



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 10 2004 009 126 A1 2005.09.22**

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 009 126.9**

(22) Anmeldetag: **25.02.2004**

(43) Offenlegungstag: **22.09.2005**

(51) Int Cl.7: **B22F 3/105**  
**A61C 13/20**

(71) Anmelder:  
**BEGO Medical AG, 28359 Bremen, DE**

(74) Vertreter:  
**Eisenführ, Speiser & Partner, 28195 Bremen**

(72) Erfinder:  
**Uckelmann, Ingo, 28309 Bremen, DE;**  
**Hagemeister, Frank, 28215 Bremen, DE; Vagt,**  
**Carsten, 28876 Oyten, DE**

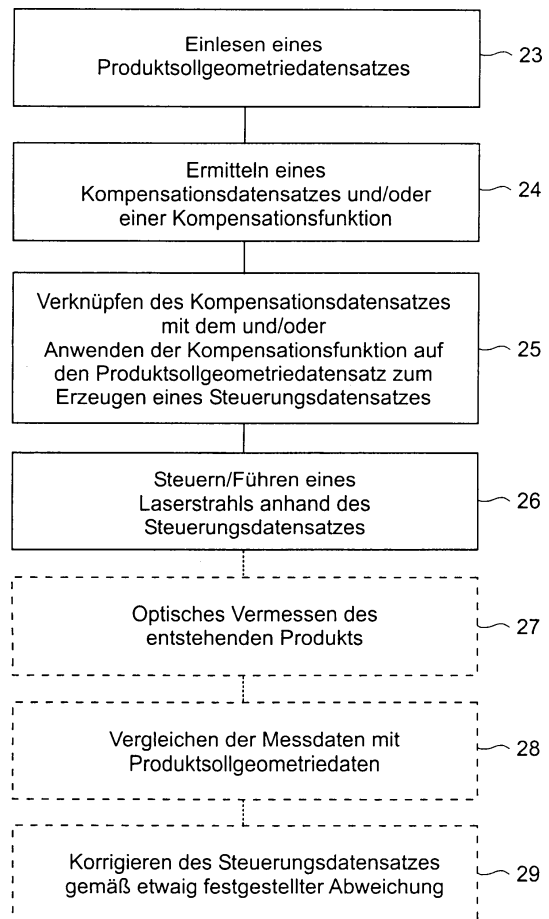
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Einrichtung zum Erzeugen von Steuerungsdatensätzen für die Herstellung von Produkten durch Freiform-Sintern bzw. -Schmelzen sowie Vorrichtung für diese Herstellung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erzeugen von Steuerungsdatensätzen für die Herstellung von metallischen und/oder nicht-metallischen Produkten 2, 21 durch Freiform-Sintern und/oder -Schmelzen mittels eines hochenergetischen Strahls 8, insbesondere Laser- oder Elektronenstrahls, wobei ein Produkt 2, 21 mittels dieses anhand eines Steuerungsdatensatzes geführten Strahls 8 aus einem schichtweise auszubringenden Werkstoff 6 Schicht für Schicht 12 bis 15, 20, 22 aufgebaut wird, wobei das Verfahren die Schritte des Einlesens 23 eines Produktsollgeometriedatensatzes, der die Sollgeometrie des herzustellenden Produkts repräsentiert, und des Erzeugens 25 des Steuerungsdatensatzes, ausgehend von dem Produktsollgeometriedatensatz, aufweist. Zur Verbesserung der Maßhaltigkeit umfasst dieses Verfahren die weiteren Schritte des Ermitteln 24 eines Kompensationsdatensatzes und/oder einer Kompensationsfunktion zur Kompensation von durch das Sintern und/oder Schmelzen bedingten fertigungstechnischen Einflüssen und des Verknüpfens 25 des Kompensationsdatensatzes und/oder Anwendens der Kompensationsfunktion auf den Produktsollgeometriedatensatz zum Erzeugen des Steuerungsdatensatzes.

Die Erfindung betrifft ferner eine entsprechende Einrichtung 11 zur Durchführung eines derartigen Verfahrens sowie eine entsprechend gesteuerte Vorrichtung 1 zur Herstellung derartiger Produkte 2, 21.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Einrichtung zum Erzeugen von Steuerungsdatensätzen für die Herstellung von metallischen und/oder nichtmetallischen Produkten, insbesondere Dentalprodukten oder medizinischen Produkten, durch Freiform-Sintern und/oder -Schmelzen mittels eines hochenergetischen Strahls, insbesondere Laser- oder Elektronenstrahls, wobei ein Produkt mittels dieses anhand eines Steuerungsdatensatzes geführten Strahls aus einem schichtweise aufzubringenden Werkstoff Schicht für Schicht aufgebaut wird. Das Verfahren umfasst dabei die Schritte des Einlesens eines Produktsollgeometriedatensatzes, der die Sollgeometrie des herzustellenden Produkts repräsentiert und des Erzeugens des Steuerungsdatensatzes ausgehend von dem Produktsollgeometriedatensatz. In entsprechender Weise weist die Einrichtung zum Erzeugen von Steuerungsdatensätzen Mittel zum Einlesen eines Produktsollgeometriedatensatzes, der die Sollgeometrie des herzustellenden Produkts repräsentiert, und Mittel zum Erzeugen des Steuerungsdatensatzes ausgehend von dem Produktsollgeometriedatensatz auf.

**[0002]** Die Erfindung betrifft ferner eine Vorrichtung zum Herstellung derartiger Produkte durch Freiform-Sintern und/oder -Schmelzen mittels eines hochenergetischen Strahls, insbesondere Laser- oder Elektronenstrahls, wobei die Vorrichtung aufweist: eine Strahlquelle zum Erzeugen dieses Strahls, eine Plattform zur Aufnahme eines schichtweise aufbringbaren Werkstoffs und eine Steuerung zum Steuern des Strahls, mittels derer der Strahl datengesteuert geführt werden kann, um ein Produkt aus dem Werkstoff Schicht für Schicht aufzubauen.

**Stand der Technik**

**[0003]** Derartige Verfahren, Einrichtungen und Vorrichtungen sind bekannt. Sie werden unter anderem im Bereich der Herstellung von Dentalprodukten, wie beispielsweise Zahnkronen, Zahnbrücken, Implantaten, etc. eingesetzt. Sie können aber auch für andere Produkte verwendet werden.

**[0004]** Regelmäßig werden jedoch an die Präzision und Maßhaltigkeit derartiger Produkte hohe Anforderungen gestellt. Insbesondere im Bereich der Herstellung von Dentalprodukten werden Genauigkeiten von weniger als einem Zehntel Millimeter angestrebt. Derart hohe Genauigkeiten werden jedoch von den bekannten Sinter- bzw. Schmelzsystemen nicht in ausreichendem Maße erzielt.

**Aufgabenstellung**

**[0005]** Der Erfindung liegt daher das technische Problem zugrunde, die Maßhaltigkeit der durch Frei-

form-Sintern und/oder -Schmelzen mittels eines hochenergetischen Strahls, insbesondere Laser- oder Elektronenstrahls, hergestellten Produkte zu verbessern.

**[0006]** Die Erfindung löst dieses Problem bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch, dass dieses Verfahren ferner die Schritte des Ermitteln eines Kompensationsdatensatzes und/oder einer Kompensationsfunktion zur Kompensation von durch das Sintern und/oder -Schmelzen bedingten fertigungstechnischen Einflüssen und des Verknüpfens des Kompensationsdatensatzes und/oder Anwenden der Kompensationsfunktion auf den Produktsollgeometriedatensatz zum Erzeugen des Steuerungsdatensatzes aufweist.

**[0007]** Die Erfindung löst dieses Problem ferner durch eine Einrichtung der eingangs genannten Art, die Mittel zum Ermitteln eines Kompensationsdatensatzes und/oder einer Kompensationsfunktion zur Kompensation von durch Sintern und/oder -Schmelzen bedingten fertigungstechnischen Einflüssen und Mittel zum Verknüpfen des Kompensationsdatensatzes und/oder Anwenden der Kompensationsfunktion auf den Produktsollgeometriedatensatz zum Erzeugen des Steuerungsdatensatzes aufweist.

**[0008]** Schließlich löst die Erfindung dieses Problem durch eine Vorrichtung der eingangs genannten Art, bei der die Steuerung eine vorstehend bezeichnete Einrichtung zum Erzeugen von Steuerungsdaten zum Führen des Strahls aufweist.

**[0009]** Die Erfindung hat erkannt, dass fertigungstechnisch bedingte Einflüsse, das heißt durch Sintern und/oder -Schmelzen mittels eines hochenergetischen Strahls bedingte Einflüsse, die Maßhaltigkeit der herzustellenden Produkte negativ beeinflussen können.

**[0010]** Beim Freiform-Sintern bzw. -Schmelzen mittels eines hochenergetischen Strahls wird ein Produkt dadurch gebildet, dass ein hochenergetischer Strahl, bspw. Laserstrahl oder Elektronenstrahl, einen in der Regel pulverförmig vorliegenden Werkstoff abschnittsweise bestrahlt, wodurch der Werkstoff erhitzt und aufgeschmolzen wird, so dass er sich mit dem jeweils benachbarten Werkstoff verbindet.

**[0011]** Dieser schichtweise Aufbau führt jedoch dazu, dass bei Produkten mit zur Horizontalen bzw. Vertikalen geneigten (seitlichen) Abschnitten eine neu aufzubringende Schicht sich in einen Bereich erstreckt, unterhalb dessen sich kein Abschnitt des herzustellenden Produkts befindet. Das heißt die neu herzustellende Schicht steht seitlich gegenüber der zuvor hergestellten Schicht hervor.

**[0012]** Die Erfindung hat aber erkannt, dass in die-

sen hervorstehenden Bereichen aufgeschmolzenes Werkstoffmaterial sich in den Bereich der darunter liegenden Schicht erstreckt. In diesem Bereich entstehen sogenannte Schmelzkugeln, das heißt kugel- bzw. teilkugelförmige Ausstülpungen des Produkts, welche die Abmessungen des Produkts verfälschen. In diesen Bereichen wird das Produkt dadurch dicker als ursprünglich geplant.

**[0013]** Die Erfindung hat ferner erkannt, dass infolge des schichtweisen Aufbaus und des Verbindens von Schichten unterschiedlicher Temperatur wegen einer unterschiedlichen Wärmeausdehnung innerhalb der verschiedenen Schichten Spannungen innerhalb der Schichten entstehen. Diese Spannungen führen zu Verformungen, sobald das Produkt von einem Träger, der sogenannten Substratplatte, gelöst wird.

**[0014]** Die durch diese beispielhaft aufgezeigten Einflüsse entstehenden Veränderungen des tatsächlich hergestellten Produkts gegenüber dem geplanten Produkt werden gemäß der Erfindung dadurch kompensiert, dass zunächst ein Kompensationsdatensatz und/oder eine Kompensationsfunktion ermittelt wird. Anschließend wird dieser Kompensationsdatensatz mit dem Datensatz der Produktsollgeometrie verknüpft bzw. die Kompensationsfunktion auf diesen Produktsollgeometriedatensatz angewendet um den Steuerungsdatensatz zu erzeugen, mittels dessen der hochenergetische Strahl während des Sinterns und/oder Schmelzens geführt wird.

**[0015]** Dank der somit ermittelten Kompensationsfunktion bzw. des Kompensationsdatensatzes können die negativen fertigungstechnischen Einflüsse des Sinterns bzw. Schmelzens mittels eines hochenergetischen Strahls weitgehend ausgeglichen werden, so dass die Maßhaltigkeit substantiell erhöht werden kann.

**[0016]** Bevorzugt wird der Kompensationsdatensatz bzw. die Kompensationsfunktion in Abhängigkeit von der Größe und der Form bzw. einem Neigungswinkel einer tangential an einer äußeren Oberfläche des herzustellenden Produkts anliegenden Ebene zu einer Bezugsebene, bspw. einer horizontalen Bezugsebene, ermittelt. Dabei wird insbesondere eine senkrecht zu dieser tangentialen Ebene bestimmte Dicke des herzustellenden Produkts mittels des Kompensationsdatensatzes bzw. der Kompensationsfunktion in Abhängigkeit dieses Neigungswinkels reduziert. Auf diese Weise kann der Einfluss der o.g. Schmelzkugeln bzw. Schmelzteilkugeln auf die Dicke des herzustellenden Produkts bzw. Produktabschnitts ausgeglichen werden. Etwaige Fehler bezüglich der Abmessungen des Produkts, insbesondere im Bereich geneigter Abschnitte, werden somit weitestgehend vermieden.

**[0017]** Bevorzugt ist die Kompensationsfunktion stetig und differenzierbar. Insbesondere weist die Kompensationsfunktion ein Polynom zweiten, dritten, vierten und/oder höheren Grades auf. Es hat sich gezeigt, dass mittels einer derartigen Kompensationsfunktion die Effekte der unterschiedlichen temperaturbedingten und geometriebedingten Spannungen, die durch den schichtweisen Aufbau des Produkts entstehen, zufriedenstellend kompensiert werden können.

**[0018]** Bei einer besonderen Ausführungsform werden mehrere Kompensationsfunktionen jeweils für unterschiedliche Bereiche des herzustellenden Produkts verwendet. Bei einer weiteren Ausführungsform ist der Grad des Polynoms einer solchen Kompensationsfunktion ebenfalls abhängig von dem jeweiligen Bereich des herzustellenden Produkts.

**[0019]** Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird für Bereiche des herzustellenden Produkts mit einfacher Geometrie ein Polynom niedrigen Grades und für Bereiche des herzustellenden Produkts mit komplexerer Geometrie ein Polynom höheren Grades verwendet. Der Grad des jeweiligen Polynoms bestimmt auch den Rechenaufwand. Der Rechenaufwand steigt naturgemäß mit dem Grad des Polynoms. Daher wird vorteilhafterweise nur ein derartiges Polynom verwendet, das einen möglichst geringen Grad aufweist, so dass zufriedenstellende Kompensationsergebnisse erreicht werden können. Da die Effekte der temperaturbedingten Spannungen aber von der Geometrie des herzustellenden Produkts abhängen, sind die Auswirkungen dieser Spannungen an unterschiedlichen Bereichen des herzustellenden Produkts ebenfalls unterschiedlich. Es genügt daher in der Regel bei kompakteren Geometrien eine einfachere Kompensationsfunktion zu verwenden und bei komplexeren bzw. filigraneren Geometrien eine komplexere Kompensationsfunktion. Somit kann auf vorteilhafte Weise der Rechenaufwand reduziert und somit die Effizienz der verwendeten Sinter- bzw. Schmelzvorrichtung erhöht werden.

**[0020]** Bei einer weiteren besonderen Ausführungsform wird nur für bestimmte Bereiche des herzustellenden Produkts die Kompensationsfunktion auf den Produktgeometriedatensatz angewendet. Bspw. wird nur für Verbinderbereiche einer herzustellenden dentalen Brücke als Zahnersatz die Kompensationsfunktion auf den Produktgeometriedatensatz angewendet. Bei derartigen herzustellenden Produkten hat sich nämlich gezeigt, dass sich besondere Spannungen in diesen Verbinderbereichen ergeben, während die Spannungen in den relativ kompakt ausgebildeten, einen Zahn repräsentierenden Bereichen die Effekte der temperaturbedingten Spannungen wesentlich weniger schwerwiegend ausfallen. Mit einer derartigen selektiven Anwendung der Kompensationsfunktion kann ebenfalls der Rechenaufwand redu-

ziert und damit die Rechenleistung der verwendeten Vorrichtung besser ausgenutzt werden.

**[0021]** Besonders bevorzugt wird der Kompensationsdatensatz und/oder die Kompensationsfunktion anhand von wenigstens einem Parameter von einer Gruppe von Parametern ermittelt, die folgendes umfasst: den Elastizitätsmodul, die Solidustemperatur, den Wärmeausdehnungskoeffizienten, die Zugfestigkeit und die elastische Dehngrenze des Werkstoffs; eine Bearbeitungskammertemperatur, welche die Temperatur innerhalb einer den zu bearbeitenden Werkstoff umgebenden Bearbeitungskammer repräsentiert; eine Bearbeitungstemperatur, welche die Temperatur des vom hochenergetischen Strahl bestrahlten Bereichs des Werkstoffs repräsentiert; die Schichtdicke, welche die Dicke einer aufgetragenen Werkstoffschicht repräsentiert; die Leistung der Strahlquelle, insbesondere des Lasers oder der Elektronenstrahlquelle, bzw. die Leistung des Strahls, insbesondere des Laserstrahls bzw. des Elektronenstrahls, während des Vorgangs des Sinterns bzw. Schmelzens; die Verfahrensgeschwindigkeit des Strahls; die Bestrahlungsstrategie; die Geometrie und insbesondere die Höhe des herzustellenden Produkts sowie die Art einer etwaigen Nachbehandlung des Produkts nach dem Sintern bzw. Schmelzen. Es hat sich gezeigt, dass durch Berücksichtigung dieser Parameter bzw. eines Teils dieser Parameter eine substantielle Kompensation der fertigungstechnisch bedingten Einflüsse erzielt werden kann.

**[0022]** Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird während und/oder nach dem Bestrahlen einer Werkstoffschicht eine entstehende bzw. entstandene Kontur des Produkts optisch vermessen. Die auf diese Weise gewonnenen Messdaten werden mit den Daten des Produktsollgeometriedatensatzes verglichen. Beim Feststellen einer Abweichung wird der Steuerungsdatensatz entsprechend der festgestellten Abweichung korrigiert. Durch ein derartiges optisches Vermessen des Produkts während seiner Entstehung und gleichzeitig vorgenommener Korrekturen der Steuerungsdaten kann die Genauigkeit und Maßhaltigkeit des herzustellenden Produkts auf vorteilhafte Weise weiter verbessert werden.

#### Ausführungsbeispiel

**[0023]** Weitere bevorzugte Ausführungsformen ergeben sich aus den anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläuterten Ausführungsbeispiele. Es zeigt:

**[0024]** [Fig. 1](#) eine schematische Schnittansicht einer Vorrichtung zum Herstellen von Produkten durch Freiform-Lasersintern und/oder -schmelzen gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

**[0025]** [Fig. 2](#) eine schematische Schnittansicht zur Veranschaulichung des schichtweisen Aufbaus von mittels einer Vorrichtung gemäß [Fig. 1](#) hergestellten Produkten gemäß einem idealen theoretischen Modell;

**[0026]** [Fig. 3](#) eine [Fig. 2](#) entsprechende schematische Darstellung eines real hergestellten Produktes;

**[0027]** [Fig. 4](#) eine schematische seitliche Schnittansicht einer ersten lasergesinterten bzw. lasergeschmolzenen Schicht des herzustellenden Produktes, das mittels mehrerer Stützen mit einer darunter liegenden Substratplatte verbunden ist;

**[0028]** [Fig. 5](#) das Produkt aus [Fig. 4](#) mit einer weiteren aufgetragenen Schicht;

**[0029]** [Fig. 6](#) das Produkt aus [Fig. 5](#), jedoch im von den Stützen abgetrennten Zustand und

**[0030]** [Fig. 7](#) ein Flussdiagramm zur Veranschaulichung der Verfahrensschritte eines Verfahrens zum Erzeugen von Steuerungsdatensätzen für den Laserstrahl gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

**[0031]** [Fig. 1](#) zeigt eine Vorrichtung **1** zum Herstellen von metallischen und/oder nicht-metallischen Produkten **2**, insbesondere von Dentalprodukten, wie Zahnkronen, -brücken, -implantaten etc., oder medizinischen Produkten, wie z.B. Prothesen, durch Freiform-Lasersintern und/oder -schmelzen. Die Vorrichtung **1** weist einen Tisch **3** mit einer höhenverstellbaren Plattform **4** auf, auf der eine Substratplatte **5** liegt. Die Plattform **4** ist über einen nicht dargestellten Antrieb in ihrer Höhe schrittweise, insbesondere in an die Größe von Pulverkörnern eines in Pulverform vorliegenden Werkstoffs **6** angepassten Schritten, verstellbar.

**[0032]** Die Vorrichtung **1** weist ferner einen oberhalb des Tisches **3** angeordneten Laser **7**, beispielsweise einen CO<sub>2</sub>-Laser, auf, dessen Strahl **8** durch eine geeignete Vorrichtung, insbesondere ein computergesteuertes Spiegelgalvanometer **9**, geführt wird.

**[0033]** Die Vorrichtung **1** weist ferner einen Beschichtungsmechanismus **10** auf, mittels dessen der pulverförmige Werkstoff **6** gleichmäßig über die Oberfläche des Tisches **3** verteilt wird, so dass insbesondere der Raum zwischen der Oberfläche der Plattform **4** und der Oberfläche des Tisches **3** bis an die Oberfläche des Tisches **3** mit pulverförmigem Werkstoff **6** aufgefüllt wird.

**[0034]** Die Herstellung eines Produkts **2** verläuft wie folgt: Zunächst befindet sich die Plattform **4** in einer oberen Ausgangsposition. Sodann wird der Laser **7** aktiviert und sein Laserstrahl **8** auf den pulverförmigen

gen Werkstoff **6** gerichtet. Der Laserstrahl **7** verfestigt und schmilzt aufgrund der von ihm erzeugten Hitze den pulverförmigen Werkstoff **6**, der – je nach Höhe der auf den pulverförmigen Werkstoff **6** aufgebrachten Energie – mit umgebenden Pulverkörnern gesintert bzw. verschmolzen wird. Der Laserstrahl **8** wird mittels eines Steuerungsdatensatzes geführt. Er bestrahlt entsprechend dieser Führung vorbestimmte Positionen des pulverförmigen Werkstoffs **6**. An den vom Laserstrahl **8** bestrahlten Bereichen entsteht eine feste Schicht verschmolzenen oder gesinterten Werkstoffmaterials.

**[0035]** Sobald eine Schicht fertiggestellt ist, wird der Laser **7** deaktiviert und die Plattform **4** um eine Schichtdicke, die beispielsweise an den durchschnittlichen Durchmesser der Pulverkörner des Werkstoffs **6** angepasst ist, abgesenkt. Mittels des Beschichtungsmechanismus **10** wird anschließend eine neue Schicht pulverförmigen Werkstoffs **6** aufgetragen und glattgestrichen. Sodann wird der Laser **7** erneut aktiviert und der Laserstrahl **7** fährt erneut computergesteuert vorbestimmte Positionen ab, innerhalb derer der pulverförmige Werkstoff **6** mit der zuvor erzeugten Schicht verschmolzen oder aufgesintert wird, oder auch an hieran angrenzende oder auch nicht-angrenzende Bereiche. Dieser Prozess des Auftragens von Schichten von pulverförmigem Ausgangsmaterial **6** und des Sinterns bzw. Schmelzens dieser Schichten mit den zuvor aufgebrachten Schichten mittels des Laserstrahls **8** wird wiederholt durchgeführt, bis sich das Produkt **2** in der gewünschten Form ausgebildet hat.

**[0036]** Die Vorrichtung **1** weist eine Steuerung **11** auf, mittels derer insbesondere die Aktivierung und die Deaktivierung des Lasers **7** sowie die Positionierung des Laserstrahls **8** über das Spiegelgalvanometer **9** und die Höhenverstellung der Plattform **4** gesteuert wird. Die Koordinierung dieser Komponenten der Vorrichtung **1** gewährleistet im wesentlichen die gewünschte Ausbildung der Produkte **2**.

**[0037]** Die Steuerung **11** weist Mittel zum Einlesen eines Datensatzes von Produktsollgeometriedaten auf, welche die Sollgeometrie des herzustellenden Produktes repräsentieren. Die Steuerung errechnet ausgehend von diesen Sollgeometriedaten einen Steuerungsdatensatz, mittels dessen der Laserstrahl geführt wird. Beispielsweise weist dieser Steuerungsdatensatz Daten zur Verstellung des Spiegelgalvanometers **10** auf, mittels dessen der Auftreffpunkt des Laserstrahls **9** auf der obersten Schicht des Werkstoffs **6** bestimmt wird.

**[0038]** Die Steuerung **11** ermittelt des weiteren einen Kompensationsdatensatz und/oder eine Kompensationsfunktion von nachfolgend beschriebenen fertigungstechnischen Einflüssen, die beim Lasersintern bzw. Laserschmelzen auftreten. Diese Kompen-

sationsdaten werden mit den Sollgeometriedaten verknüpft bzw. es wird die Kompensationsfunktion auf den Sollgeometriedatensatz angewendet, um den vorstehend erläuterten Steuerungsdatensatz zu erzeugen. Auf diese Weise können die nachfolgend detaillierter beschriebenen fertigungstechnischen Einflüsse des Lasersinterns bzw. Laserschmelzens bereits vor der Herstellung der Produkte **2** bzw. vor der Erzeugung der nächsten zu bildenden Schicht des Produkts **2** berücksichtigt werden.

**[0039]** [Fig. 2](#) dient zur Erläuterung eines ersten derartigen fertigungstechnischen Einflusses. [Fig. 2](#) zeigt einen Ausschnitt eines bereits lasergesinterten bzw. lasergeschmolzenen Produktes **2**, das in mehreren Schichten **12**, **13**, **14**, **15** herzustellen ist. Die Schichten **12** bis **15** sind jedoch nicht senkrecht übereinanderliegend angeordnet, sondern jeweils gegeneinander versetzt. Durch den entsprechenden Versatz ergibt sich eine Neigung einer an die Enden der Schichten angelegten tangentialen Ebene mit einem Winkel  $\alpha$  gegenüber der Horizontalen, beispielsweise der Oberseite der Plattform **4**.

**[0040]** In dem in [Fig. 2](#) gezeigten Beispiel weisen die Schichten **12** bis **15** jeweils die gleiche Breite auf, so dass idealer Weise eine schräg gestellte Platte mit der Dicke  $d$  entsteht, die gegenüber der horizontalen Ebene den Winkel  $\alpha$  einnimmt.

**[0041]** [Fig. 3](#) zeigt das in [Fig. 2](#) theoretisch dargestellte Produkt bei einer praktischen Realisierung. Am rechten Ende der Schichten **13** bis **15**, welche jeweils gegenüber der darunter liegenden Schicht **12** bis **14** jeweils um einen bestimmten Abstand versetzt sind, bilden sich während des Lasersinterns bzw. Laserschmelzens sogenannte Schmelzkugeln bzw. Schmelzkugelabschnitte **16**, **17**, **18**. In diesen Bereichen aufgeschmolzener Werkstoff **6** erhitzt nämlich nicht nur exakt das Werkstoffpulver **6** innerhalb der Dicke einer Schicht **13**, **14**, **15**, sondern auch das umgebende Werkstoffpulver **6**, welches dabei aufgeschmolzen wird und in der flüssigen Phase nach unten fließt und dabei die Schmelzkugeln **16**, **17**, **18** bildet.

**[0042]** Die Schmelzkugeln **16** bis **18** führen zu einer vergrößerten Dicke  $d'$  gegenüber der in [Fig. 2](#) dargestellten Dicke  $d$ .

**[0043]** Dieser fertigungstechnisch bedingter Einfluss auf die Dicke des herzustellenden Produkts ist u.a. abhängig von dem Neigungswinkel  $\alpha$ . Je größer der Winkel  $\alpha$ , das heißt der Winkel der tangentialen Ebene gegenüber der horizontalen Ebene ist, desto geringer ist die Verfälschung der Dicke  $d'$  gegenüber der in [Fig. 2](#) dargestellten theoretischen Dicke  $d$ .

**[0044]** [Fig. 4](#) bis [Fig. 6](#) zeigen einen weiteren fertigungstechnisch bedingten Einfluss auf die Maßhal-

tigkeit des herzustellenden Produkts.

[0045] **Fig. 4** zeigt mehrere Stützen **19**, welche auf eine Substratplatte **5** aufgesintert worden sind, um darauf eine erste Schicht **20** eines herzustellenden Produktes **21** zu bilden. Diese erste Schicht weist eine Höhe  $h$  auf. Die Schicht **20** kühlt jedoch nach dem Aufschmelzen ab. Dadurch zieht sich die Schicht **20** infolge der Abkühlung entsprechend ihrem Wärmeausdehnungskoeffizienten zusammen. Die hieraus resultierende Schrumpfung der Schicht vollzieht sich jedoch im oberen Bereich der Schicht **20** im stärkeren Maße als im unteren Bereich der Schicht **20**, da der untere Bereich der Schicht **20** infolge der Stützen **19** und damit infolge der Verbindung mit der Substratplatte **5** vergleichsweise starr und daher wesentlich weniger nachgiebig ist. Die obere Seite der Schicht **20** schrumpft jedoch am stärksten. Dies ist in **Fig. 4** mittels der gestrichelten Linien an den seitlichen Enden der Schicht **20** dargestellt.

[0046] **Fig. 5** zeigt, wie auf der bereits abgekühlten Schicht **20** eine weitere, zweite Schicht **22** aufgebracht worden ist, welche wiederum infolge der Abkühlung an ihren seitlichen Enden nach oben hin stärker schrumpft als in ihrem unteren Bereich.

[0047] Ein Produkt wird durch eine Vielzahl derartiger Schichten **20**, **22** gebildet, die jeweils infolge der Abkühlung und infolge des Wärmeausdehnungskoeffizienten schrumpfen und daher Spannungen innerhalb des herzustellenden Produktes **21** erzeugen.

[0048] Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass in den **Fig. 4**, **Fig. 5** und **Fig. 6** die Breitenänderungen der Schichten infolge der Abkühlung nicht maßstabsgerecht und stark übertrieben dargestellt sind. Dies dient jedoch zur Veranschaulichung dieses fertigungstechnisch bedingten Einflusses.

[0049] **Fig. 6** zeigt das Produkt **21** aus **Fig. 5**, nachdem die unterste Schicht **20** von den Stützen **19** abgetrennt worden sind, beispielsweise entlang der mit Punkten in **Fig. 5** dargestellten Linie. Sobald das Produkt **21** von den Stützen **19** abgetrennt ist, verformt es sich infolge der vorstehend erläuterten Spannungen innerhalb der Schichten **20**, **22**. Das Produkt **21** wird an seinen seitlichen Enden nach dem Abtrennen von den Stützen **19** nach oben gebogen.

[0050] Diese Biegung entspricht näherungsweise einer mit einem Polynom zweiten Grades zu beschreibenden Biegelinie.

[0051] Dieser Einfluss wird ebenfalls mittels des Kompensationsdatensatzes bzw. der Kompensationsfunktion korrigiert.

[0052] Eine Reihe von Parametern haben Einfluss

auf die Abweichung eines praktisch hergestellten Produkts von seiner theoretischen Vorplanung. Es handelt sich hierbei insbesondere um folgende Parameter:

Den Elastizitätsmodul, die Solidustemperatur, den Wärmeausdehnungskoeffizienten, die Zugfestigkeit und die elastische Dehngrenze des Werkstoffs, die Temperatur innerhalb der Bearbeitungskammer während der Bearbeitung, die Temperatur des von dem Laserstrahl bestrahlten Bereichs des Werkstoffs **6**, die Dicke der Schichten **12** bis **15**, **20**, **22**, die Leistung des Laser **7** bzw. des Laserstrahls **8** während des Lasersinterns bzw. -schmelzens, die Verfahrensgeschwindigkeit des Laserstrahls **8**, das heißt die Geschwindigkeit, mit der der Laserstrahl auf der Oberfläche des Werkstoffs **6** verfahren wird, die Bestrahlungsstrategie, das heißt in welcher Weise der Laser die vorbestimmten, zu bestrahlenden Punkte ggf. wiederholt anfährt, die Geometrie, insbesondere Höhe des herzustellenden Produktes **2**, **21** und die Art einer etwaigen Nachbehandlung des Produkts nach dem Lasersintern bzw. -schmelzen.

[0053] Die genannten Parameter haben unterschiedlichen Einfluss auf die Maßhaltigkeit des herzustellenden Produkts. Es ist daher – je nach der gewünschten Präzision des herzustellenden Produkts – nicht erforderlich, jeweils alle Parameter exakt zu bestimmen. Zwar werden die besten Ergebnisse erzielt, wenn alle Parameter berücksichtigt werden. Jedoch führt eine Berücksichtigung aller Parameter zu einem hohen Aufwand, was sich letztlich in deutlich höheren Produktkosten niederschlägt. Daher wird bei einem besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel nur eine Auswahl der wichtigsten, das heißt einflussreichsten Parameter berücksichtigt.

[0054] **Fig. 7** zeigt ein Flussdiagramm zur Veranschaulichung eines Verfahrens gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung. In einem ersten Schritt **23** werden von der Steuerung **11** die Sollgeometriedaten eines herzustellenden Produkts eingelesen. In einem weiteren Schritt **24** ermittelt die Steuerung **11** einen Kompensationsdatensatz und/oder eine Kompensationsfunktion. In einem weiteren Schritt **25** erfolgt eine Verknüpfung des Kompensationsdatensatzes und/oder eine Anwendung der Kompensationsfunktion auf die Sollgeometriedaten des Produkts zum Erzeugen eines Datensatzes zur Steuerung des Laserstrahls **8**. In einem weiteren Schritt **26** wird der Laserstrahl **8** anhand dieses Steuerungsdatensatzes gesteuert bzw. geführt.

[0055] Bei einem besonderen Ausführungsbeispiel wird während des Lasersinterns bzw. Laserschmelzens in einem weiteren Schritt **27** das entstehende Produkt optisch vermessen. In einem folgenden Schritt **28** werden die auf diese Weise erhaltenen Messdaten mit den Sollgeometriedaten des Produkts verglichen. In einem anschließenden Schritt **29** wer-

den die Steuerungsdaten gemäß einer etwaig festgestellten Abweichung korrigiert, so dass der Laserstrahl dann anhand eines korrigierten Steuerungsdatensatzes gesteuert bzw. geführt wird.

**[0056]** Insgesamt hat die Erfindung erkannt, dass fertigungstechnisch gedingte Einflüsse des Lasersinterns bzw. Laserschmelzens auf die herzustellenden Produkte durch Manipulation der Steuerungsdaten des Laserstrahls kompensiert werden können und somit die Maßhaltigkeit der herzustellenden Produkte substantziell verbessert werden kann.

**[0057]** Vorstehend wurde die Erfindung zwar im Zusammenhang mit Lasersintern bzw. Laserschmelzen erläutert. Die Erfindung ist jedoch nicht auf die Verwendung eines Laserstrahls zum Sintern bzw. Schmelzen beschränkt. Statt eines Laserstrahls kann z.B. auch ein Elektronenstrahl verwendet werden. Daher kann der vorstehend beschriebene Laser ohne weiteres auch durch eine Elektronenstrahlquelle ersetzt werden. Allgemein bezieht sich daher die Erfindung auf jedwede Art eines Sinter- bzw. Schmelzvorgangs, der durch einen hochenergetischen Strahl aus einer entsprechenden Quelle für einen derartigen hochenergetischen Strahl erzeugt wird.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Erzeugen von Steuerungsdatensätzen für die Herstellung von metallischen und/oder nicht-metallischen Produkten (**2, 21**), insbesondere Dentalprodukten oder medizinischen Produkten, durch Freiform-Sintern und/oder -Schmelzen mittels eines hochenergetischen Strahls (**8**), insbesondere Laser- oder Elektronenstrahls, wobei ein Produkt (**2, 21**) mittels dieses anhand eines Steuerungsdatensatzes geführten Strahls (**8**) aus einem schichtweise aufzubringenden Werkstoff (**6**) Schicht für Schicht (**12–15, 20, 22**) aufgebaut wird, wobei das Verfahren die Schritte des Einlesens (**23**) eines Produktsollgeometriedatensatzes, der die Sollgeometrie des herzustellenden Produkts (**2, 21**) repräsentiert, und des Erzeugens (**25**) des Steuerungsdatensatzes ausgehend von dem Produktsollgeometriedatensatz umfasst, gekennzeichnet durch die weiteren Schritte des Ermitteln (**24**) eines Kompensationsdatensatzes und/oder einer Kompensationsfunktion zur Kompensation von durch das Sintern und/oder Schmelzen bedingten fertigungstechnischen Einflüssen und Verknüpfens (**25**) des Kompensationsdatensatzes und/oder Anwendens der Kompensationsfunktion auf den Produktsollgeometriedatensatz zum Erzeugen des Steuerungsdatensatzes aufweist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Kompensationsdatensatz bzw. die Kompensationsfunktion in Abhängigkeit von der Größe

und der Form des herzustellenden Produkts (**2, 21**) ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Kompensationsdatensatz bzw. die Kompensationsfunktion in Abhängigkeit von einem Neigungswinkel ( $\alpha$ ) einer tangential an einer äußeren Oberfläche des herzustellenden Produkts (**2, 21**) anliegenden Ebene zu einer Bezugsebene, insbesondere horizontalen Ebene, ermittelt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass eine senkrecht zu dieser tangentialen Ebene bestimmte Dicke ( $d$ ) des herzustellenden Produkts mittels des Kompensationsdatensatzes bzw. der Kompensationsfunktion in Abhängigkeit dieses Neigungswinkels ( $\alpha$ ) reduziert wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kompensationsfunktion stetig und differenzierbar ist.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Kompensationsfunktion ein Polynom zweiten, dritten, vierten und/oder höheren Grades aufweist.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass für ein Produkt mehrere Kompensationsfunktionen verwendet werden, die sich wenigstens teilweise hinsichtlich ihres Grades unterscheiden.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass für Bereiche eines herzustellenden Produkts mit einfacher Geometrie ein Polynom niedrigen Grades und für Bereich des herzustellenden Produkts mit komplexerer Geometrie ein Polynom höheren Grades verwendet wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass nur für bestimmte Bereiche des herzustellenden Produkts die Kompensationsfunktion auf den Produktgeometriedatensatz angewendet wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass nur für Verbinderbereiche einer herzustellenden Brücke als Zahnersatz die Kompensationsfunktion auf den Produktgeometriedatensatz angewendet wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Kompensationsdatensatz und/oder die Kompensationsfunktion anhand von wenigstens einem Parameter von einer Gruppe von Parametern ermittelt wird, die folgendes umfasst:  
– den Elastizitätsmodul des Werkstoffs (**6**),

- die Solidustemperatur des Werkstoffs (6),
- den Wärmeausdehnungskoeffizienten des Werkstoffs (6),
- die Zugfestigkeit des Werkstoffs (6),
- die elastische Dehnungsgrenze des Werkstoffs (6),
- eine Bearbeitungskammertemperatur, welche die Temperatur innerhalb einer den zu bearbeitenden Werkstoff (6) umgebenden Bearbeitungskammer repräsentiert,
- eine Bearbeitungstemperatur, welche die Temperatur des von dem Strahl (8) bestrahlten Bereichs des Werkstoffs (6) repräsentiert,
- eine Schichtdicke (d), welche eine Dicke einer aufzubringenden bzw. aufgetragenen Werkstoffschicht (12–15, 20, 22) repräsentiert,
- die Leistung der Strahlquelle, insbesondere des Lasers (7) oder der Elektronenstrahlquelle, bzw. die Leistung des Strahls, insbesondere des Laserstrahls (8) bzw. des Elektronenstrahls, während des Vorgangs des Sinterns bzw. Schmelzens,
- die Verfahrensgeschwindigkeit des Strahls (8),
- die Bestrahlungsstrategie,
- die Geometrie des herzustellenden Produkts (2, 21),
- die Höhe des herzustellenden Produkts (2, 21), und
- die Art einer etwaigen Nachbearbeitung des Produkts (2, 21) nach dem Sintern bzw. Schmelzen.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass während und/oder nach dem Bestrahlen einer Werkstoffschicht (12–15, 20, 22) eine entstehende bzw. entstandene Kontur des Produkts (2, 21) optisch vermessen wird und die auf diese Weise gewonnenen Messdaten mit den Daten des Produktsollgeometriedatensatzes verglichen und beim Feststellen einer Abweichung der Steuerungsdatensatz entsprechend der festgestellten Abweichung korrigiert wird.

13. Einrichtung zum Erzeugen von Steuerungsdatensätzen für die Herstellung von metallischen und/oder nicht-metallischen Produkten (2, 21), insbesondere Dentalprodukten oder medizinischen Produkten, durch Freiform-Sintern und/oder -Schmelzen mittels eines hochenergetischen Strahls (8), insbesondere Laser- oder Elektronenstrahls, und zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei ein Produkt (2, 21) mittels dieses anhand eines Steuerungsdatensatzes führbaren Strahls (8) aus einem schichtweise aufbringbaren Werkstoff Schicht für Schicht (12–15, 20, 22) aufbaubar ist, wobei die Einrichtung (11)

- Mittel zum Einlesen (23) eines Produktsollgeometriedatensatzes, der die Sollgeometrie des herzustellenden Produkts (2, 21) repräsentiert, und
- Mittel zum Erzeugen (25) des Steuerungsdatensatzes ausgehend von dem Produktsollgeometriedatensatz aufweist,

gekennzeichnet durch

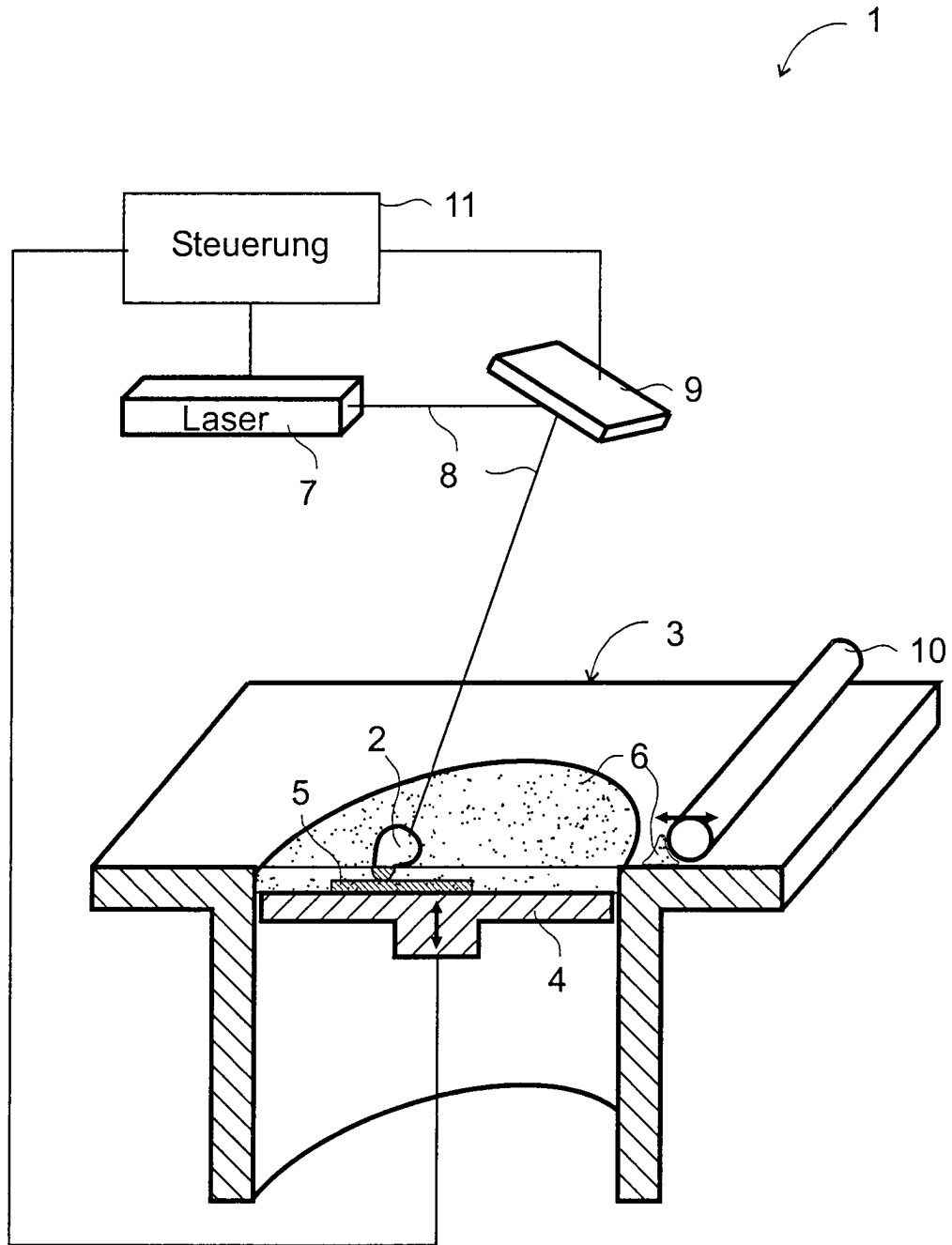
- Mittel zum Ermitteln (24) eines Kompensationsdatensatzes und/oder einer Kompensationsfunktion zur Kompensation von durch Sintern und/oder Schmelzen bedingten fertigungstechnischen Einflüssen und
- Mittel zum Verknüpfen (25) des Kompensationsdatensatzes und/oder Anwenden der Kompensationsfunktion auf den Produktsollgeometriedatensatz zum Erzeugen des Steuerungsdatensatzes.

14. Vorrichtung zur Herstellung von metallischen und/oder nichtmetallischen Produkten (2, 21), insbesondere Dentalprodukten oder medizinischen Produkten, durch Freiform-Sintern und/oder -Schmelzen mittels eines hochenergetischen Strahls (8), insbesondere Laser- oder Elektronenstrahls, wobei die Vorrichtung aufweist:

- eine Strahlquelle (7), insbesondere ein Laser oder eine Elektronenstrahlquelle, zum Erzeugen dieses Strahls (8),
- eine Plattform (4) zur Aufnahme eines schichtweise aufbringbaren Werkstoffs (6) und
- eine Steuerung (11) zum Steuern des Strahls (8), mittels derer der Strahl (8) datengesteuert geführt werden kann, um ein Produkt aus dem Werkstoff (6) Schicht für Schicht (12–15, 20, 22) aufzubauen, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung (11) eine Einrichtung zum Erzeugen von Steuerungsdaten nach Anspruch 13 zum Führen des Strahls (8) aufweist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen





*Fig. 1*

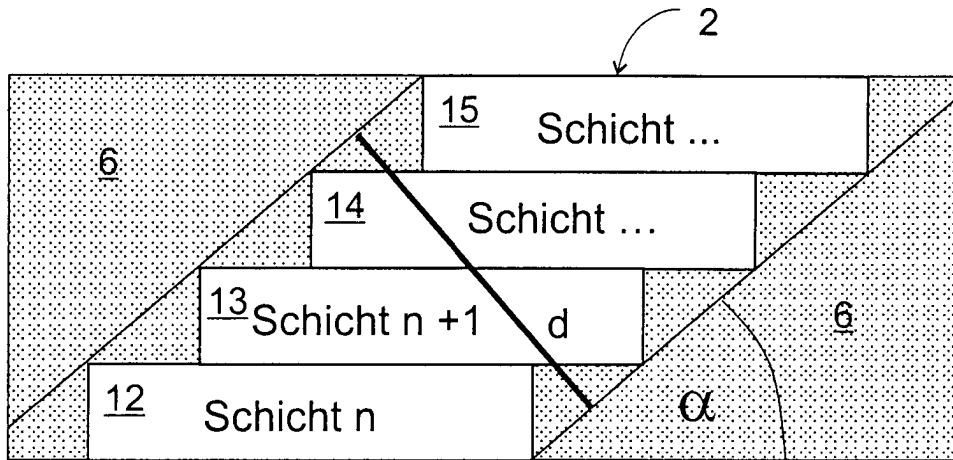


Fig. 2

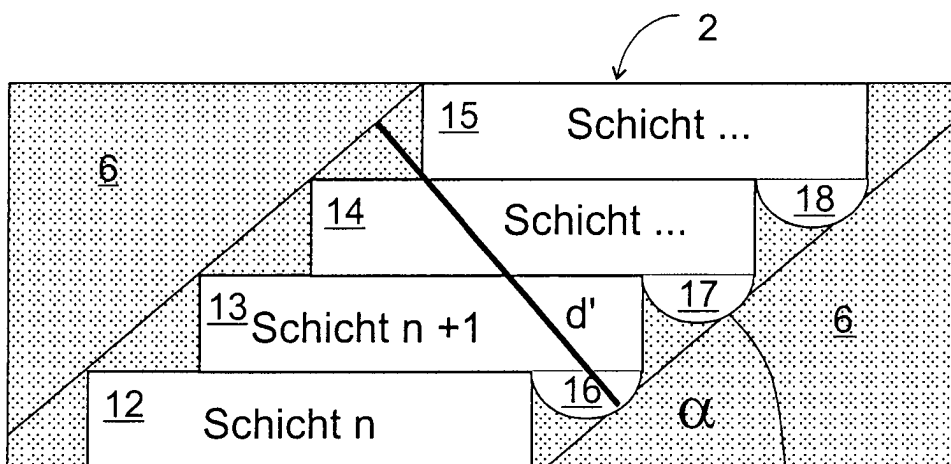


Fig. 3

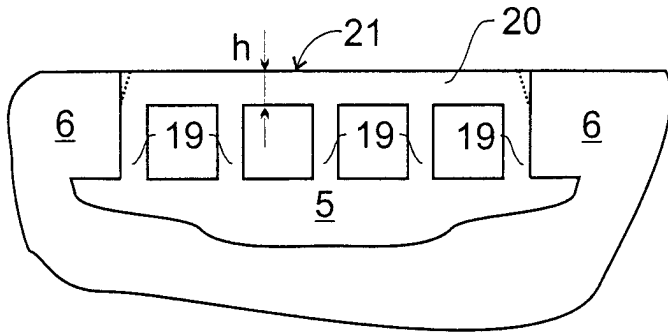


Fig. 4

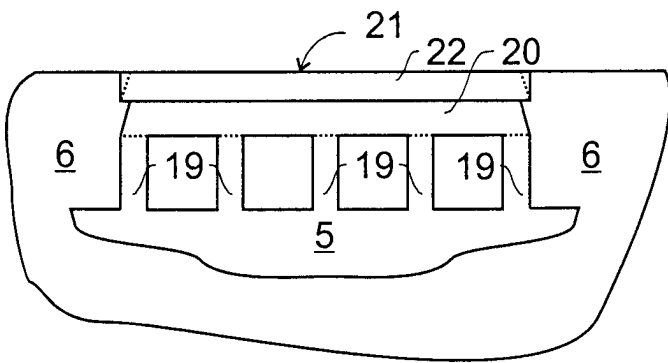


Fig. 5

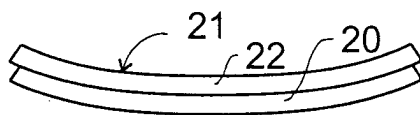


Fig. 6

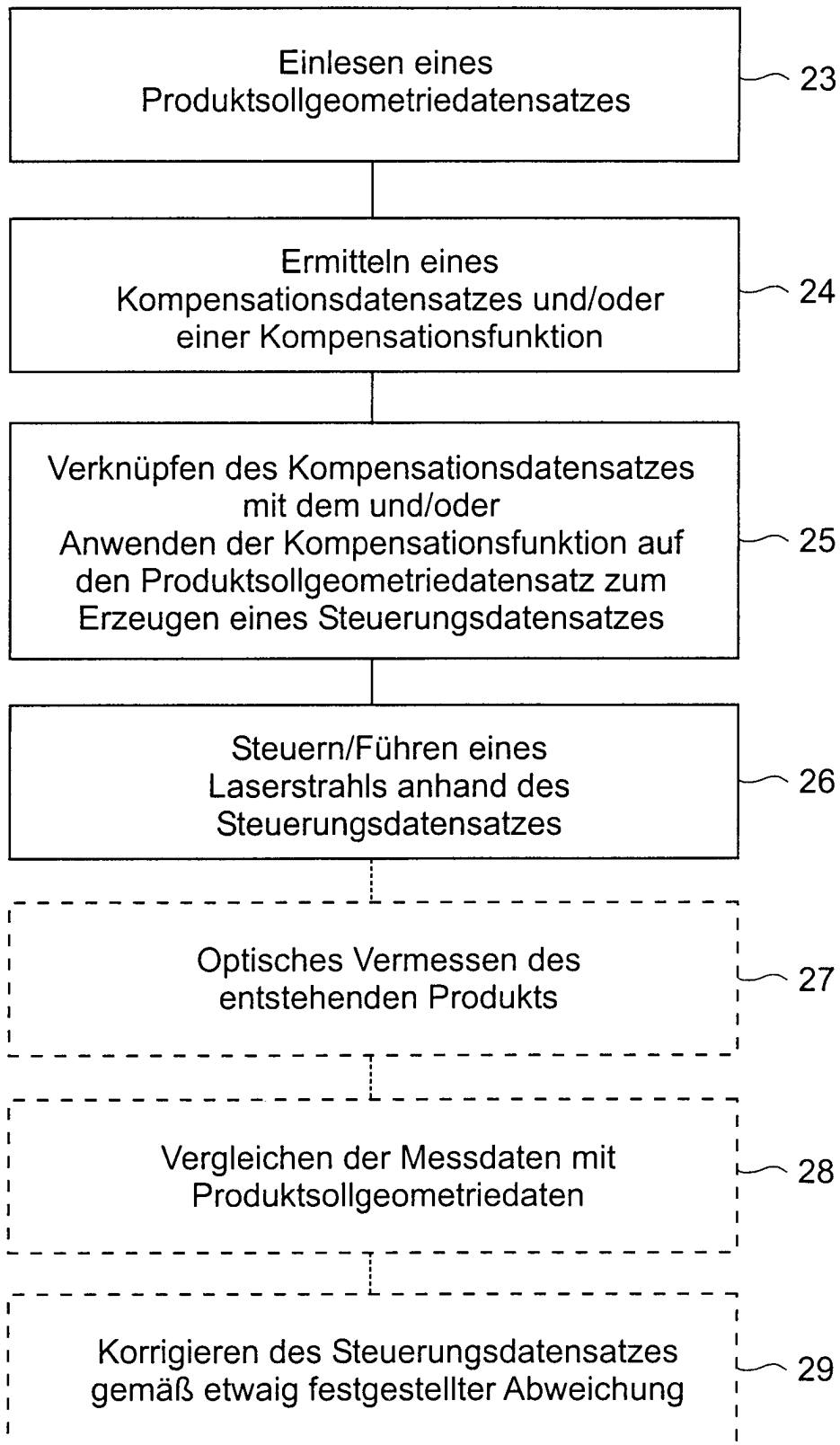


Fig. 7