

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
2. Juli 2009 (02.07.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2009/080016 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
**Nicht klassifiziert**

(74) **Anwalt: GAGEL, Roland;** Landsbergerstrasse 480a,  
81241 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2008/002141

(81) **Bestimmungsstaaten** (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart*): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(22) Internationales Anmeldedatum:  
19. Dezember 2008 (19.12.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) **Angaben zur Priorität:**  
10 2007 061 549.5  
20. Dezember 2007 (20.12.2007) DE

(71) **Anmelder** (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.** [DE/DE]; Hansastrasse 27c, 80686 München (DE).

(84) **Bestimmungsstaaten** (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart*): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(72) **Erfinder; und**  
(75) **Erfinder/Anmelder** (*nur für US*): **MEINERS, Wilhelm** [DE/DE]; Roermonderstrasse 258b, 52072 Aachen (DE). **OSTHOLT, Roman** [DE/DE]; Preussenstrasse 20, 41464 Neuss (DE). **SCHLEIFENBAUM, Heinrich** [DE/DE]; Saarstrasse 2a, 52062 Aachen (DE).

**Veröffentlicht:**  
— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

(54) **Title:** METHOD FOR ALTERING THE BEAM DIAMETER OF A LASER BEAM ON A MACHINING PLANE AND ASSEMBLY DESIGNED THEREFOR

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN ZUR ÄNDERUNG DES STRAHLDURCHMESSERS EINES LASERSTRAHLS IN EINER BEARBEITUNGSEBENE SOWIE DAFÜR AUSGEBILDETE ANORDNUNG

(57) **Abstract:** The invention relates to a method for altering the beam diameter of a laser beam on a machining plane (8) in the generative production of components and to an assembly that is designed to carry out said method for machining a component or material using a laser beam. According to said method, the machining laser beam is guided by an optical fibre (1, 2) to an optical system (4, 7) that is used to direct the laser beam onto the machining plane by means of a focusing lens system (7). The method is characterised in that at least two optical fibres (1, 2) with different fibre core diameters are used and to alter the beam diameter, the machining laser beam is switched between being guided via the first of the two optical fibres (1) and the optical system (4, 7) to the machining plane (8) and being guided via the second of the two optical fibres (2) and the optical system (4, 7) to the machining plane (8). The method and associated assembly permit a higher laser output with the increase in beam diameter than with the use of zoom lenses for altering the beam diameter. The method and assembly are particularly suitable for use in laser-based generative production methods.

(57) **Zusammenfassung:** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Änderung eines Strahldurchmessers eines Laserstrahls in einer Bearbeitungsebene (8) bei der generativen Fertigung von Bauteilen sowie eine für die Durchführung des Verfahrens ausgebildete Anordnung zur Bearbeitung eines Bauteils oder Werkstoffs mit einem Laserstrahl. Bei dem Verfahren wird der zur Bearbeitung eingesetzte Laserstrahl über eine Lichtleitfaser (1, 2) zu einem optischen System (4, 7) geführt, mit dem der Laserstrahl über eine Fokussieroptik (7) auf die Bearbeitungsebene gerichtet wird. Das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass mindestens zwei Lichtleitfasern (1, 2) mit unterschiedlichem Faserkerndurchmesser eingesetzt werden, wobei der zur Bearbeitung eingesetzte Laserstrahl zur Änderung des Strahldurchmessers zwischen einer Führung über die erste der beiden Lichtleitfasern (1) und das optische System (4, 7) zur Bearbeitungsebene (8) und einer Führung über die zweite der beiden Lichtleitfasern (2) und das optische System (4, 7) zur Bearbeitungsebene (8) umgeschaltet wird. Mit dem Verfahren und der zugehörigen Anordnung lassen sich bei Vergrößerung des Strahldurchmessers höhere Laserleistungen nutzen als bei Verwendung von Zoom-Objektiven für die Änderung des Strahldurchmessers. Das Verfahren und die Anordnung eignen sich vor allem für die Anwendung bei laserbasierten generativen Fertigungsverfahren.



WO 2009/080016 A2

Verfahren zur Änderung des Strahldurchmessers  
eines Laserstrahls in einer Bearbeitungsebene sowie  
dafür ausgebildete Anordnung

**Technisches Anwendungsgebiet**

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Änderung eines Strahldurchmessers eines Laserstrahls in einer Bearbeitungsebene, insbesondere bei der generativen Fertigung von Bauteilen, bei dem der Laserstrahl über eine Lichtleitfaser zu einem optischen System geführt wird, mit dem der zur Bearbeitung eingesetzte Laserstrahl über eine Fokussieroptik auf die Bearbeitungsebene gerichtet wird. Die Erfindung betrifft auch eine Anordnung zur Bearbeitung eines Bauteils oder Werkstoffs mit einem Laserstrahl, die ein derartiges Verfahren ermöglicht.

Ein Hauptanwendungsgebiet der Erfindung ist die generative Fertigung von Bauteilen, auch unter den Begriffen Rapid Manufacturing oder Rapid Prototyping bekannt. Bei der generativen Fertigung werden Bauteile schichtweise durch Hinzufügen von Material aufgebaut. So wird beispielsweise bei den Verfahren des Selective Laser Sintering (SLS), des Selective Laser Melting (SLM) oder des Laser Cusing der hinzuzufügende Werkstoff in Pulverform verarbeitet. Der Pulverwerkstoff wird in einer dünnen Schicht von ca. 100 µm auf eine absenkbare Bauplattform aufgetragen. Die Pulverschicht wird anschließend selektiv verfestigt, indem mit einem Laserstrahl gemäß der Geometriedaten des herzustellen- den Bauteils der Bereich der Pulverschicht abgescannt wird, der zu der entsprechenden Bauteilschicht gehört.

- 2 -

Durch die Einwirkung der Laserstrahlung schmilzt oder versintert der Pulverwerkstoff in diesem Bereich. Danach wird die Bauplattform um eine Schichtdicke abgesenkt. Anschließend wird eine neue Pulverschicht  
5 darüber aufgetragen und wiederum verfestigt. So wird Schicht für Schicht ein Bauteil aus dem Pulver aufgebaut.

Derartige generative Fertigungsverfahren werden  
10 beispielsweise zur schnellen Herstellung von Prototypen, Einzelteilen oder Kleinserien angewendet. Außerdem werden mit den generativen Verfahren Bauteile gefertigt, die aufgrund ihrer komplexen internen Geometrie nicht mit anderen Verfahren, beispielsweise  
15 spanenden oder gießtechnischen Verfahren, herstellbar sind. Ein Beispiel hierfür ist die Fertigung von Einsätzen für Spritzgießwerkzeuge mit internen konturnahen Kühlkanälen. Als Pulverwerkstoffe werden beispielsweise Metalle, Keramiken und Kunststoffe  
20 verwendet.

#### **Stand der Technik**

Bei dem Aufbau eines Bauteils mit einem generativen Fertigungsverfahren wird ein fokussierter  
25 Laserstrahl zeilenweise gemäß der Geometrie der aufzubauenden Schicht mit einem Scanner über die Pulverschicht geführt. Die Verfahrensparameter, insbesondere Schichtdicke, Laserleistung, Strahldurchmesser und Scan-Geschwindigkeit, werden dabei so  
30 gewählt, dass eine möglichst gute Bauteilqualität bezüglich der Oberflächenqualität, der Detailauflösung und der Dichte erreicht wird. Diese Parameter führen im Allgemeinen zu einer relativ geringen Aufbaurate.

- 3 -

Dadurch ist der Fertigungsprozess für viele Anwendungen unwirtschaftlich.

Zur Beschleunigung des Aufbauprozesses ist es  
5 bekannt, die so genannte Hülle-Kern-Strategie einzu-  
setzen. Dabei wird das Bauteil virtuell in einen  
Hüllbereich und einen Kernbereich aufgeteilt. Der  
Hüllbereich umfasst das Bauteilvolumen, das sich bis zu  
einem bestimmten Abstand von der Oberfläche des Bau-  
10 teils erstreckt. Der Kernbereich umfasst das restliche  
Bauteilvolumen, das sich weiter im Innern des Bauteils  
befindet. Beim Bauprozess wird bei jeder Schicht  
zunächst der Hüllbereich mit den Verfahrensparametern  
aufgebaut, die eine gute Bauteilqualität bezüglich der  
15 Oberflächenqualität, der Detailauflösung und der Dichte  
ergeben, jedoch eine geringe Aufbaurate aufweisen. Dies  
wird hauptsächlich durch Einstellung eines relativ  
kleinen Durchmessers des Laserstrahls in der  
Bearbeitungsebene (z.B. 100  $\mu\text{m}$ ) in Kombination mit  
20 einer geringen Laserleistung (z.B. 100 W) erreicht.  
Anschließend wird der Kernbereich der Schicht mit  
Verfahrensparametern aufgebaut, die eine geringere  
Bauteilqualität ergeben, jedoch eine hohe Aufbaurate  
aufweisen. Dies wird hauptsächlich durch die Einstel-  
25 lung eines relativ großen Durchmessers des Laserstrahls  
in der Bearbeitungsebene (z.B. 0,3 mm) in Kombination  
mit höherer Laserleistung (z.B. 200 W) erreicht. Durch  
Einstellung eines größeren Laserstrahldurchmessers  
verringert sich die Anzahl der einzelnen Bahnen, die  
30 mit dem Laserstrahl abgefahren werden müssen, um die  
Kernfläche zu füllen. Damit kann der Bauprozess  
insgesamt beschleunigt werden.

- 4 -

Die Einstellung des Strahldurchmessers in der Bearbeitungsebene erfolgt bisher üblicherweise mit einem so genannten Zoom-Objektiv. Mit diesem Objektiv kann der Durchmesser des Laserstrahls vor der

5 Fokussierlinse, im Folgenden als Rohstrahl bezeichnet, verkleinert werden, wodurch sich eine Vergrößerung des Strahldurchmessers im Fokus ergibt. Alternativ kann mit einem geeigneten Objektiv die Divergenz des Laser-

10 strahls verändert werden, wodurch sich die Fokusslage aus der Bearbeitungsebene heraus verschiebt. Dadurch wird ebenfalls ein größerer Strahldurchmesser in der Bearbeitungsebene erreicht. Für den Aufbauprozess gilt im Allgemeinen, dass mit größerem Strahldurchmesser in der Bearbeitungsebene zum einen die Aufbaurate zunimmt

15 und zum anderen eine höhere Laserleistung erforderlich ist, um das Pulver vollständig zu schmelzen.

Ein Nachteil dieser bekannten Verfahren zur Änderung des Strahldurchmessers liegt darin, dass bei

20 Verkleinerung des Durchmessers des Rohstrahls zur Vergrößerung des Fokusdurchmessers die maximal zulässige Intensität der optischen Komponenten, beispielsweise der Scannerspiegel, bereits bei geringerer Laserleistung erreicht wird, als dies bei

25 unverändertem Rohstrahldurchmesser der Fall wäre. Eine Überschreitung der maximal zulässigen Intensität führt zur Zerstörung der optischen Komponenten. Daher ist entweder der minimal einstellbare Rohstrahldurchmesser - und damit der maximal einstellbare Fokusdurchmesser -

30 oder die maximal verwendbare Laserleistung begrenzt. Eine Vergrößerung des Strahldurchmessers durch Verschiebung der Fokusslage weist den Nachteil auf, dass bei Verwendung einer Lichtleitfaser für den Transport

- 5 -

der Laserstrahlung von der Strahlquelle zum optischen System die Intensitätsverteilung der Laserstrahlung außerhalb der Fokusslage stark von einer idealen Intensitätsverteilung im Fokus abweicht, die ein so  
5 genanntes Top Hat Profil aufweist.

Die DE 199 53 000 A1 zeigt ein Verfahren und eine Einrichtung zur generativen Fertigung von Körpern nach dem Hülle-Kern-Verfahren. Die Kontur des Körpers wird  
10 mit einer ersten, einen kleinen Fokus aufweisenden, Strahlungsquelle verschweißt oder versintert. Der Kern wird mit einer zweiten, einen größeren Fokus aufweisenden, Strahlungsquelle verschweißt bzw. versintert wird.

15

Aus dem technischen Gebiet der Abtragung von elektrisch leitenden Indium-Zinn-Oxid-(ITO)-Film von Substraten ist durch die JP 2003-211 279 A ein Lasersystem bekannt, mit dem der ITO-Film von  
20 unterschiedlichen Substraten, einem ITO-beschichteten Glas bzw. einem ITO-beschichteten Film, abgetragen wird. Für die unterschiedlichen Substrate sind hierzu in der Bearbeitungsebene unterschiedliche Energiedichten erforderlich. Diese werden erzeugt, in  
25 dem der Laserstrahl wahlweise in eine von zwei Lichtleitfasern eingekoppelt wird, die einen unterschiedlichen Faserkerndurchmesser aufweisen.

Aus dem technischen Gebiet des Laserschweißens ist  
30 durch die EP 1 714 729 A2 eine Anordnung und ein Verfahren bekannt, bei denen gepulstes Laserlicht aus zwei Laserquellen jeweils in eine Lichtleitfaser eingespeist und mit jeweils einer Kollimationsoptik zur

- 6 -

Erzielung eines optimalen Schweißergebnisses auf unterschiedliche Strahldurchmesser kollimiert wird. Die kollimierten Laserstrahlen werden überlagert und anschließend auf einen Bearbeitungspunkt fokussiert.

5

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Verfahren sowie eine Anordnung anzugeben, mit denen der Strahldurchmesser in der Bearbeitungsebene ohne die obigen Nachteile verändert werden kann.

10

#### **Darstellung der Erfindung**

Die Aufgabe wird mit dem Verfahren und der Anordnung gemäß den Patentansprüchen 1 und 6 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sowie der Anordnung sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche oder lassen sich der nachfolgenden Beschreibung sowie dem Ausführungsbeispiel entnehmen.

15

Bei dem vorgeschlagenen Verfahren zur Änderung des Strahldurchmessers eines Laserstrahls in einer Bearbeitungsebene bei der generativen Fertigung von Bauteilen wird der zur Bearbeitung eingesetzte Laserstrahl über eine Lichtleitfaser zu einem optischen System geführt, mit dem der Laserstrahl über eine Fokussieroptik auf die Bearbeitungsebene gerichtet wird. Das optische System kann hierbei beispielsweise in einem Bearbeitungskopf untergebracht sein. Bei diesem optischen System handelt es sich vorzugsweise um ein Scannersystem mit einer geeigneten Fokussieroptik. Derartige Scannersysteme bestehen aus einem oder mehreren kipp- oder drehbaren Reflektoren, beispielsweise Scanner-Spiegeln, die mit ihrer Bewegung eine ein- oder zweidimensionale Abtastbewegung des

20

25

30

- 7 -

Laserstrahls in der Bearbeitungsebene erzeugen können. Das vorgeschlagene Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass mindestens zwei Lichtleitfasern mit unterschiedlichem Faserkerndurchmesser zwischen ein oder mehreren  
5 Laserquellen und dem optischen System eingesetzt werden. Der zur Bearbeitung eingesetzte Laserstrahl wird zur Erzeugung eines ersten Strahldurchmessers in der Bearbeitungsebene über eine der beiden Lichtleitfasern geführt und bei Austritt aus dieser  
10 Lichtleitfaser mit einer dieser Faser zugeordneten Kollimationsoptik auf einen Rohstrahldurchmesser kollimiert, um dann mit dem optischen System auf die Bearbeitungsebene gerichtet zu werden. Zur Änderung des Strahldurchmessers, d.h. zur Erzeugung eines zweiten  
15 Strahldurchmessers in der Bearbeitungsebene, wird der zur Bearbeitung eingesetzte Laserstrahl über die andere Lichtleitfaser geführt und bei Austritt aus dieser Lichtleitfaser mit einer dieser Faser zugeordneten Kollimationsoptik auf den gleichen Rohstrahldurchmesser  
20 kollimiert, um dann ebenfalls mit dem optischen System auf die Bearbeitungsebene gerichtet zu werden.

Die Änderung des Strahldurchmessers von einem ersten in einen zweiten Strahldurchmesser wird beim  
25 vorliegenden Verfahren damit dadurch gelöst, dass der Laserstrahl zur Erzeugung unterschiedlicher Strahldurchmesser in Lichtleitfasern mit unterschiedlichem Faserkerndurchmesser zum optischen System geführt wird. Zur Umschaltung zwischen den zumindest zwei Strahl-  
30 durchmessern wird vorzugsweise eine eingangsseitige Umschalteinrichtung zwischen dem Laser und den Lichtleitfasern eingesetzt, über die der Laserstrahl zwischen einer Einkopplung in die eine Lichtleitfaser

- 8 -

und einer Einkopplung in die andere Lichtleitfaser umgelenkt bzw. umgeschaltet werden kann. Bei einer derartigen Umschalteneinrichtung kann es sich beispielsweise um ein klappbares oder verschiebbares Spiegelement handeln. Auf Seite des optischen Systems ist ebenfalls ein entsprechendes Element vorgesehen, über das der aus der jeweiligen Lichtleitfaser austretende Laserstrahl nach der Kollimierung in das optische System eingekoppelt wird, so dass der Laserstrahl unabhängig von der Lichtleitfaser, auf der er zum optischen System geführt würde, stets auf dem gleichen Pfad durch das optische System geführt wird. In einer alternativen Ausgestaltung kann auch auf die eingangsseitige Umschalteneinrichtung verzichtet werden, indem Laserstrahlung gleichzeitig in beide Lichtleitfasern eingekoppelt wird. Dies kann bspw. über zwei getrennte Laser oder eine Aufspaltung des Laserstrahls eines Lasers erfolgen. In dieser alternativen Ausgestaltung ist eine ausgangsseitige Umschalteneinrichtung am optischen System erforderlich, mit der wahlweise der aus der einen oder der aus der anderen Lichtleitfaser austretende Laserstrahl über das optische System in die Bearbeitungsebene geführt werden kann.

25 Durch geeignete Ausbildung der Kollimationsoptiken für die unterschiedlichen Lichtleitfasern wird der kollimierte Laserstrahl für alle eingesetzten Lichtleitfasern jeweils auf den gleichen Rohstrahldurchmesser gebracht werden. Aufgrund der unterschiedlichen Faserkerndurchmesser ergeben sich dabei für die unterschiedlichen Lichtleitfasern dennoch unterschiedliche Fokusdurchmesser in der Bearbeitungsebene, da die Kombination aus Kollimationsoptik und Fokussierlinse

die Austrittsfläche der jeweiligen Lichtleitfaser in die Fokusebene und somit in die Bearbeitungsebene abbildet. Der Durchmesser des Rohstrahls kann über die Brennweite der Kollimationsoptik, bspw. eine  
5 Kollimationslinse, so groß gewählt werden, dass auch bei hoher Laserleistung von beispielsweise 1 kW die Intensität auf den optischen Komponenten des optischen Systems unterhalb der Zerstörschwelle bleibt. Dadurch können bei Einstellung eines großen Strahldurchmessers  
10 in der Bearbeitungsebene höhere Laserleistungen für die Bearbeitung verwendet werden, als dies bei Vergrößerung des Strahldurchmessers mittels Zoom-Objektiv durch Verkleinerung des Rohstrahldurchmessers möglich ist. Außerdem ergibt sich beim vorgeschlagenen Verfahren bei  
15 der Umschaltung zwischen den unterschiedlichen Strahldurchmessern keine Fokusverschiebung, so dass bei entsprechender Einstellung der Fokussierlinse oder des Abstands zur Bearbeitungsebene die Bearbeitung immer im Fokus erfolgen kann, d.h. mit einer vorteilhaften Top  
20 Hat Intensitätsverteilung. Die Strahldurchmesser lassen sich auch hierbei einfach durch Umschaltung der Laserstrahlung zwischen den Lichtleitfasern mit unterschiedlichem Faserkerndurchmesser ändern.

25 Die vorgeschlagene Anordnung zur Bearbeitung eines Bauteils oder Werkstoffs mit einem Laserstrahl weist ein optisches System mit zumindest einer Scannereinheit und einer Fokussieroptik auf, mit denen der zur  
Bearbeitung eingesetzte Laserstrahl in eine Bearbeitungsebene fokussierbar ist. Zwischen einer oder  
30 mehreren Laserquellen und dem optischen System sind mindestens zwei Lichtleitfasern angeordnet, über die der zur Bearbeitung eingesetzte Laserstrahl zum

- 10 -

optischen System geführt werden kann. Am Faserausgang der Lichtleitfasern ist jeweils eine Kollimationsoptik zur Kollimierung des aus der jeweiligen Lichtleitfaser austretenden Laserstrahls angeordnet, wobei die  
5 Kollimationsoptiken jeweils so ausgebildet sind, dass der Laserstrahl für beide Lichtleitfasern auf den gleichen Durchmesser vor der Fokussieroptik eingestellt wird. Die Anordnung weist weiterhin eine  
10 Umschalteinrichtung auf, über die zwischen einer Führung des zur Bearbeitung eingesetzten Laserstrahls über eine erste der beiden Lichtleitfasern und das optische System in die Bearbeitungsebene und einer Führung des zur Bearbeitung eingesetzten Laserstrahls über eine zweite der beiden Lichtleitfasern und das  
15 optische System in die Bearbeitungsebene umgeschaltet werden kann. Die mindestens zwei Lichtleitfasern haben bei der vorgeschlagenen Anordnung einen unterschiedlichen Faserkerndurchmesser.

20 Die Umschalteinrichtung kann eine eingangsseitige Umschalteinheit an einem Fasereingang der beiden Lichtleitfasern umfassen, über die der von einem Laser emittierte Laserstrahl zwischen einer Einkopplung in die erste Lichtleitfaser und einer Einkopplung in die  
25 zweite Lichtleitfaser umgeschaltet werden kann. Alternativ oder zusätzlich kann die Umschalteinrichtung auch eine ausgangsseitige Umschalteinheit am optischen System umfassen, mit der zwischen einer Führung des aus der ersten Lichtleitfaser austretenden Laserstrahls  
30 über das optische System in die Bearbeitungsebene und einer Führung des aus der zweiten Lichtleitfaser austretenden Laserstrahls über das optische System in die Bearbeitungsebene umschaltbar ist.

- 11 -

Die Kollimationsoptiken sind jeweils so ausgebildet, dass der Laserstrahl die Fokussieroptik für beide Lichtleitfasern mit dem gleichen Rohstrahl-  
5 durchmesser durchläuft.

Die Anordnung setzt somit ein fasergekoppeltes Lasersystem mit mindestens zwei Faserausgängen und mindestens zwei Lichtleitfasern mit unterschiedlichen  
10 Faserkerndurchmessern ein. Die Laserstrahlung wird laserseitig in eine ausgewählte Faser eingekoppelt. Am Austrittsende der Faser wird die Laserstrahlung kollimiert. Über einen beweglichen Spiegel oder ein anderes geeignetes optisches Element wird der  
15 kollimierte Strahl der ausgewählten Faser in das Scannersystem eingekoppelt. Nach dem Scannersystem wird der kollimierte Strahl mit einer Fokussieroptik, bspw. einer Linse, fokussiert. Diese Fokussieroptik könnte sich auch vor dem Scannersystem befinden oder in das  
20 Scannersystem integriert sein. Durch die Verwendung der unterschiedlichen Faserkerndurchmesser und sonst gleichen optischen Komponenten des optischen Systems ist die Fokuslage der Strahlengänge aller Fasern gleich, es ergeben sich jedoch unterschiedliche  
25 Fokusdurchmesser in der Bearbeitungsebene oder deren Umgebung.

Mit dem vorgeschlagenen Verfahren und der vorgeschlagenen Anordnung können bei laserbasierten  
30 generativen Fertigungsverfahren während des Aufbau- prozesses unterschiedliche Laserstrahldurchmesser für den Hüllbereich und den Kernbereich eingestellt werden. Hierbei kann die Bearbeitung für die unterschiedlichen

- 12 -

Strahldurchmesser im Fokus erfolgen, so dass eine  
Bearbeitung mit der gewünschten Top Hat Intensitäts-  
verteilung erreicht wird. So kann beispielsweise für  
den Hüllbereich ein Strahldurchmesser von ca. 200 µm  
5 eingestellt werden, während für den Kernbereich der  
Strahldurchmesser beispielsweise auf ca. 1,2 mm  
vergrößert werden und gleichzeitig eine Laserstrahl-  
leistung im Kilowattbereich verwendet werden kann.  
Dadurch kann die generative Fertigung von Bauteilen  
10 erheblich beschleunigt werden, beispielsweise bei  
Bauteilen mit massiver Geometrie, wie z.B. Formeinsätze  
für Spritzgießwerkzeuge. Die Faserkerndurchmesser der  
beiden eingesetzten Lichtleitfasern unterscheiden sich  
dabei vorzugsweise um mindestens den Faktor 4.  
15 Selbstverständlich können jedoch, je nach gewünschter  
Änderung des Strahldurchmessers, auch größere oder  
kleinere Abstufungen im Faserkerndurchmesser zwischen  
den eingesetzten Lichtleitfasern genutzt werden. Auch  
die Verwendung von mehr als zwei Lichtleitfasern, die  
20 sich jeweils im Faserkerndurchmesser unterscheiden, ist  
beim vorgeschlagenen Verfahren und der zugehörigen  
Anordnung selbstverständlich möglich. Weiterhin ist die  
Anwendung des Verfahrens und der Anordnung nicht auf  
das bevorzugte Anwendungsgebiet der generativen  
25 Fertigungsverfahren beschränkt. Vielmehr lässt sich  
diese Technik bei allen laserbasierten Verfahren  
einsetzen, bei denen in einer Bearbeitungs- oder  
Messebene zwischen unterschiedlichen Strahldurchmessern  
umgeschaltet werden muss.

30

#### **Kurze Beschreibung der Zeichnungen**

Das vorgeschlagene Verfahren und die zugehörige Anordnung werden nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels in Verbindung mit den Zeichnungen ohne Beschränkung des durch die Patentansprüche vorgegebenen Schutzbereichs nochmals kurz erläutert. Hierbei zeigen:

Fig. 1 das Prinzip des optischen Strahlengangs bei dem vorgeschlagenen Verfahren und der zugehörigen Anordnung in schematischer Darstellung;

Fig. 2 ein Beispiel für einen Teil des optischen Aufbaus beim vorgeschlagenen Verfahren und der zugehörigen Anordnung.

#### **Wege zur Ausführung der Erfindung**

In diesem Beispiel werden das Verfahren und die Anordnung am Beispiel eines generativen Fertigungsverfahrens mit Anwendung der Hülle-Kern-Strategie erläutert. In Fig. 1 ist schematisch das Prinzip des optischen Strahlengangs des vorgeschlagenen Verfahrens sowie der vorgeschlagenen Anordnung für den Fall von zwei Lichtleitfasern mit unterschiedlichem Faserkerndurchmesser dargestellt. Die erste Faser 1 weist hierbei den Faserkerndurchmesser  $D_1$  auf, der kleiner als der Faserkerndurchmesser  $D_2$  der zweiten Faser 2 ist. Die beiden Fasern kommen vom eingesetzten Laser, dessen emittierter Laserstrahl je nach beabsichtigtem Strahldurchmesser entweder in die erste Faser 1 oder in die zweite Faser 2 eingekoppelt wird. Die hierfür erforderliche Umschalteneinrichtung für die Umschaltung der Einkopplung zwischen der ersten Faser 1 und der zweiten Faser 2 ist in der Figur nicht dargestellt.

- 14 -

Hierbei kann es sich beispielsweise um ein System mit einem beweglichen Umlenkspiegel 3 handeln, wie er im Nachfolgenden für die Einkopplung der Laserstrahlung in das Scannersystem des optischen Systems beschrieben wird.

Für die Bearbeitung der Hülle jeder Schicht wird die Laserstrahlung am Laser in die erste Faser 1 eingekoppelt. Am Austrittsende dieser Faser 1 wird die austretende Laserstrahlung in der Kollimationsoptik 5 mit der Brennweite  $f_{K1}$  kollimiert. Ein beweglicher Umlenkspiegel 3 wird so positioniert, dass die kollimierte Laserstrahlung der Faser 1 in den Scanner 4 geführt wird. Am Austritt aus dem Scanner 4 wird die Strahlung mit einer Fokussierlinse 7 der Brennweite  $f$  auf die Bearbeitungsebene 8 fokussiert. Durch Verwendung der ersten Faser 1 mit dem Faserkerndurchmesser  $D1$  ergibt sich der Fokusedurchmesser  $d_{F1} = (f \cdot D1) / f_{K1}$  in der Bearbeitungsebene 8.

Zur Bearbeitung des Kerns jeder Schicht wird am Laser die Laserstrahlung in die zweite Faser 2 mit dem größeren Faserkerndurchmesser  $D2$  eingekoppelt. Gleichzeitig wird der bewegliche Umlenkspiegel 3 aus dem Strahlengang entfernt. Die zweite Faser 2 ist so angeordnet, dass die mittels der Kollimationsoptik 6 mit der Brennweite  $f_{K2}$  kollimierte Laserstrahlung in den Scanner 4 geführt wird. Der Fokusedurchmesser beträgt mit dieser Einstellung  $d_{F2} = (f \cdot D2) / f_{K2}$ . Daraus ergibt sich, dass das Verhältnis der Fokusedurchmesser für den Hüll- und Kernbereich gegeben ist durch:

- 15 -

$$d_{F2} / d_{F1} = (D_2 \cdot f_{K1}) / (D_1 \cdot f_{K2});$$

und falls  $f_{K1} = f_{K2}$  durch:

5  $d_{F2} / d_{F1} = D_2 / D_1.$

Damit lassen sich durch Nutzung der beiden Fasern 1, 2 mit unterschiedlichem Faserkerndurchmesser  $D_1$ ,  $D_2$  durch einfaches Umschalten zwischen den beiden Fasern  
10 unterschiedliche Strahldurchmesser in der Bearbeitungsebene einstellen. Da für beide Lichtleitfasern der gleiche Strahlengang im Scanner 4 und durch die Fokussierlinse 7 genutzt wird, ist die Fokusslage in der Bearbeitungsebene jeweils gleich, so dass für die  
15 unterschiedlichen Strahldurchmesser jeweils eine Top Hat Intensitätsverteilung erreicht werden kann. Durch Einstellung annähernd gleicher Durchmesser der kollimierten Laserstrahlen nach dem Austritt aus den Fasern können deutlich höhere Laserleistungen für die  
20 Erzeugung des größeren Strahldurchmessers in der Bearbeitungsebene eingesetzt werden, als dies mit den eingangs genannten Verfahren des Standes der Technik bei Nutzung von Zoom-Objektiven der Fall ist.

25 Fig. 2 zeigt schließlich ein Beispiel für einen Aufbau zur Einkopplung der über die Lichtleitfasern eintreffenden Laserstrahlung in eine Bearbeitungskopf 11, in dem sich der Scanner und die Fokussierlinse befinden. Die beiden Lichtleitfasern 1,  
30 2 sind hierbei am Bearbeitungskopf 11 fixiert. Fig. 2a zeigt einen Zustand, bei dem die Laserstrahlung über die obere Lichtleitfaser 1 geführt wird. Über entsprechende Umlenkspiegel 10 wird diese Laser-

- 16 -

strahlung durch die Scannereintrittsöffnung 9 in den Bearbeitungskopf eingekoppelt. Der bewegliche Umlenkspiegel 3 ist hierbei aus dem Strahlengang entfernt.

5            Fig. 2b zeigt einen Zustand, bei dem auf die untere Lichtleitfaser 2 umgeschaltet wurde. In diesem Falle wird der Umlenkspiegel 3 in den Strahlengang eingebracht, um die aus dieser Faser 2 austretende und kollimierte Laserstrahlung auch hier in die Scanner-  
10 eintrittsöffnung 9 des Bearbeitungskopfes einzukoppeln. Die Kollimationsoptiken sind hierbei jeweils am Austritt der beiden Lichtleitfasern angeordnet und in den Figuren nur andeutungsweise zu erkennen.

Bezugszeichenliste

	1	Erste Lichtleitfaser
	2	Zweite Lichtleitfaser
	3	Beweglicher Umlenkspiegel
5	4	Scanner
	5	Erste Kollimationsoptik
	6	Zweite Kollimationsoptik
	7	Fokussierlinse
	8	Bearbeitungsebene
10	9	Scannereintrittsöffnung
	10	Umlenkspiegel
	11	Bearbeitungskopf

Patentansprüche

1. Verfahren zur Änderung eines Strahldurchmessers  
eines Laserstrahls in einer Bearbeitungsebene (8)  
bei der generativen Fertigung von Bauteilen, bei  
5 dem der zur Bearbeitung eingesetzte Laserstrahl  
über eine Lichtleitfaser (1, 2) zu einem optischen  
System (4, 7) geführt wird, mit dem der Laserstrahl  
über eine Fokussieroptik (7) auf die  
Bearbeitungsebene (8) gerichtet wird,  
10 wobei mindestens zwei Lichtleitfasern (1, 2) mit  
unterschiedlichem Faserkerndurchmesser eingesetzt  
werden,  
der zur Bearbeitung eingesetzte Laserstrahl zur  
Erzeugung eines ersten Strahldurchmessers in der  
15 Bearbeitungsebene (8) über eine erste der beiden  
Lichtleitfasern (1) geführt und bei Austritt aus  
der ersten Lichtleitfaser (1) mit einer ersten  
Kollimationsoptik (5) kollimiert wird, und  
der zur Bearbeitung eingesetzte Laserstrahl zur  
20 Erzeugung eines zweiten Strahldurchmessers in der  
Bearbeitungsebene (8) über eine zweite der beiden  
Lichtleitfasern (2) geführt und bei Austritt aus  
der zweiten Lichtleitfaser (2) mit einer zweiten  
Kollimationsoptik (6) kollimiert wird, und  
25 der Laserstrahl mit der ersten und der zweiten  
Kollimationsoptik (5, 6) jeweils auf den gleichen  
Durchmesser vor der Fokussieroptik (7) kollimiert  
und mit der Fokussieroptik (7) in die Bearbeitungs-  
ebene (8) fokussiert wird.

- 19 -

2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das optische System (4, 7) mindestens ein  
Scannerelement (4) umfasst, mit dem die kollimierte  
5 Laserstrahlung auf die Bearbeitungsebene (8)  
gerichtet wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
10 dass die Faserkerndurchmesser der beiden Lichtleit-  
fasern (1, 2) so gewählt werden, dass sich die  
beiden Strahldurchmesser in der Bearbeitungsebene  
(8) um mindestens einen Faktor 4 unterscheiden.
- 15 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass eine Umschalteinrichtung eingesetzt wird, mit  
der der Laserstrahl zur Änderung des Strahldurch-  
messers zwischen einer Einkopplung in die erste  
20 Lichtleitfaser (1) und einer Einkopplung in die  
zweite Lichtleitfaser (2) umgeschaltet wird.
5. Anordnung zur Bearbeitung eines Bauteils oder  
Werkstoffs mit einem Laserstrahl, die  
25 - ein optisches System (4, 7) mit zumindest einer  
Scannereinheit (4) und einer Fokussieroptik (7),  
mit denen der zur Bearbeitung eingesetzte Laser-  
strahl in eine Bearbeitungsebene (8) fokussierbar  
ist,  
30 - mindestens zwei Lichtleitfasern (1, 2), über die  
der zur Bearbeitung eingesetzte Laserstrahl zum  
optischen System (4, 7) geführt wird, und  
- eine Umschalteinrichtung aufweist, über die

- 20 -

zwischen einer Führung des zur Bearbeitung  
eingesetzten Laserstrahls über eine erste der  
beiden Lichtleitfasern (1) und das optische System  
(4, 7) in die Bearbeitungsebene (8) und einer  
5 Führung des zur Bearbeitung eingesetzten Laser-  
strahls über eine zweite der beiden Lichtleitfasern  
(2) und das optische System (4, 7) in die  
Bearbeitungsebene (8) umgeschaltet werden kann,  
wobei die zwei Lichtleitfasern (1, 2) einen unter-  
10 schiedlichen Faserkerndurchmesser aufweisen und  
an einem Faserausgang jeweils eine Kollimations-  
optik (5, 6) zur Kollimierung des aus der Licht-  
leitfaser (1, 2) austretenden Laserstrahls  
angeordnet ist, wobei die Kollimationsoptiken (5,  
15 6) jeweils so ausgebildet sind, dass der  
Laserstrahl für beide Lichtleitfasern (1, 2) auf  
den gleichen Durchmesser vor der Fokussieroptik (7)  
eingestellt wird.

20 6. Anordnung nach Anspruch 5,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Umschalteneinrichtung eine eingangsseitige  
Umschalteinheit an einem Fasereingang der beiden  
Lichtleitfasern (1, 2) aufweist, über die der von  
25 einem Laser emittierte Laserstrahl zwischen einer  
Einkopplung in die erste Lichtleitfaser (1) und  
einer Einkopplung in die zweite Lichtleitfaser (2)  
umgeschaltet werden kann.

30 7. Anordnung nach Anspruch 5 oder 6,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Umschalteneinrichtung eine ausgangsseitige  
Umschalteinheit (3) am optischen System aufweist,

- 21 -

- mit der zwischen einer Führung des aus der ersten Lichtleitfaser (1) austretenden Laserstrahls über das optische System (4, 7) in die Bearbeitungsebene (8) und einer Führung des aus der zweiten
- 5 Lichtleitfaser (2) austretenden Laserstrahls über das optische System (4, 7) in die Bearbeitungsebene (8) umschaltbar ist.
8. Anordnung nach einem der Ansprüche 5 bis 7,
- 10 dadurch gekennzeichnet,  
dass sich die Faserkerndurchmesser der beiden Lichtleitfasern (1, 2) um mindestens einen Faktor 4 unterscheiden.

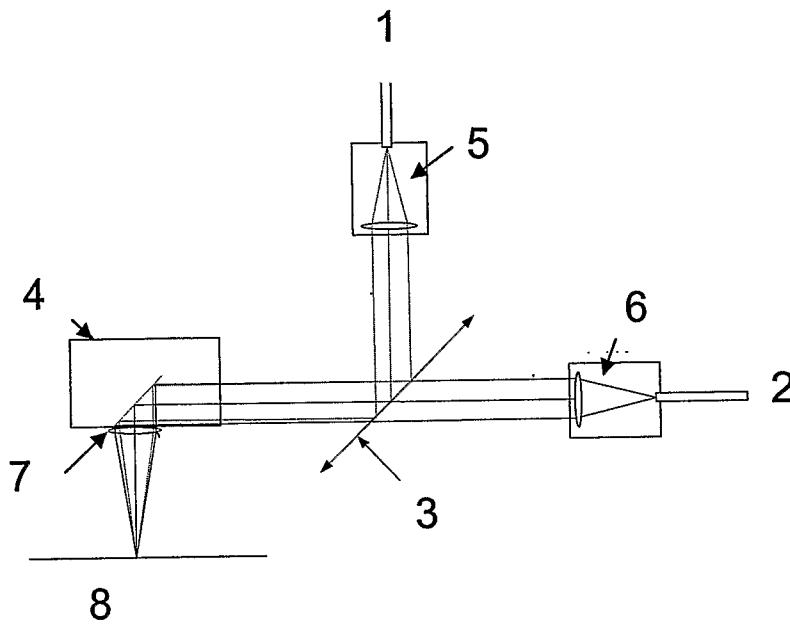


Fig. 1

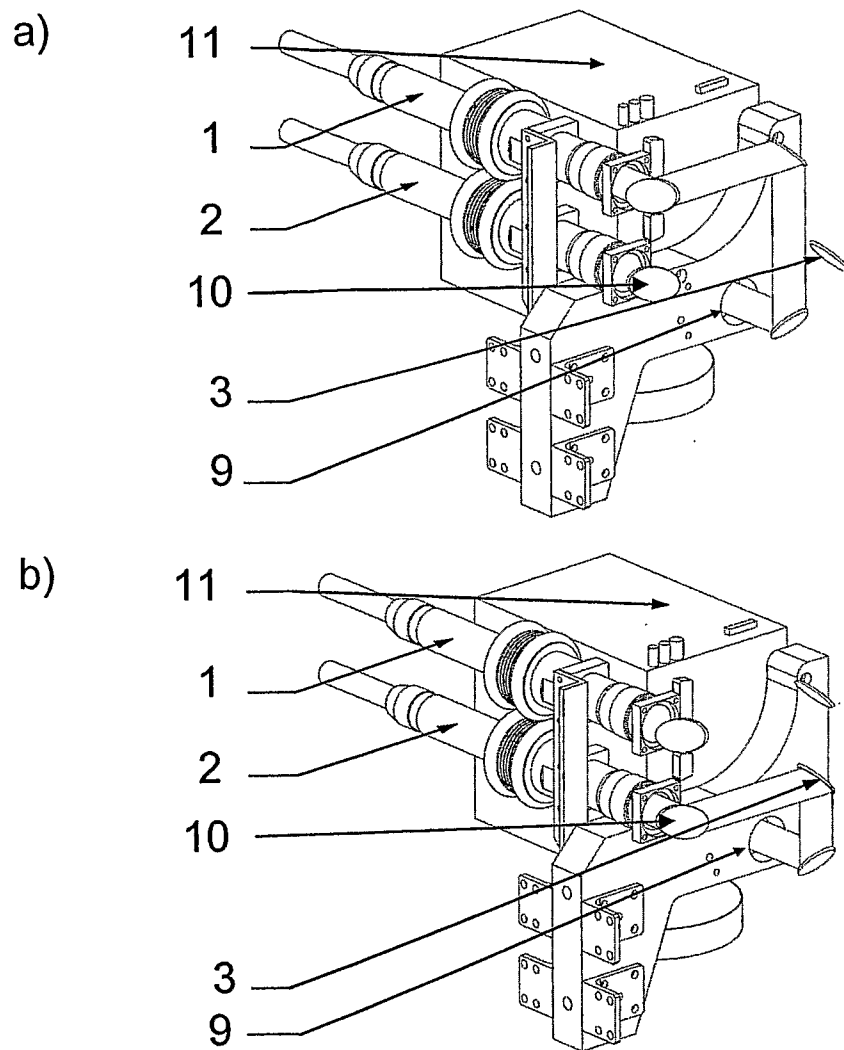


Fig. 2