



(10) **DE 10 2018 214 836 A1** 2020.03.05

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 214 836.8**
(22) Anmeldetag: **31.08.2018**
(43) Offenlegungstag: **05.03.2020**

(51) Int Cl.: **B29C 64/393** (2017.01)
B29C 64/124 (2017.01)
B29C 64/255 (2017.01)
B33Y 10/00 (2015.01)
B33Y 50/02 (2015.01)
B22F 3/105 (2006.01)

(71) Anmelder:
**Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft,
80809 München, DE**

(72) Erfinder:
**Obst, Philip, 85551 Kirchheim, DE; Friedrich,
Martin, 85716 Unterschleißheim, DE; Riedelbauch,
Julius, 80634 München, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	2010 / 0 125 356	A1
US	2014 / 0 379 114	A1

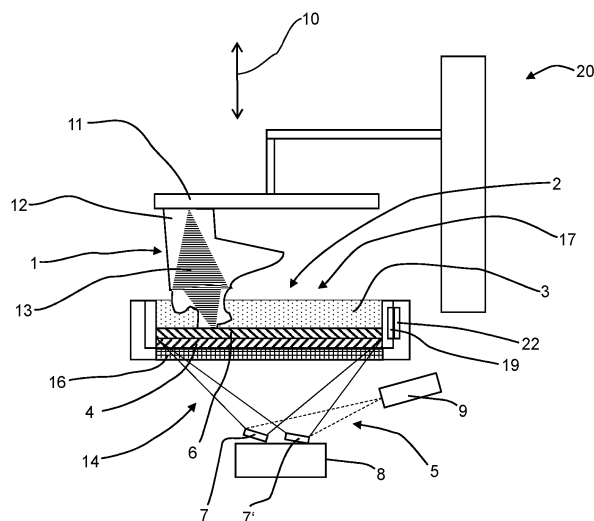
Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur additiven Herstellung eines Formkörpers**

(57) Zusammenfassung: Verfahren zur additiven Herstellung eines Formkörpers (1), wobei der Formkörper (1) durch sukzessive, vorzugsweise schichtweise, selektive Belichtung und damit einhergehende Verfestigung eines Kunststoffmaterials (3) hergestellt wird, wobei die sukzessive selektive Verfestigung des Kunststoffmaterials (3) auf Grundlage wenigstens eines, einen oder mehrere Prozessparameter umfassenden Prozessparametersatzes erfolgt wobei eine Einstellung wenigstens eines Prozessparameters durch eine Ansteuerung wenigstens eines Spiegelementes (7, 7') der Spiegelvorrichtung (8) ausgeführt wird wobei

- die Einstellung wenigstens eines Prozessparameters in Abhängigkeit von einer Soll-Materialeigenschaft zumindest eines Bereichs (12, 13) des Formkörpers (1) erfolgt und/oder
- die Einstellung wenigstens eines Prozessparameters in Abhängigkeit von den optischen Eigenschaften zumindest eines, in einem Strahlengang (14) der Belichtung angeordneten und die Belichtung beeinflussenden, wenigstens teilweise transparenten Optikelementes (15) erfolgt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur additiven Herstellung eines Formkörpers.

[0002] Verfahren zur additiven Herstellung eines metallischen Formkörpers sind beispielsweise aus den Offenlegungsschriften DE 10 2007 059 865 A1 und DE 10 2011 101 857 A1 bekannt. Die aus diesen Verfahren erzeugten Formkörper weisen bereichsabhängig unterschiedliche Materialeigenschaften auf. In diesen additiven Verfahren wird ein Pulver schichtweise aufgezogen und anschließend ein fokussierter Laserstrahl selektiv über die Pulverschicht bzw. das Pulverbett bewegt. Dies führt zu einer bereichsweisen Verfestigung des Pulvermaterials, bevor eine weitere Schicht an Pulvermaterial aufgezogen wird.

[0003] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, welches es erlaubt, insbesondere auf einfache, schnelle sowie qualitativ hochwertige Weise Formkörper mit optional bereichsabhängig unterschiedlichen Materialeigenschaften herzustellen.

[0004] Die Aufgabe wird durch ein Verfahren zur additiven Herstellung eines Formkörpers, wobei der Formkörper durch sukzessive, vorzugsweise schichtweise, selektive Belichtung und damit einhergehende Verfestigung eines Kunststoffmaterials hergestellt wird wobei die sukzessive schichtweise selektive Verfestigung des Kunststoffmaterials auf Grundlage wenigstens eines, einen oder mehrere Prozessparameter umfassenden Prozessparametersatzes erfolgt, gemäß Anspruch 1 gelöst. Die hierzu abhängigen Ansprüche betreffen mögliche Ausführungsformen des Verfahrens.

[0005] Der Erfindungsgedanke betrifft ein Verfahren, wonach eine Einstellung wenigstens eines Prozessparameters durch eine Ansteuerung wenigstens eines Spiegelementes der Spiegelvorrichtung ausgeführt wird, wobei (a) die Einstellung wenigstens eines Prozessparameters in Abhängigkeit von einer Soll-Materialeigenschaft zumindest eines Bereichs des Formkörpers erfolgt und/oder (b) die Einstellung wenigstens eines Prozessparameters in Abhängigkeit von den optischen Eigenschaften zumindest eines, in einem Strahlengang der Belichtung angeordneten und die Belichtung beeinflussenden, wenigstens teilweise transparenten Optikelementes erfolgt. Durch Veränderung der Prozessparameter kann auf die Materialeigenschaft des zu bildenden Formkörpers Einfluss genommen werden. D.h. neben der Ausbildung der Geometrie des Formkörpers abhängig davon, welche Bereiche des flüssigen Kunststoffmaterials belichtet werden sollen, kann über die Einstellung der Prozessparameter die Art und Weise der Belichtung und damit die inneren Materialeigenschaften des Formkörpers definiert eingestellt werden. Ist für

einen Bauprozess eine definiert bereichsweise inhomogene Soll-Materialeigenschaft für ein zu fertigendes Formkörper vorgegeben, kann diese Soll-Materialeigenschaft über eine entsprechende Einstellung der Prozessparameter und der damit verbundenen definierten Ansteuerung der die Belichtung beeinflussenden Spiegelvorrichtung bzw. der Spiegelemente der Spiegelvorrichtung in dem zu fertigenden Formkörper „eingestellt“ bzw. erreicht werden. Dies führt zu einer kurzen - weil zumindest bereichsweise flächig einwirkende Belichtung - Belichtungszeit und folglich zu einem schnellen Aufbauprozess. Auch die Verwendung einer Mehrzahl an Spiegelementen kann die Belichtungszeit im Aufbauprozess positiv beeinflussen, da je mehr Spiegelemente vorgeesehen sind, desto weniger potentiell zu belichtende Fläche ein einzelner Spiegel abdecken muss.

[0006] Neben der Einstellung einer Soll-Materialeigenschaft kann zusätzlich oder alternativ durch die Ansteuerung der Spiegelvorrichtung bzw. der Spiegelemente durch definiert vorgegebene Prozessparameter auch die optische Eigenschaft einzelner die Belichtung beeinflussender Optikelemente berücksichtigt werden. Hierbei ist wenigstens ein Prozessparameter abhängig von den optischen Eigenschaften zumindest eines, in einem Strahlengang der Belichtung angeordneten und die Belichtung beeinflussenden, wenigstens teilweise transparenten Optikelementes. Die Belichtung erfolgt typischerweise derart, dass ausgehend von einer Lichtquelle ein Lichtstrahl über eine Spiegelvorrichtung auf das in einer Baukammer angeordnete, zu verfestigende Kunststoffmaterial abgelenkt wird. Zwischen der Lichtquelle und dem zu verfestigenden Kunststoffmaterial können von dem Lichtstrahl eine oder mehrere Optikelemente durchdrungen werden, beispielsweise transparente Bauelemente wie Linsen. Diese Optikelemente können Unregelmäßigkeiten bzw. Inhomogenitäten hinsichtlich derer optischer Eigenschaften aufweisen. Beispielsweise können die Optikelemente Materialfehler, Verschmutzungen und/oder Kratzer auf deren Oberflächen und/oder in deren Material eingeschlossen aufweisen, die jeweils zu einer ungewünschten Beeinflussung des das Optikelement durchdringenden Lichtstrahls führt. Wenn eine Berücksichtigung vorhandener Inhomogenitäten im optischen Verhalten des Optikelementes in der Gestaltung bzw. in der Einstellung der Prozessparameter stattfindet, kann durch eine durch die Prozessparameter erfolgende entsprechend angepasste Ansteuerung der Spiegelvorrichtung bzw. der Spiegelemente eine Art Kompensation dieser Inhomogenitäten erreicht werden. Folglich kann ein derart hergestellte Formkörper eine höhere und definierte Qualität aufweisen, da eine höhere Genauigkeit bei der Kunststoffmaterialverfestigung durch eine höhere Genauigkeit bei der effektiven Belichtungsqualität und -quantität - d.h. bei der das Kunststoffmaterial auftreffenden Belichtung - erreicht werden kann. Dies

führt unabhängig davon, ob ein Formkörper mit homogenen oder bereichsweise unterschiedlichen Soll-Materialeigenschaften erzeugt werden soll, zu einem qualitativ höherwertigen Formkörper. Das „Einstellen“ wenigstens eines Prozessparameters meint eine definierte Einwirkung durch den Prozessparameter auf die Ausrichtung, Lage, Bewegung (insbesondere Bewegungsgeschwindigkeit und/oder Bewegungsumfang/-raum) wenigstens eines Spiegelementes der Spiegelvorrichtung. Die unterschiedlichen Materialeigenschaften bzw. Soll-Materialeigenschaften des auf diese Weise gefertigten Formkörpers betreffen die inneren Materialeigenschaften des Formkörpers und damit nicht die Formkörpergeometrie. Die inneren Materialeigenschaften kann beispielsweise die Zugfestigkeit, die Bruchdehnung und/oder das Temperaturverhalten des Formkörpers betreffen.

[0007] In einer vorteilhaften Ausführungsform wird ein erster Bereich des Formkörpers mit einer ersten Soll-Materialeigenschaft auf Grundlage eines ersten Prozessparameters und ein zweiter Bereich des Formkörpers mit einer zweiten, von der ersten unterschiedlichen Soll-Materialeigenschaft auf Grundlage eines zweiten, von dem ersten Prozessparameter unterschiedlichen zweiten Prozessparameters verfestigt. Vorzugsweise werden die wenigstens zwei Prozessparametersätze zur gezielten Einstellung bestimmter Eigenschaften des Formkörpers, insbesondere zur Einstellung bestimmter mechanischer Eigenschaften des Formkörpers verwendet. Damit wird es erreicht, Formkörper mit geringem Formkörper- bzw. Bauteilgewicht auf einfache und kostengünstige Weise herzustellen, die aufgrund des Einflusses unterschiedlicher Prozessparameter während der Herstellung der Formkörper, bereichsabhängig unterschiedliche Materialeigenschaften aufweisen.

[0008] Ferner hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn abhängig von den optischen Eigenschaften eines ersten Bereiches des Optikelementes ein erster Korrekturwert bei der Ansteuerung der Spiegelvorrichtung und abhängig von den optischen Eigenschaften eines zweiten Bereiches des Optikelementes ein zweiter, von dem ersten Korrekturwert unterschiedlicher, zweiter Korrekturwert bei der Ansteuerung der Spiegelvorrichtung berücksichtigt wird. Zumindest eines der sich im Strahlengang des Lichtstrahls befindlichen Optikelemente kann mehrere Flächenbereiche mit ungleichmäßigen optischem Verhalten (z.B. Fehlstellen) aufweisen. In diesem Fall ist es vorteilhaft, wenn in die Ansteuerung der Spiegelvorrichtung für die jeweilige Fehlstelle spezifisch ein entsprechender Korrekturwert berücksichtigt wird. Damit kann trotz Vorliegens eines inhomogenen optischen Verhaltens an unterschiedlichen Bereichen wenigstens eines Optikelementes dennoch ein qualitativ hochwertiger Formkörper hergestellt werden, da diese etwaigen „Prozessstörungen“ durch die jewei-

ligen in der Ansteuerung der Spiegelvorrichtung berücksichtigten, vorzugsweise bereichsspezifischen, Korrekturwerte kompensiert werden können.

[0009] Die Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann vorteilhaft derart ausgebildet sein, dass das Optikelement als ein Optikelement eines Bodens eines lösbar in einer Aufbauvorrichtung anordenbaren oder angeordneten Baubehälters ausgebildet ist. Auch kann der Boden des Baubehälters ein Optikelement umfassen oder der gesamte Boden als Optikelement ausgebildet sein. In dem Baubehälter ist das flüssige Kunststoffmaterial bevorratet. Im eingebauten Zustand des Baubehälters tritt der Lichtstrahl nach Ablenkung über die Spiegelvorrichtung von unten kommend durch den transparenten Boden des Baubehälters hindurch und beaufschlagt das dort vorliegende flüssige Kunststoffmaterials. Insbesondere ein immer wiederkehrender Ein- und Ausbau des Baubehälters in bzw. aus der Vorrichtung kann dazu führen, dass sich aufgrund von mechanischen Einwirkungen Kratzer auf dem Optikelement des Baubehälters bzw. auf dem transparenten Boden des Baubehälters bilden. Mit Kratzern auf dem Optikelement ist ein inhomogenes optisches Verhalten des Optikelementes verbunden.

[0010] Auch der Aspekt, dass die Vorrichtung mit wenigstens zwei unterschiedlichen Baubehältern wechselweise betrieben wird, birgt die Gefahr, dass sich aufgrund unterschiedlicher Inhomogenitäten hinsichtlich des optischen Verhaltens der Optikelemente eines ersten und eines zweiten Baubehälters, unerwünschte Schwankungen in der Qualität des jeweils gefertigten Formkörpers ergeben können. In diesem Zusammenhang ist es vorteilhaft, wenn ein erster Baubehälter mit einem Boden umfassend zumindest teilweise ein erstes Optikelement und ein zweiter Baubehälter mit einem Boden umfassend zumindest teilweise ein zweites, von dem ersten Optikelement unterschiedliche optische Eigenschaften aufweisenden Optikelement ausgebildet ist, wobei abhängig davon, ob der erste oder der zweite Baubehälter in die Aufbauvorrichtung eingesetzt ist, die Ansteuerung der Spiegelvorrichtung von einem ersten oder einem, von dem ersten unterschiedlichen, zweiten Korrekturwert beeinflusst wird. Durch die jeweils baubehälterspezifischen Korrekturwerte kann auf die Prozessparameter Einfluss genommen und damit eine entsprechende Ansteuerung der Spiegelvorrichtung ausgeführt werden. Damit wird unabhängig davon, welcher Baubehälter verwendet wurde, aus dem additiven Fertigungsverfahren ein Formkörper mit gleichbleibender Qualität, insbesondere gleichbleibenden Materialeigenschaften gewonnen. Hierbei ist es vorteilhaft, wenn die Baubehälter mit Identifikationsmarkierungen versehen sind, welche es erlauben - vorzugsweise automatisiert - den jeweils eingesetzten Baubehälter zu detektieren und abhängig davon eine entsprechende Beeinflussung

der Ansteuerung des wenigstens eines Spiegelementes vorzunehmen.

[0011] Die Einstellung des wenigstens einen Prozessparameters und/oder die Einstellung der Ansteuerung der Spiegelvorrichtung bzw. die Ansteuerung wenigstens eines Spiegelementes umfasst einen Einfluss auf eine Belichtungszeit, eine Belichtungsintensität und/oder eine Wellenlänge eines Lichtstrahls der Belichtung. Mit anderen Worten wird die Lichtintensität pro Flächeneinheit durch, beispielsweise frequenzielle, Ansteuerung der Spiegelvorrichtung und/oder wenigstens eines Spiegelementes definiert verändert bzw. eingestellt. Eine frequenzielle Ansteuerung der Spiegelemente ermöglicht es Belichtungsfrequenzen für jeden Pixel der Querschnittsfläche (z.B. Flächenbereich einer Schicht) variabel einzustellen. Die Spiegelemente der Spiegelvorrichtung werden dabei vorzugsweise in einem Winkelbereich von maximal 25°, vorzugsweise in einem Winkelbereich von maximal 10° geschwenkt. Der Spiegel kann während seiner Schwenkbewegung den Lichtstrahl abwechselnd in einen Arbeitsbereich (z.B. Zwischenbereich bzw. „dead zone“), d.h. zu einem typischerweise mit Kunststoffmaterial versehenen Bereich und in einen Adsorptionbereich, d.h. in einen weiteren Bereich, auf ein dort befindliches Adsorptionselement, lenken. Der Lichtstrahl kann bei Auftreffen auf das Adsorptionselemente von diesem adsorbiert werden. Beispielsweise kann der Prozessparameter Belichtungszeit in einem ersten Prozessparametersatz einen ersten Zeitwert und in einem zweiten Prozessparametersatz einen zweiten, von dem ersten Zeitwert unterschiedlichen Zeitwert aufweisen, wobei dieser Zeitwert als Netto-Belichtungszeit einer Flächeneinheit des zu verfestigen Materials verstanden werden kann. Die Netto-Belichtungszeit kann durch eine entsprechende Ansteuerung eines, vorzugsweise frequenziell, sich bewegenden Spiegelementes und der damit entsprechenden Ablenkung des Lichtstrahls erreicht werden.

[0012] Im Falle eines auswechselbaren Baubehälters hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn das Optikelement als ein Optikelement eines Trennmittels ausgebildet ist, welches zwischen einem Aufnahmeraum zur Aufnahme wenigstens eines lösbar in einer Aufbauvorrichtung einsetzbaren Baubehälters und der in der Aufbauvorrichtung platzierten Spiegelvorrichtung angeordnet ist, wobei abhängig von den optischen Eigenschaften des Optikelementes des Trennmittels wenigstens ein Trennmittelkorrekturwert in die Ansteuerung der Spiegelvorrichtung während eines Aufbauprozesses berücksichtigt wird. Mit anderen Worten dient das Trennmittel dazu, im Falle eines ausgebauten Baubehälters, die Spiegelvorrichtung vor Verunreinigung und/oder mechanischen Einflüssen zu schützen. Da das Trennmittel eine Schutzfunktion innehat kann sich dessen

optisches Verhalten aufgrund von Verunreinigungen oder Kratzer, insbesondere auf der dem Baubehälter zugewandten Oberfläche, bereichsweise verändern, sodass wiederum durch Berücksichtigung eines entsprechenden, vorzugsweise bereichsspezifischen, Trennmittelkorrekturwerts eine hohe Qualität des in der Vorrichtung erzeugten Formkörpers erreichbar ist.

[0013] Zur Ermittlung eines Grades und/oder zur Lokalisierung etwaiger Verunreinigungen und/oder Kratzer hat sich das Vorsehen eines temporären Prüfprozesses als vorteilhaft erwiesen. Hierbei wird ein mit einem Sensor versehener Prüfeinsatz in den Aufnahmeraum der Aufbauvorrichtung angeordnet und durch eine vordefinierte Belichtung des Prüfeinsatzes unter Verwendung der Spiegelvorrichtung ein mehrere Prüfwerte aufweisendes Prüfbild des Optikelementes des Trennmittels generiert, wobei abhängig von den Prüfwerten des Prüfbildes ein bereichsspezifischer Trennmittelkorrekturwert abgeleitet wird, welcher in die Ansteuerung der Spiegelvorrichtung während eines Aufbauprozesses berücksichtigt wird.

[0014] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform werden die Einstellung der Ansteuerung der Spiegelvorrichtung zur selektiven Verfestigung einer selektiv zu verfestigenden Schicht verwendet, d.h. es werden wenigstens zwei, sich in zumindest einem Prozessparameter unterscheidende, Prozessparametersätze zur Einstellung der Ansteuerung der Spiegelvorrichtung zur selektiven Verfestigung einer selektiv zu verfestigenden Schicht verwendet. Dadurch, dass innerhalb einer Schicht unterschiedliche Prozessparametersätze bzw. Prozessparametersätze mit wenigstens einem unterschiedlichen Prozessparameter zur Ansteuerung der Spiegelvorrichtung verwendet werden, können (a) innerhalb einer Schicht bzw. innerhalb einer Schichtebene unterschiedliche Materialeigenschaften und/oder (b) eine Kompensation von das optische Verhalten beeinflussenden Materialfehlern und/oder Verunreinigungen eines Optikelementes erreicht werden. Vorzugsweise wirkt ein erster Korrekturwert, ein zweiter Korrekturwert und/oder ein Trennmittelkorrekturwert zur Ansteuerung der Spiegelvorrichtung innerhalb derselben zu verfestigenden Schicht eines aufzubauenden Formkörpers.

[0015] Alternativ oder zusätzlich könne die wenigstens zwei, zumindest in einem Prozessparameter unterschiedlichen, Prozessparametersätze zur Ansteuerung der Spiegelvorrichtung zur selektiven Verfestigung mehrerer selektiv zu verfestigender Schichten verwendet werden. Hierbei ist vorgesehen, dass der wenigstens eine Prozessparameter des Prozessparametersatzes während der selektiven Verfestigung mehrerer selektiv zu verfestigender Schichten verändert wird, sodass der herzustellende Formkörper in einem ersten Teilbereich oder -volumen mit ei-

nem ersten Prozessparameter und in wenigstens einem weiteren Teilbereich oder -volumen mit wenigstens einem von dem ersten Prozessparameter unterschiedlichen, weiteren Prozessparameter selektiv verfestigt wird. Dadurch, dass unterschiedliche Prozessparameter in unterschiedlichen Schichten zum Einsatz kommen, kann erreicht werden, dass in Richtung des schichtweisen Aufbaus unterschiedliche Materialeigenschaften an den entsprechenden Bereichen generiert werden können. Auch können zumindest während des Aufbaus einer Schicht einheitliche, unveränderte Prozessparameter, ggf. lediglich mit Korrekturwerten beeinflusste Prozessparameter vorliegen. Schließlich kann ein Formkörper einen ersten Bereich oder ein erstes Volumen an Schichten mit einheitlichen Prozessparametern und einen zweiten Bereich oder ein zweites Volumen an Schichten mit gegenüber dem ersten Bereich unterschiedlichen Prozessparametern aufweisen.

[0016] Unabhängig davon, ob die sich unterscheidenden Prozessparameter während des Aufbaus einer Schicht oder während des Aufbaus mehrerer Schichten vorliegen entsteht hierdurch die Möglichkeit sowohl kontinuierliche Gradienten-Eigenschaftsübergänge, als auch abrupte Änderungen innerhalb der Formkörper bzw. Bauteile zu erzielen. Je nach Material und Herstellungsmethode lassen sich somit die physikalischen und physikalisch-chemischen Eigenschaften des Formkörpers einstellen und/oder modifizieren.

[0017] Das im Verfahren verwendete Kunststoffmaterial zur sukzessiven, vorzugsweise schichtweisen, selektiven Verfestigung kann Kunstharz und dabei, insbesondere photosensitives Kunstharz sein. Das additive Herstellungsverfahren kann ein generatives Photopolymerisationsverfahren sein, vorzugsweise ein als Spiegelvorrichtung einen Mikrospiegelarray verwendendes additives Herstellungsverfahren. Insbesondere kann ein sogenanntes Continuous Liquid Interface Production-Verfahren (CLIP-Verfahren) zur Anwendung kommen. Als Mikrospiegelarray oder Mikrospiegelvorrichtung kann beispielsweise ein von dem Unternehmen Texas Instruments angebotener Digital Light Processing-Chip (DLP-Chip) zum Einsatz kommen. Bei dem CLIP-Verfahren wird ein in einem Behälter befindliches Kunstharz durch UV-Licht, welches den Boden des teilweise transparenten Behälters durchdringt, ausgehärtet. An eine in dem Behälter befindliche Plattform wird das ausgehärtete Kunstharz „angebaut“ und durch sukzessive Bewegung der Plattform von dem Boden des Behälters weg, wird der schichtweise aufgebaute Gegenstand aus dem Behälter „herausgezogen“, während eine nachfolgende Schicht an dem, dem Behälterboden zugewandten Bereich des Formkörpers durch das UV-Lichtes beaufschlagt und damit das dort befindliche - weil nachfließende - Kunstharz verfestigt wird. Im CLIP-Verfahren wird vorzugsweise die gesamte

Schichtfläche gleichzeitig d.h. flächig bestrahlt. Hieraus resultiert, dass die Bauzeiten in einem CLIP Verfahren geringer sind als in einem, einen fokussierten Lichtstrahl verwendenden additiven Fertigungsverfahren.

[0018] Ferner hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn zur Herstellung des Formkörpers ein Baumaterial mit einer ersten Komponente und mit einer, von der ersten unterschiedlichen, zweiten Komponente verwendet wird. Die beiden Materialkomponenten können unterschiedliche Materialeigenschaften aufweisen. Die Verwendung zweier unterschiedlicher Materialkomponenten kann auch in einem als „Dual-Curing“ bezeichneten Verfahren angewandt werden. Der Einsatz zweier unterschiedlicher Materialkomponenten kann vorteilhafterweise zu einer Kombination zweier ansonsten unterschiedlicher Polymernetzwerke führen, die es ermöglicht, ein interpenetrierendes Polymernetzwerk zu schaffen, dass im Vergleich zu seinen Einzelteilen (einzelnen Materialkomponenten) überlegene Eigenschaften aufweist. Insbesondere bei dem CLIP-Verfahren können die beiden Komponenten in einer miteinander vermischten Form in dem Baubehälter vorliegen und in dieser Form dem Aushärtprozess unterzogen werden. Die erste Komponente des Baumaterials kann aus einem durch UV-Licht aushärtbaren Material bestehen, vorzugsweise besteht die erste Komponente aus einem duroplastischen Kunststoff, besonders bevorzugt besteht die erste Komponente aus einem Photoinitiator, einem Oligomer und/oder einem Reaktivverdünner.

[0019] Sämtliche Vorteile, Einzelheiten, Ausführungen und/oder Merkmale des erfindungsgemäßen Verfahrens und ihren Ausführungsformen und Konkretisierungen sind auch auf das durch dieses Verfahren hergestellte Formkörper übertragbar bzw. anzuwenden.

[0020] Die Erfindung ist anhand von Ausführungsbeispielen in den Zeichnungen näher erläutert. Diese zeigen in:

Fig. 1: eine schematische Prinzipdarstellung einer CLIP-Vorrichtung;

Fig. 2: eine schematische Prinzipdarstellung einer CLIP-Vorrichtung mit zwei ausgebauten Baubehältern und einem ausgebauten Prüfeinsatz.

[0021] In **Fig. 1** ist beispielhaft eine Vorrichtung zur Ausführung eines Verfahrens zur additiven Herstellung eines Formkörpers **1** mittels eines CLIP-Verfahrens dargestellt. Das CLIP-Verfahren kann nach Art eines photopolymerisations-Verfahrens arbeiten. Die dargestellte Aufbauvorrichtung **20** verwendet einen lösbar in der Aufbauvorrichtung **20** befestigten Baubehälter **2**, der mit flüssigem Kunststoffmaterial **3** gefüllt ist. Der Boden **4** des Behälters **2** ist lichtdurch-

lässig, so dass ein Lichtstrahl **5** den Boden **4** durchdringen und in einem Zwischenbereich **6** - auch als „dead zone“ bezeichnet - auftreffen kann. Der Lichtstrahl **5** tritt aus einer Lichtquelle **9** aus, wird von einer wenigstens zwei Spiegelemente **7**, **7'** aufweisenden Spiegelvorrichtung **8** derart abgelenkt, dass der Lichtstrahl **5** in dem Zwischenbereich **6** flächig auftrifft, wobei die Intensität und/oder Belichtungszeit des Lichtstrahls **5** innerhalb der Auftrefffläche im Zwischenbereich **6** unterschiedlich sein kann. Die Intensität und/oder Belichtungszeit des Lichtstrahls **5** wird durch eine entsprechende Ansteuerung der sich vorzugsweise frequenziell bewegenden Spiegelemente **7**, **7'** einer Spiegelvorrichtung **8** eingestellt. Als Lichtquellen **9** können bereichsweise wenigstens ein Laser und/oder wenigstens eine UV-LED-Lichtquelle verwendet werden. Die Spiegelvorrichtung **8** kann als Mikrospiegelarray ausgebildet sein.

[0022] Die im Kunststoffmaterial **3** befindlichen Photo-Initiatoren lösen aufgrund der energetischen Einwirkung von UV-Licht eine radikale Polymerisation aus, bei der Monomere durch eine Kettenspaltung der Doppelbindung zu Polymeren heranwachsen. Das Kunststoffmaterial **3** härtet entlang der belichteten Fläche aus. Dabei entsteht eine Verbindung zu einer höhenverlagerbaren (vergleiche Pfeil **10**) Plattform **11**, die sich sukzessive durch Einwirkung von einem Aktor (nicht dargestellt), um eine Schichthöhe nach oben (also von der Lichtquelle **9** weg) bewegt, um die Belichtung der nachfolgenden Schicht zu ermöglichen. Bei dem CLIP-Verfahren bleiben der Zwischenbereich **6** bzw. der Boden des Formkörpers **1** und der Boden **4** des Baubehälters **2** während des Aufbauprozesses stets mit flüssigem Kunststoffmaterial **3** bedeckt (mit Ausnahme beim Nachlaufen des, einen Freiraum unterhalb der hochgezogenen Plattform **11** bzw. unterhalb des hochgezogenen Formkörpers **1** ausfüllenden flüssigen Kunststoffmaterials **3**), das durch den Lichtstrahl **5** wiederum verfestigt werden kann. Durch mehrfaches Wiederholen dieses Vorganges entsteht sukzessive ein schichtartig aufgebauter Formkörper **1**. Nachdem die gewünschte Form des Formkörpers **1** durch dieses Verfahren erreicht wurde, wird der Formkörper **1** gänzlich aus dem Bad des flüssigen Kunstharzes herausgefahren und schließlich von der Plattform **11** getrennt.

[0023] Durch Veränderung einzelner oder mehrere Prozessparameter von wenigstens zwei Prozessparametersätzen kann auf die Materialeigenschaften des Formkörpers **1** während dessen Herstellung Einfluss genommen werden. So weist der in den Figuren dargestellte Formkörper **1** einen ersten Bereich **12** und einen zweiten Bereich **13** auf. Der erste Bereich **12** ist hierbei als Fläche ohne Füllung, der zweite Bereich **13** dagegen als Fläche mit einer dunklen, regelmäßigen Füllung (Horizontalstreifen) versehener Bereich innerhalb der Konturlinie des Formkörpers **1** dargestellt. Der erste Bereich **12** ist dabei unter Ver-

wendung von Prozessparametern erzeugt worden, die sich von den Prozessparametern des zweiten Bereichs **13** unterscheiden. Damit kann der erste Bereich **12** gegenüber dem zweiten Bereich **13** auch unterschiedliche Materialeigenschaften, wie beispielsweise Bruchdehnung oder Zugfestigkeit aufweisen. Damit wird auf Grund unterschiedlicher erster und zweiter Soll-Materialeigenschaften und entsprechender Ansteuerung der Spiegelemente **7**, **7'** ein Formkörper **1** mit unterschiedlichen inneren Materialeigenschaften erreicht. Es ist ferner in den Figuren erkennbar, dass der erste und zweite Bereich **12**, **13** sowohl nebeneinander innerhalb einer Schicht (einem horizontalen Bereich) des Formkörpers **1**, als auch über mehrere Schichten eines Formkörpers **1** hinweg, also in z-Richtung, erstrecken bzw. vorliegen können. Allgemein kann die Veränderung der Einstellung der Ansteuerung einer Spiegelvorrichtung **8** zur selektiven Verfestigung sowohl derselben selektiv zu verfestigenden Schicht, als auch mehrerer, selektiv zu verfestigender Schichten verwendet werden.

[0024] Nach Abschluss eines CLIP-Verfahrens kann der Formkörper **1** in einem nicht gänzlich ausgehärteten Zustand vorliegen. Es kann deshalb im Zuge eines zweiten, nachgelagerten Prozessschrittes eine Nachaushärtung vorgenommen werden, hierzu kann der noch nicht ganz ausgehärtete Formkörper **1** (auch als Grünling bezeichnet) in beispielsweise einem Ofen durch thermische Einwirkung nachvernetzt werden.

[0025] Die Einstellung wenigstens eines Prozessparameters durch eine Ansteuerung wenigstens eines Spiegelementes **7**, **7'** der Spiegelvorrichtung **8** erfolgt hierbei (a) in Abhängigkeit von einer Soll-Materialeigenschaft zumindest eines Bereiches des Formkörpers **1** und/oder (b) in Abhängigkeit von den optischen Eigenschaften zumindest eines in einem Strahlengang **14** der Belichtung angeordneten und die Belichtung beeinflussenden, zumindest teilweise transparenten Optikelementes **15**. In der in **Fig. 1** dargestellten Ausführungsform des Verfahrens weist der Strahlengang **14** zwei Optikelemente **15** auf, nämlich einerseits einen zumindest bereichsweise transparenten und lichtdurchlässigen Boden **4** eines lösbar in einer Aufbauvorrichtung **20** anordenbaren oder angeordneten Baubehälters **2** sowie einen zumindest bereichsweise transparenten bzw. lichtdurchlässigen Bereich eines Trennmittels **16**. Das Optikelement **15** eines Trennmittels **16** ist zwischen einem Aufnahme-raum **17** zur Aufnahme wenigstens eines lösbar in der Aufbauvorrichtung **20** einsetzbaren oder eingesetzten Baubehälters **2**, **2'** und der in der Aufbauvorrichtung **20** platzierten Spiegelvorrichtung **8** angeordnet oder anordenbar. Abhängig von den optischen Eigenschaften des Optikelementes **15** des Trennmittels **16** kann wenigstens ein Trennmittelkorrekturwert in die Ansteuerung der Spiegelvorrichtung **8** während des Aufbauprozesses berücksichtigt werden. Das Trenn-

mittel **16** ist in der dargestellten Ausführungsform als Boden eines, zur Aufnahme von zumindest einen Baubehälter **2**, **2'** vorgesehenen Aufnahmeraums **17** ausgebildet.

[0026] In **Fig. 2** ist eine Aufbauvorrichtung **20** gemäß **Fig. 1** dargestellt, jedoch ist der Baubehälter **2** aus dem Aufnahmeraum **17** entnommen und nebenstehend dargestellt. Ferner sind neben dem Baubehälter **2** ein weiterer, zum Auswechseln bereitgestellter Baubehälter **2'** sowie ein, einen Sensor **21** aufweisender Prüfeinsatz **18** dargestellt. Die Baubehälter **2**, **2'** sowie der Prüfeinsatz **18** sind derart ausgebildet, dass sie wechselweise in den Aufnahmeraum **17** der Aufbauvorrichtung **20** aufgenommen werden können. Es sind ein erster Baubehälter **2** mit einem Boden **4** umfassend zumindest teilweise ein erstes Optikelement **15** und ein zweiter Baubehälter **2'** mit einem Boden **4'** umfassend zumindest teilweise ein zweites, von dem ersten Optikelement **15** unterschiedliche optische Eigenschaften aufweisendes Optikelement **15** vorgesehen. Abhängig davon, ob der erste oder der zweite Baubehälter **2**, **2'** in die Aufbauvorrichtung **20** eingesetzt ist, wird die Ansteuerung der Spiegelvorrichtung **8** von einem ersten oder einem, vom ersten unterschiedlichen zweiten Korrekturwert beeinflusst. Ferner weisen die Baubehälter **2**, **2'** sowie der Prüfeinsatz **18** jeweils an dem, in der Zeichnung dargestellten linken, Baubehälterrand bzw. Prüfeinsatzrand eine Markierung **19**, **19'**, **19''** auf. Im, im Aufnahmeraum **17** eingesetzten Zustand kann die Markierung **19**, **19'**, **19''** durch einen in oder am Aufnahmeraum **17** angeordneten Detektor **22** erfasst und/oder ausgelesen werden, so dass über eine mit dem Detektor **22** verbundene Datenverarbeitungsanlage (nicht dargestellt) eine Identifikation des Baubehälters **2**, **2'** und/oder des Prüfeinsatzes **18** und ggf. weiterführende Aktionen abhängig von dem detektierten Baubehälter **2**, **2'** oder dem Prüfeinsatz **18**, ausführbar sind. Die weiterführenden Aktionen betreffen insbesondere eine Auswahl, Veränderung und/oder Einstellung von Prozessparametern zur Ansteuerung der Spiegelvorrichtung **8**.

[0027] Abhängig von den gegebenenfalls unterschiedlichen bereichsabhängigen optischen Eigenschaften eines Optikelementes **15** können unterschiedliche, bereichsabhängige Korrekturwert bei der Ansteuerung der Spiegelvorrichtung **8** zur Anwendung kommen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- DE 102007059865 A1 [0002]
- DE 102011101857 A1 [0002]

Patentansprüche

1. Verfahren zur additiven Herstellung eines Formkörpers (1), wobei der Formkörper (1) durch sukzessive, vorzugsweise schichtweise, selektive Belichtung und damit einhergehende Verfestigung eines Kunststoffmaterials (3) hergestellt wird, wobei die sukzessive selektive Verfestigung des Kunststoffmaterials (3) auf Grundlage wenigstens eines, einen oder mehrere Prozessparameter umfassenden Prozessparametersatzes erfolgt **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Einstellung wenigstens eines Prozessparameters durch eine Ansteuerung wenigstens eines Spiegelelementes (7, 7') der Spiegelvorrichtung (8) ausgeführt wird wobei

- die Einstellung wenigstens eines Prozessparameters in Abhängigkeit von einer Soll-Materialeigenschaft zumindest eines Bereichs (12, 13) des Formkörpers (1) erfolgt und/oder
- die Einstellung wenigstens eines Prozessparameters in Abhängigkeit von den optischen Eigenschaften zumindest eines, in einem Strahlengang (14) der Belichtung angeordneten und die Belichtung beeinflussenden, wenigstens teilweise transparenten Optikelementes (15) erfolgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein erster Bereich (12) des Formkörpers (1) mit einer ersten Soll-Materialeigenschaft auf Grundlage eines ersten Prozessparameters und ein zweiter Bereich (13) des Formkörpers (1) mit einer zweiten, von der ersten unterschiedlichen Soll-Materialeigenschaft auf Grundlage eines zweiten, von dem ersten Prozessparameter unterschiedlichen zweiten Prozessparameters verfestigt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass abhängig von den optischen Eigenschaften eines ersten Bereiches des Optikelementes (15) ein erster Korrekturwert bei der Ansteuerung der Spiegelvorrichtung (8) und abhängig von den optischen Eigenschaften eines zweiten Bereiches des Optikelementes (15) ein zweiter, von dem ersten Korrekturwert unterschiedlicher, zweiter Korrekturwert bei der Ansteuerung der Spiegelvorrichtung (8) berücksichtigt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Optikelement (15) als ein Optikelement (15) eines Bodens (4, 4'), eines lösbar in einer Aufbauvorrichtung (20) anordenbaren oder angeordneten Baubehälters (2, 2') ausgebildet ist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein erster Baubehälter (2) mit einem Boden (4) umfassend zumindest teilweise ein erstes Optikelement (15) und ein zweiter Baubehälter (2') mit einem Boden (4') umfassend zumindest teilweise ein zweites, von dem

ersten Optikelement (15) unterschiedliche optische Eigenschaften aufweisendes Optikelement (15) ausgebildet, wobei abhängig davon, ob der erste oder der zweite Baubehälter (2, 2') in die Aufbauvorrichtung (20) eingesetzt ist, die Ansteuerung der Spiegelvorrichtung (8) von einem ersten oder einem, vom ersten unterschiedlichen zweiten Korrekturwert beeinflusst wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Einstellung des wenigstens eines Prozessparameters und/oder die Einstellung der Ansteuerung der Spiegelvorrichtung (8) Einfluss auf eine Belichtungszeit, eine Belichtungsintensität und/oder eine Wellenlänge eines Lichtstrahls (5) der Belichtung hat.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Optikelement (15) als ein Optikelement (15) eines Trennmittels (16) ausgebildet ist, welches zwischen einem Aufnahmeraum (17) zur Aufnahme wenigstens eines lösbar in einer Aufbauvorrichtung (20) einsetzbaren Baubehälters (2, 2') und der in der Aufbauvorrichtung (20) platzierten Spiegelvorrichtung (8) angeordnet ist, wobei abhängig von den optischen Eigenschaften des Optikelementes (15) des Trennmittels (16) wenigstens ein Trennmittelkorrekturwert in die Ansteuerung der Spiegelvorrichtung (8) während eines Aufbauprozesses berücksichtigt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einem Prüfprozess ein mit einem Sensor (21) versehener Prüfeinsatz (18) in den Aufnahmeraum (17) der Aufbauvorrichtung (20) angeordnet und durch eine vordefinierte Belichtung des Prüfeinsatzes (18) unter Verwendung der Spiegelvorrichtung (8), ein mehrere Prüfwerte aufweisendes Prüfbild des Optikelementes (15) des Trennmittels (16) generiert wird, wobei abhängig von den Prüfwerten des Prüfbildes ein Trennmittelkorrekturwert abgeleitet wird, welcher in die Ansteuerung der Spiegelvorrichtung (8) während eines Aufbauprozesses berücksichtigt wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Einstellung der Ansteuerung der Spiegelvorrichtung (8) zur selektiven Verfestigung einer selektiv zu verfestigenden Schicht verwendet wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Einstellung der Ansteuerung der Spiegelvorrichtung (8) zur selektiven Verfestigung mehrerer selektiv zu verfestigenden Schichten verwendet wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur sukzessiven, vorzugsweise schichtweisen, selektiven

Verfestigung Kunstharz, insbesondere photosensitives Kunstharz eingesetzt wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das additive Herstellungsverfahren ein generatives photopolymerisations-Verfahren ist, vorzugsweise ein als Spiegelvorrichtung (8) einen Mikrospiegelarray verwendendes additives Herstellungsverfahren ist, besonders bevorzugt ein Continuous Liquid Interface Production-Verfahren (CLIP) ist.

13. Formkörper (1) hergestellt durch ein Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

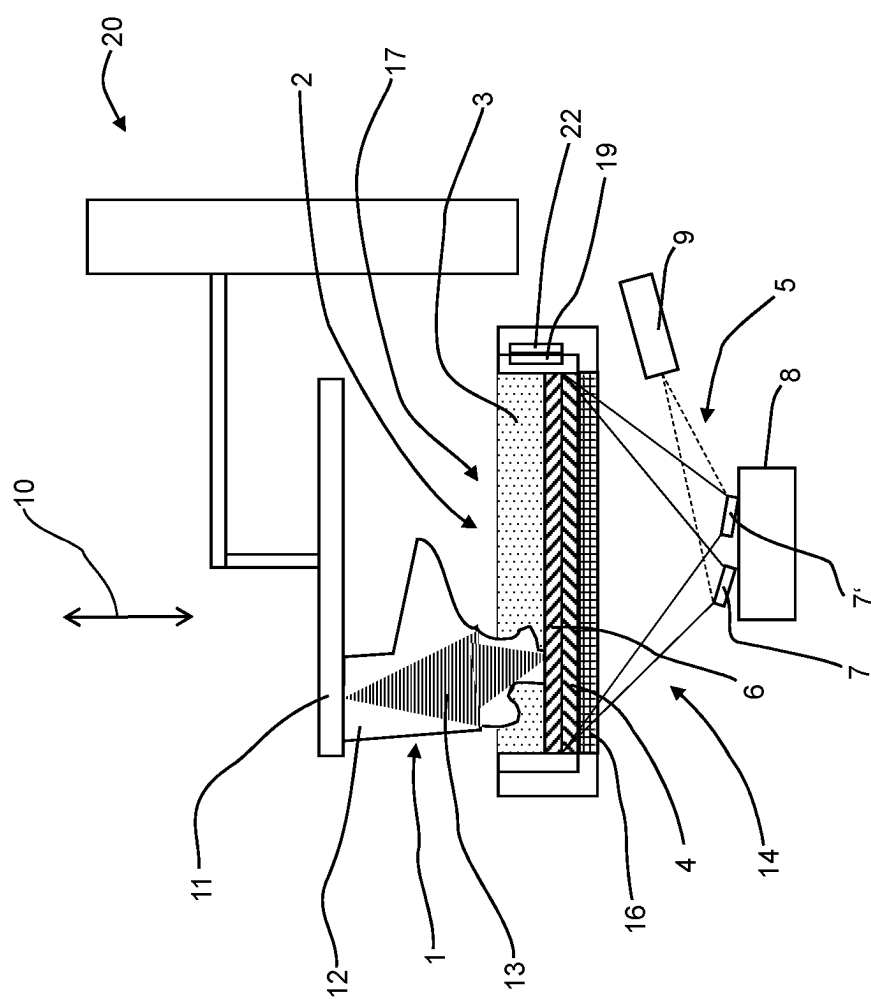


Fig. 1

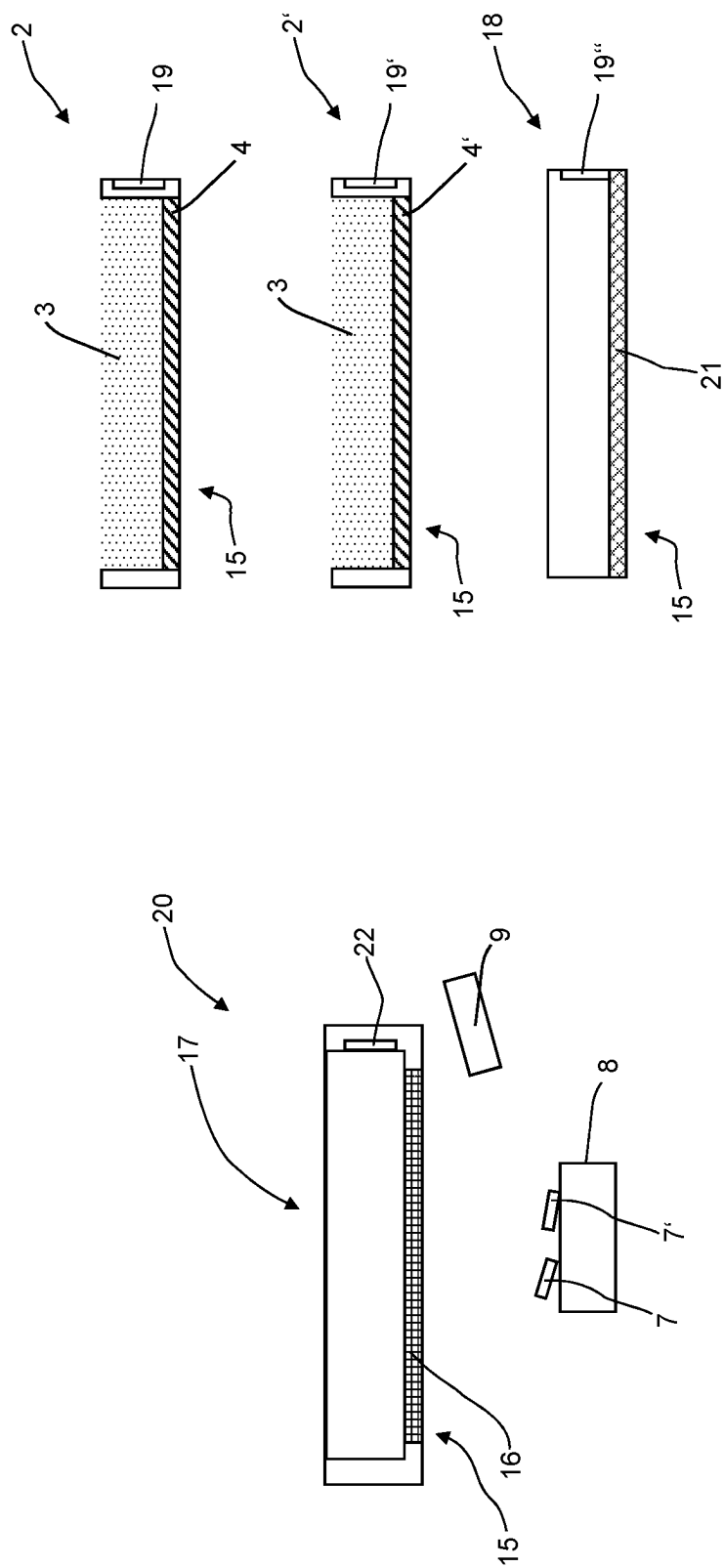


Fig. 2