entsprechenden Gewinde auf der Unterseite der Bauplattform 2 im Eingriff steht. Dadurch kann eine Rotationsbewegung R7 der Drehantriebswelle 7 in eine Drehung der Bauplattform 2 um die Rotationsachse 3 auf dem Drehtisch 9 umgesetzt werden.

**[0038]** Bei der additiven Fertigung eines Werkstücks W wird das Pulverbett des pulverförmigen Materials P als Ausgangsstoff für die additive Fertigung bis zu einer bestimmten Höhe innerhalb des Pulveraufnahmebehälters 1 aufgefüllt. Die Energieeintragseinrichtung L schmilzt oder härtet an einer Oberfläche des in dem Pulveraufnahmebehälter 1 eingebrachten pulverförmigen Materials P bestimmte Bereiche lokal selektiv. Dazu wird die Bauplattform 2 über eine entsprechende Ansteuerung des Drehantriebsmotors 6 während des Energieeintrags in Drehung versetzt, so dass die Energieeintragseinrichtung L durch die Drehung der Bauplattform 2 einen vorgegebenen Schmelz- bzw. Aushärtpfad überstreicht.

**[0039]** Wenn eine Schicht des Werkstücks W wie vorgesehen geschmolzen bzw. wieder ausgehärtet ist, kann der Absenkantrieb die Bauplattform 2 um eine bestimmte Absenkhöhe absenken, so dass erneut pulverförmiges Material PS aus einem Pulverreservoir S in den Pulveraufnahmebehälter 1 nachgeführt werden kann. Zur Glättung der Oberfläche des

nachgeführten Pulvers kann die 3D-Druckvorrichtung 10 eine Pulverabtragvorrichtung D wie etwa einen Rakel oder eine Nivellierwalze aufweisen, welche dazu ausgelegt ist, das aus dem Pulverreservoir S zusätzlich nachgeführte pulverförmige Material PS an der Pulveroberfläche abzutragen. Die Pulverabtragvorrichtung D kann dabei beispielsweise in Richtung ZD auf die Pulveroberfläche abgesenkt werden und in einer Drehbewegung RD das überschüssige Pulver abtragen.

**[0040]** In Fig. 2 und 3 sind beispielhaft schematische Illustrationen von Details einer 3D-Druckvorrichtung 10 im Bereich des Pulveraufnahmebehälters 1 der Fig. 1 gezeigt. Es sollte dabei klar sein, dass sich Merkmale und Merkmalsgruppen von den in der Fig. 2 und 3 erläuterten Ausführungsbeispielen ebenso auf das Ausführungsbeispiel der Fig. 1 übertragen lassen können.

**[0041]** Fig. 2 zeigt den Pulveraufnahmebehälter 1, bei der die Ebene der Bauplatzform 2 senkrecht zu der Rotationsachse 3 ausgerichtet ist, d.h. dass sich die Bauplatzform 2 in einem rechten Winkel gegenüber der Rotationsachse 3 innerhalb des Pulveraufnahmebehälters 1 erstreckt. Dadurch wird zusätzlich eingebrachtes Pulver P in im Wesentlichen gleichmäßiger Dicke auf der Bauplatzform 2 verteilt.

**[0042]** Fig. 3 zeigt nun, dass sich die Ebene der Bauplatzform 2 gegenüber der Rotationsachse 3 um einen Neigungswinkel  $\theta$  kippen lässt. Mit anderen Worten kann die Bauplatzform 2 derart gegenüber der Rotationsachse 3 gekippt werden, dass sich die Bauplatzform 2 schräg innerhalb des Pulveraufnahmebehälters 1 erstreckt. Bei einer Drehung der Bauplatzform 2 um die Rotationsachse 3 wird also zusätzlich eingebrachtes Pulver P auf denjenigen Abschnitten eines bereits teilweise gefertigten Werkstücks W liegen bleiben, die sich in der Kippstellung der Bauplatzform 2 horizontal zur Rotationsachse 3 erstrecken. Insbesondere bei zu fertigenden Überhängen und Unterschnitten des Werkstücks W kann die Energieeintragungseinrichtung L daher Energie in Bereiche des Pulverbetts eintragen, die bei einer horizontalen, d.h. nicht gekippten Stellung der Bauplatzform 2 nicht zu erreichen wären.

**[0043]** Fig. 4 zeigt ein Blockdiagramm eines schematischen Ablaufs eines 3D-Druckverfahrens M zur Herstellung additiv gefertigter Bauteile, beispielsweise solcher Bauteile oder Werkstücke W, wie sie in einer 3D-Druckvorrichtung wie etwa der in den Fig. 1 bis 3 gezeigten 3D-Druckvorrichtung 10 hergestellt werden können. Dabei kann das 3D-Druckverfahren M auf die Infrastruktur der 3D-Druckvorrichtungen 10 zurückgreifen, wie sie im Zusammenhang mit den Fig. 1 bis 3 erläutert worden sind.

**[0044]** In einem ersten Schritt M1 erfolgt zunächst ein Einbringen eines Pulverbetts pulverförmigen Materials P als Ausgangsstoff für ein zu fertigendes Bauteil W in einem Pulveraufnahmebehälter 1. Durch lokal selektives Schmelzen oder Aushärten des pulverförmigen Materials an einer Oberfläche des Pulverbetts durch eine über einer Öffnung des Pulveraufnahmebehälters 1 angeordnete Energieeintragungseinrichtung L in einem zweiten Schritt M2 - beispielsweise mithilfe eines punktförmig oder linienförmig auf die Pulveroberfläche fokussierten Lasers - während des Drehens einer innerhalb des Pulveraufnahmebehälters 1 drehbar gelagerten Bauplatzform 2 um eine Rotationsachse 3 in einem dritten Schritt M3 kann ein Werkstück W schichtweise generativ gefertigt werden. Dazu kann in einem vierten Schritt M4 ein schrittweises oder kontinuierliches Absenken der Bauplatzform 2 innerhalb des Pulveraufnahmebehälters 1 erfolgen. Während des Drehens in Schritt M3 ist die Bauplatzform 2 gegenüber der Rotationsachse 3 um einen Neigungswinkel  $\theta$  gekippt.

**[0045]** Nach einem jeweiligen Absenken der Bauplatzform 2 um eine vorbestimmte Distanz kann der Neigungswinkel  $\theta$  optional verändert werden, um in jeweiligen Überhang- oder Unterschnittbereichen des Werkstücks W eine bessere Erreichbarkeit für den lokal selektiven Schmelz- bzw. Aushärtprozess zu schaffen. Jeweils nach einer solcher Änderung des Neigungswinkels  $\theta$  der Bauplatzform 2 kann zusätzliches pulverförmiges Material PS aus einem Pulverreservoir S in den Pulveraufnahmebehälter 1 nachgeführt werden.

**[0046]** Das beschriebene Verfahren kann in allen Bereichen der Transportindustrie, beispielsweise für Straßenkraftfahrzeuge, für Schienenfahrzeuge oder für Wasserfahrzeuge, aber auch im Ingenieurs- und Maschinenbauwesen generell eingesetzt werden.

**[0047]** Fig. 5 zeigt eine schematische Illustration eines nicht-flüchtigen, computerlesbaren Speichermediums 20, auf welchem computerausführbare Anweisungen gespeichert sind, die bei Ausführung mittels einer datenverarbeitenden Vorrichtung die datenverarbeitende Vorrichtung dazu veranlassen, die Schritte des im Zusammenhang mit Fig. 4 erläuterten 3D-Druckverfahrens M auszuführen. Das Speichermedium 20 kann beispielsweise eine SD-Karte, ein USB-Flashspeicher, eine Diskette, eine CD, eine DVD oder ein ähnliches geeignetes Medium aufweisen.

**[0048]** In der vorangegangenen detaillierten Beschreibung sind verschiedene Merkmale zur Verbesserung der Stringenz der Darstellung in einem oder mehreren Beispielen zusammengefasst worden. Es sollte dabei jedoch klar sein, dass die obige Beschreibung lediglich illustrativer, keinesfalls jedoch beschränkender Natur ist. Sie dient der Abdeckung aller Alternativen, Modifikationen und Äquivalente der verschiedenen Merkmale und Ausführungsbeispiele. Viele andere Beispiele werden dem Fachmann aufgrund seiner fachlichen Kenntnisse in Anbetracht der obigen Beschreibung sofort und unmittelbar klar sein.

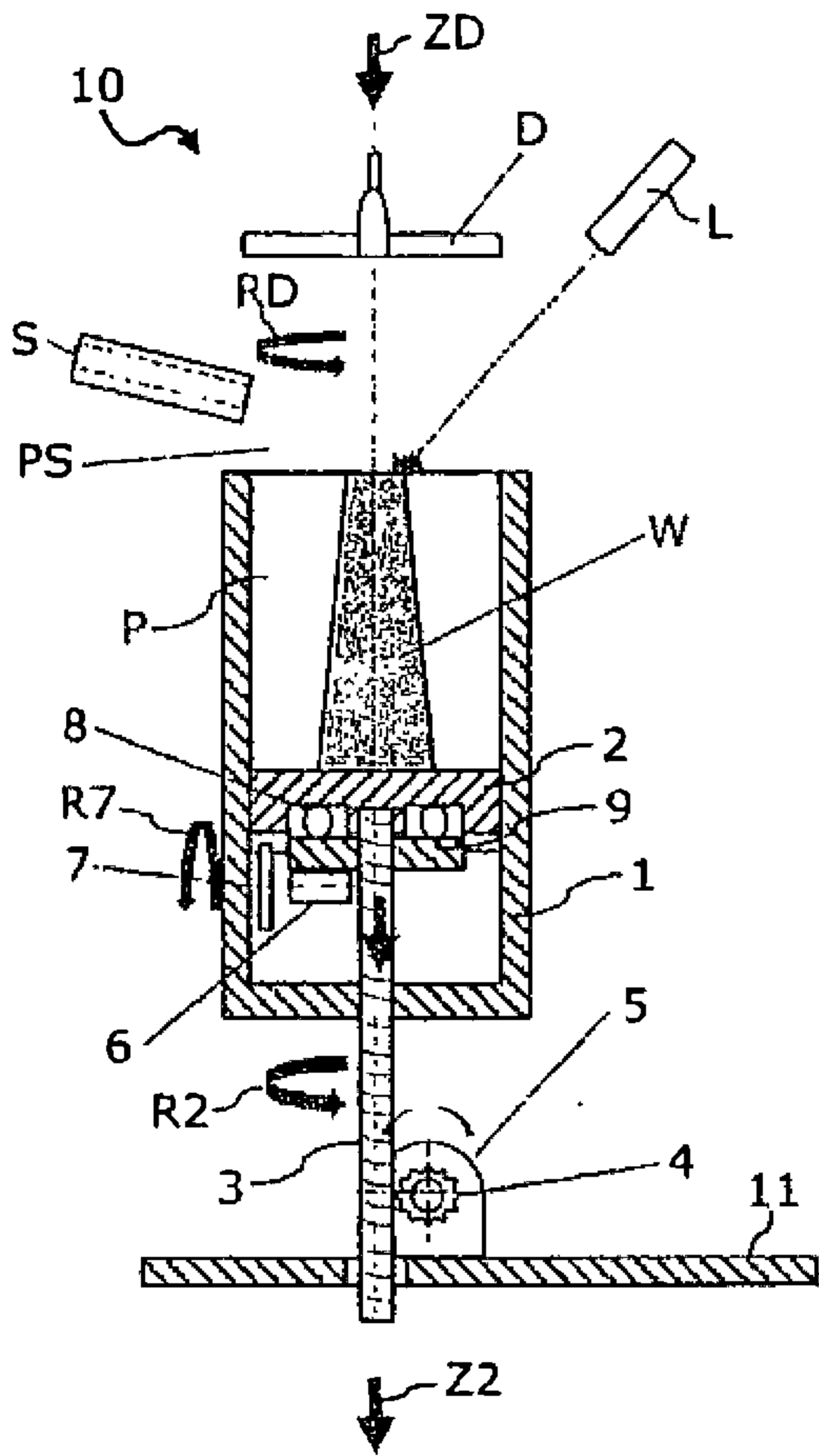
**[0049]** Die Ausführungsbeispiele wurden ausgewählt und beschrieben, um die der Erfindung zugrundeliegenden Prinzipien und ihre Anwendungsmöglichkeiten in der Praxis bestmöglich darstellen zu können. Dadurch können Fachleute die Erfindung und ihre verschiedenen Ausführungsbeispiele in Bezug auf den beabsichtigten Einsatzzweck optimal modifizieren und nutzen. In den Ansprüchen sowie der Beschreibung werden die Begriffe „beinhaltend“ und „aufweisend“ als neutral-sprachliche Begrifflichkeiten für die entsprechenden Begriffe „umfassend“ verwendet. Weiterhin soll eine Verwendung der

Begriffe „ein“, „einer“ und „eine“ eine Mehrzahl derartig beschriebener Merkmale und Komponenten nicht grundsätzlich ausschließen.

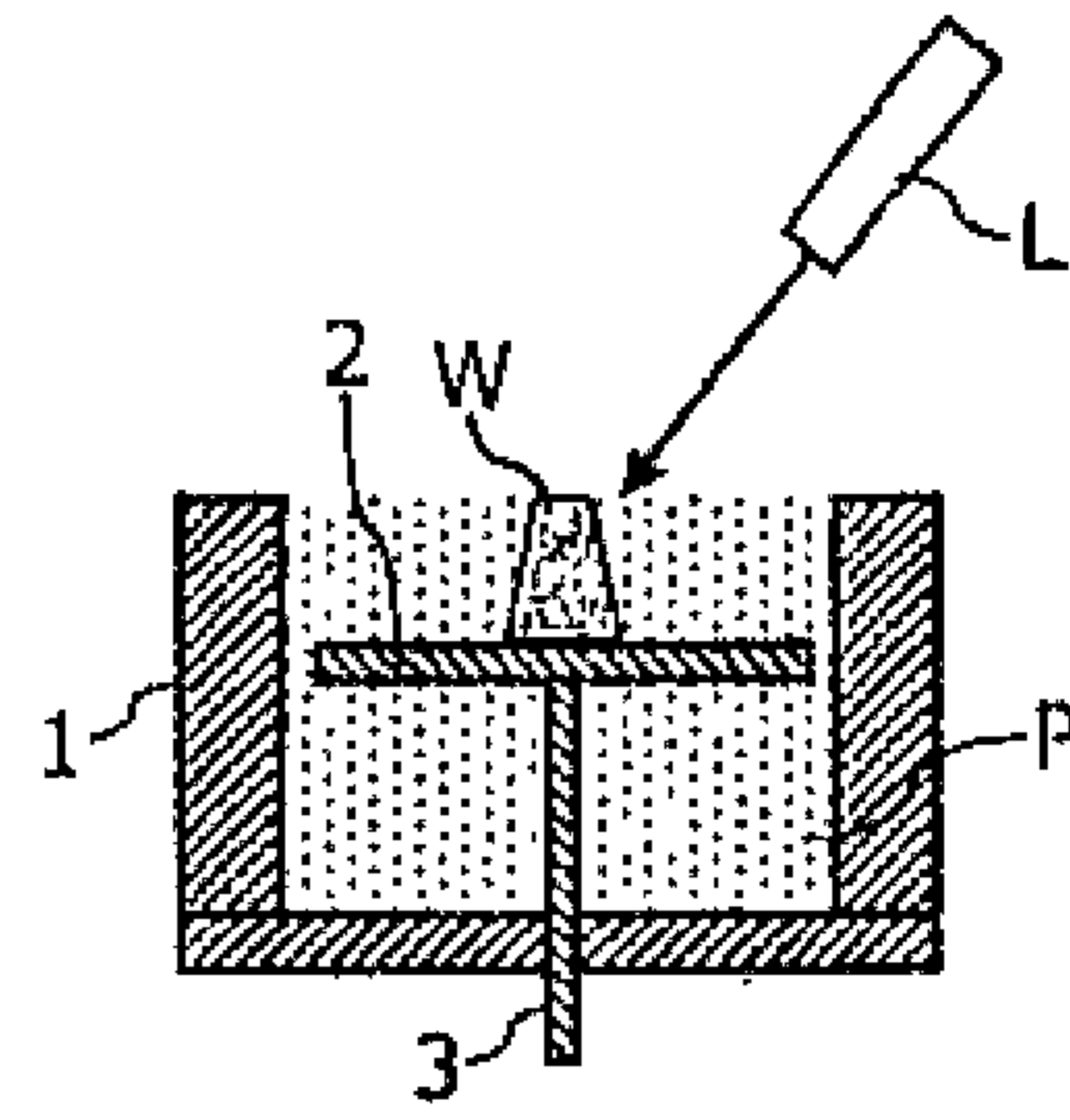
### Patentansprüche

1. System (10) zur additiven Fertigung von Bauteilen (W), umfassend:  
einen Pulveraufnahmebehälter (1), welcher dazu ausgelegt ist, ein als Ausgangsstoff für ein zu fertigendes Bauteil (W) pulverförmiges Material (P) aufzunehmen;  
eine innerhalb des Pulveraufnahmebehälters (1) gelagerte Bauplattform (2), welche gegenüber dem Pulveraufnahmebehälter (1) um eine Rotationsachse (3) drehbar gelagert ist;  
einen Absenkantrieb (4, 5), welcher dazu ausgelegt ist, die Bauplattform (2) innerhalb des Pulveraufnahmebehälters (1) schrittweise oder kontinuierlich abzusenken; und  
eine Energieeintragseinrichtung (L), welche über einer Öffnung des Pulveraufnahmebehälters (1) angeordnet ist und dazu ausgelegt ist, an einer Oberfläche eines in dem Pulveraufnahmebehälter (1) eingebrachten pulverförmigen Materials (P) eine lokal selektive Schmelzung oder Aushärtung desselben durchzuführen, dadurch gekennzeichnet, dass die Bauplattform (2) gegenüber der Rotationsachse (3) der drehbaren Lagerung um einen Neigungswinkel ( $\theta$ ) kippbar ist.
2. System (10) gemäß Anspruch 1, wobei das pulverförmige Material (P) ein metallisches Pulver aufweist.
3. System (10) gemäß einem der Ansprüche 1 und 2, wobei der Pulveraufnahmebehälter (1) und/oder die Bauplattform (2) eine zylindrische Form aufweisen.
4. System (10) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, weiterhin mit:  
einem Pulverreservoir (S), welches dazu ausgelegt ist, zusätzliches pulverförmiges Material (PS) in den Pulveraufnahmebehälter (1) nachzuführen; und  
einer Pulverabtragsvorrichtung (D), welche dazu ausgelegt ist, das aus dem Pulverreservoir (S) zusätzlich nachgeführte pulverförmige Material (PS) an der Pulveroberfläche zur Glättung der Oberfläche abzutragen.
5. System (10) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Absenkantrieb ein durch einen Absenkantriebsmotor (5) angetriebenes Schneckengetriebe (4) aufweist.
6. System (10) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, weiterhin mit:  
einem mit der Rotationsachse (3) starr verbundenen Drehtisch (9); und  
einem oder mehreren Kugellagern (8), welche die Bauplattform (2) drehbar auf dem Drehtisch (9) lagern.
7. System (10) gemäß Anspruch 6, weiterhin mit:  
einem Drehantriebsmotor (6); und  
einer durch den Drehantriebsmotor (6) angetriebenen Drehantriebswelle (7), welche die Bauplattform (2) zur Drehung um die Rotationsachse (3) auf dem Drehtisch (9) antreibt.
8. System (10) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Energieeintragseinrichtung (L) einen punktförmig oder linienförmig auf die Pulveroberfläche fokussierten Laser (L) umfasst.
9. Verfahren (M) zur additiven Fertigung von Bauteilen (W), mit den Schritten:  
Einbringen (M1) eines pulverförmigen Materials (P) für ein Pulverbett als Ausgangsstoff für ein zu fertigendes Bauteil (W) in einem Pulveraufnahmebehälter (1);  
lokal selektives Schmelzen oder Aushärten (M2) des pulverförmigen Materials (P) an einer Oberfläche des Pulverbetts durch eine über einer Öffnung des Pulveraufnahmebehälters (1) angeordnete Energieeintragseinrichtung (L);  
Drehen (M3) einer innerhalb des Pulveraufnahmebehälters (1) drehbar gelagerten Bauplattform (2) um eine Rotationsachse (3) während des lokal selektiven Schmelzens oder Aushärtens; und  
schrittweises oder kontinuierliches Absenken (M4) der Bauplattform (2) innerhalb des Pulveraufnahmebehälters (1), dadurch gekennzeichnet, dass die Bauplattform (2) während des Drehens (M3) gegenüber der Rotationsachse (3) um einen Neigungswinkel ( $\theta$ ) gekippt ist.
10. Verfahren (M) gemäß Anspruch 9, wobei das pulverförmige Material (P) ein metallisches Pulver aufweist.
11. Verfahren (M) gemäß einem der Ansprüche 9 und 10, wobei der Pulveraufnahmebehälter (1) und/oder die Bauplattform (2) eine zylindrische Form aufweisen.
12. Verfahren (M) gemäß einem der Ansprüche 9 bis 11, wobei das lokal selektive Schmelzen oder Aushärten (M2) mithilfe eines punktförmig oder linienförmig auf die Pulveroberfläche fokussierten Laser (L) durchgeführt wird.
13. Verfahren (M) gemäß einem der Ansprüche 9 bis 12, weiterhin mit Schritt:  
Ändern des Neigungswinkels ( $\theta$ ) nach einem jeweiligen Absenken (M4) der Bauplattform (2) um eine vorbestimmte Distanz.
14. Verfahren (M) gemäß Anspruch 13, wobei nach einem Ändern des Neigungswinkels ( $\theta$ ) der Bauplattform (2) zusätzliches pulverförmiges Material (PS) aus einem Pulverreservoir (S) in den Pulveraufnahmebehälter (1) nachgeführt wird.

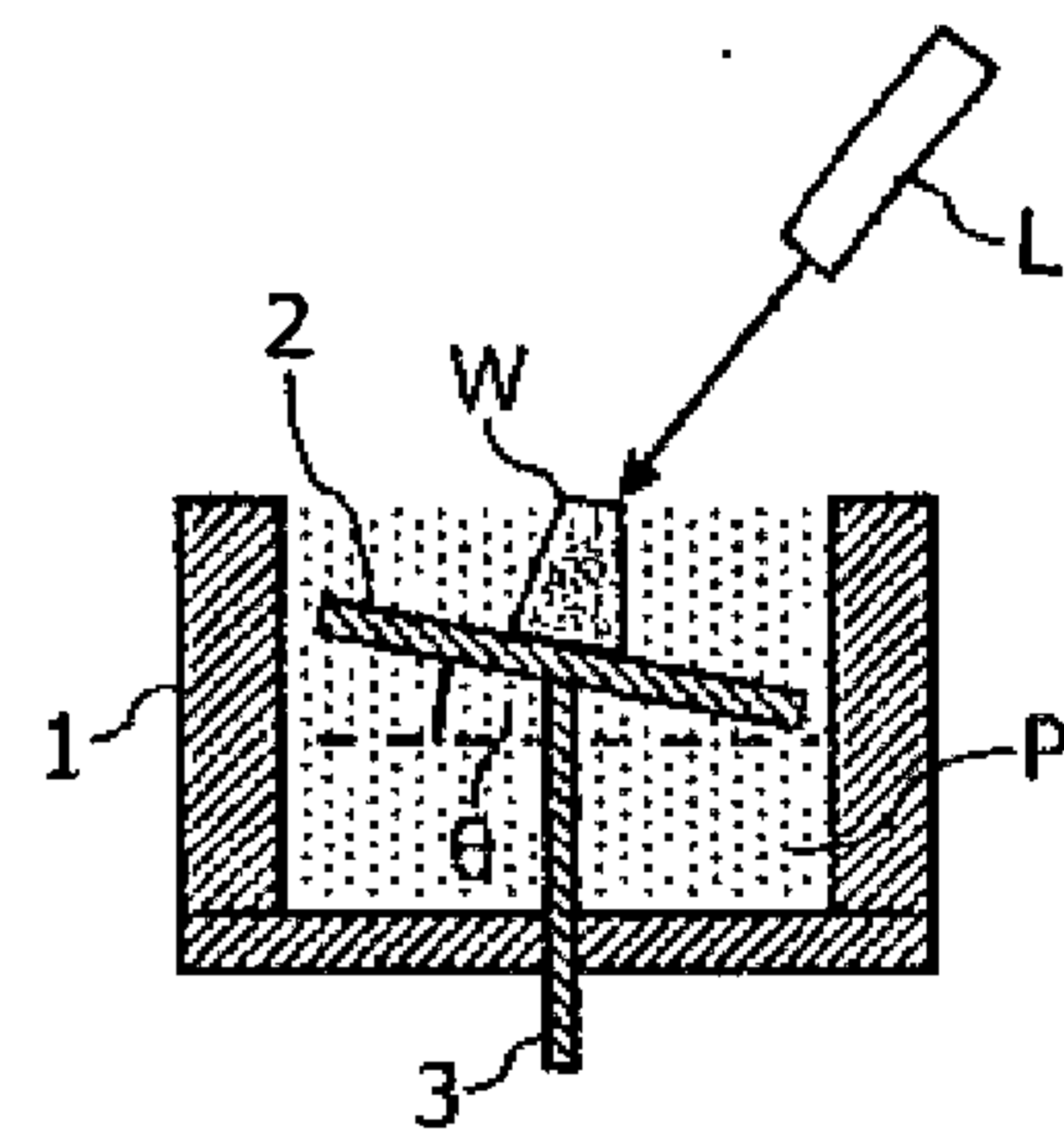
15. Nicht-flüchtiges computerlesbares Speichermedium (20), auf welchem computerausführbare Anweisungen gespeichert sind, die bei Ausführung mittels einem System (10) zur additiven Fertigung von Bauteilen das System (10) dazu veranlassen, die Schritte eines Verfahrens (M) zur additiven Fertigung von Bauteilen (W) gemäß einem der Ansprüche 9 bis 14 auszuführen.



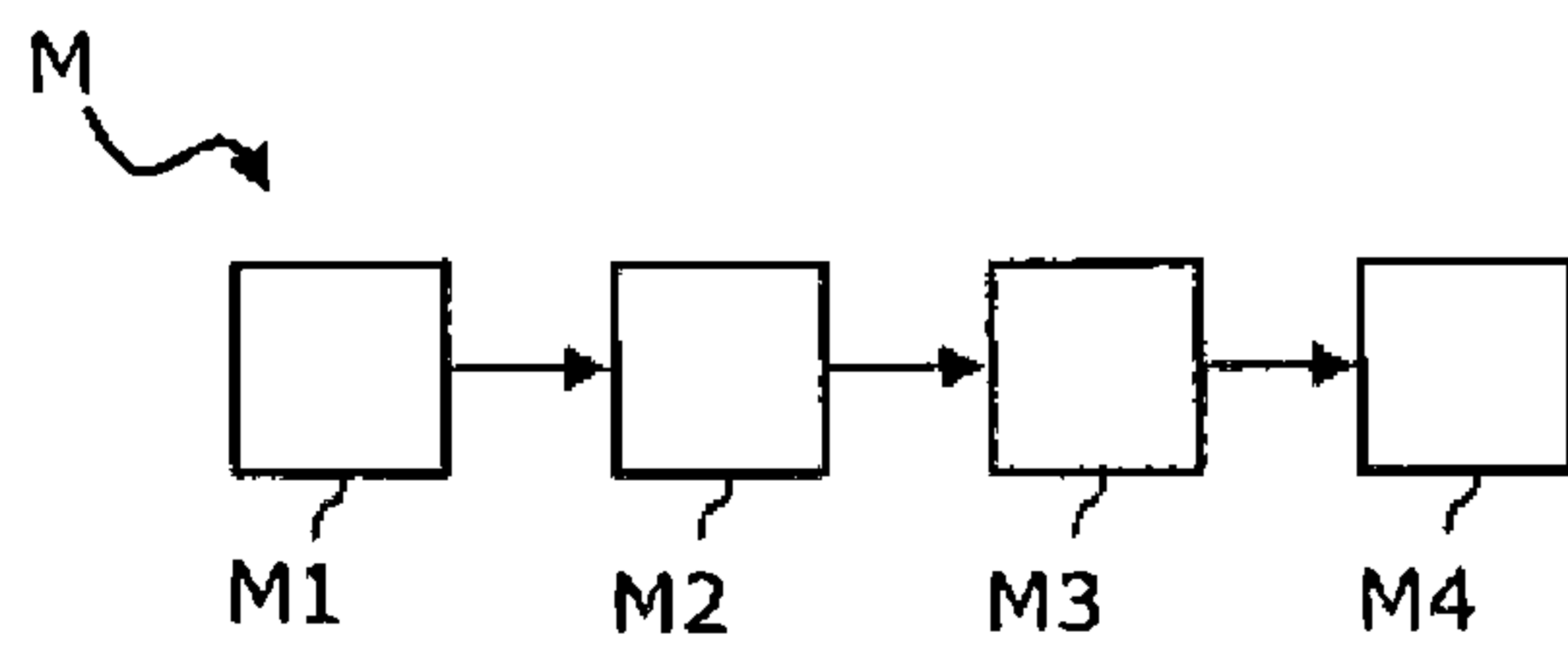
**Fig. 1**



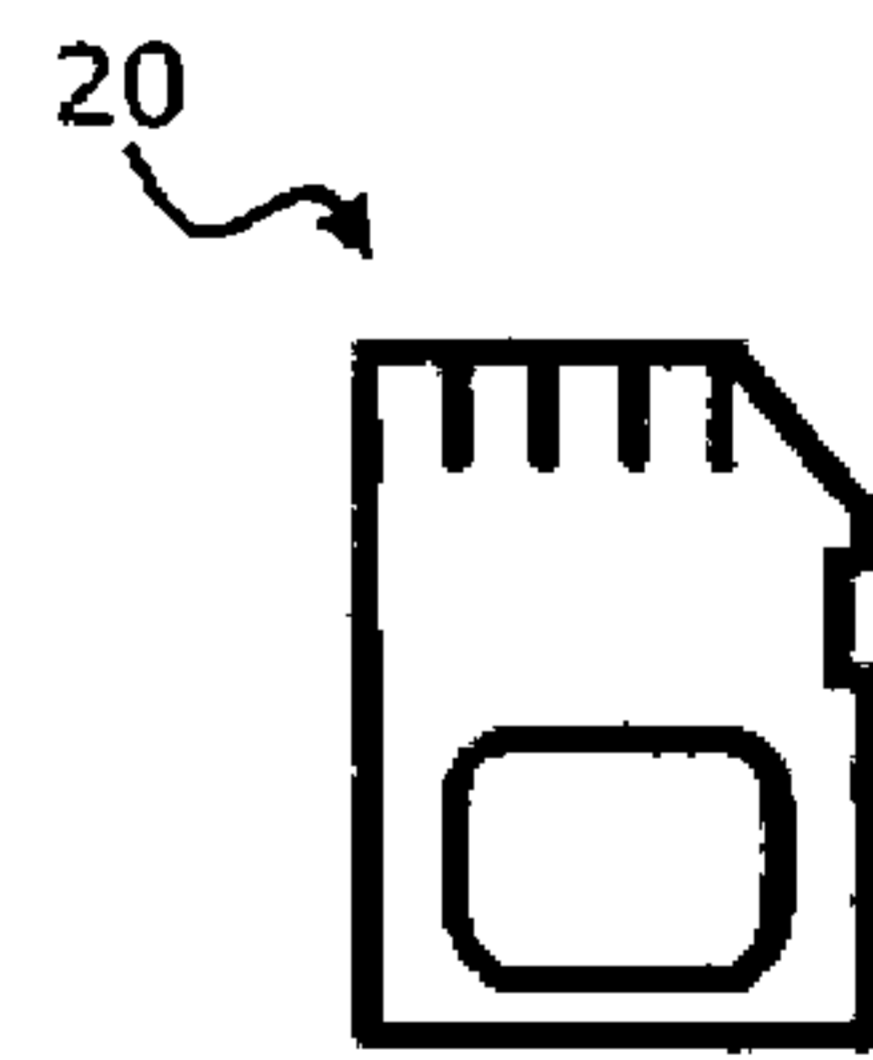
**Fig. 2**



**Fig. 3**



**Fig. 4**



**Fig. 5**