(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
09. November 2023 (09.11.2023)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2023/213497 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G05B 19/404 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2023/059205

(22) Internationales Anmeldedatum:
06. April 2023 (06.04.2023)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2022 110 658.6
02. Mai 2022 (02.05.2022) DE

(71) Anmelder: **TRUMPF LASER- UND SYSTEMTECHNIK GMBH** [DE/DE]; Johann-Maus-Strasse 2, 71254 Ditzingen (DE).

(72) Erfinder: **BLICKLE, Valentin**; Rotenbergstraße 27, 70190 Stuttgart (DE). **PETERS, Julia**; 1101 Ludlow St, Apt 512, Philadelphia, Pennsylvania 19107 (US). **WALLER, Jörg**; Gottlieb-Daimler-Str. 2/2, 71106 Magstadt (DE). **GRONLE, Marc**; Jägerstr. 31, 71272 Renningen (DE).

(74) Anwalt: **TRUMPF PATENTABTEILUNG**; Trumpf SE + Co. KG, Johann-Maus-Strasse 2, 71254 Ditzingen (DE).

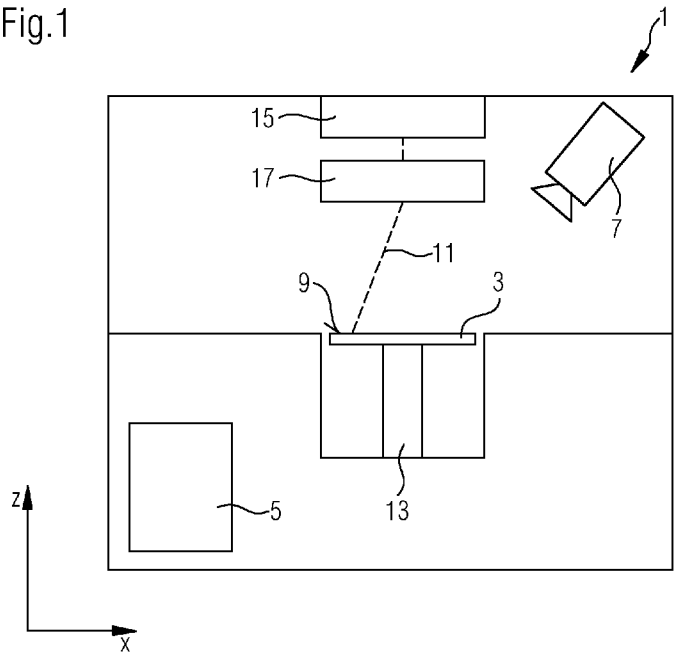
(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,

WO 2023/213497 A1

(54) **Title:** METHOD FOR MEASURING A BUILD PLATFORM OF A GENERATIVE MANUFACTURING DEVICE, CONTROL DEVICE FOR CARRYING OUT SUCH A METHOD, GENERATIVE MANUFACTURING DEVICE HAVING SUCH A CONTROL DEVICE, METHOD FOR THE GENERATIVE MANUFACTURING OF A COMPONENT, AND COMPUTER PROGRAM PRODUCT

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN ZUM VERMESSEN EINER BAUPLATTFORM EINER GENERATIVEN FERTIGUNGSVORRICHTUNG, STEUERVORRICHTUNG ZUR DURCHFÜHRUNG EINES SOLCHEN VERFAHRENS, GENERATIVE FERTIGUNGSVORRICHTUNG MIT EINER SOLCHEN STEUERVORRICHTUNG, VERFAHREN ZUM GENERATIVEN FERTIGEN EINES BAUTEILS UND COMPUTERPROGRAMMPRODUKT

Fig.1



(57) **Abstract:** The invention relates to a method for measuring a build platform (3) of a generative manufacturing device (1), comprising the following steps: - creating a first recording of the build platform (3) in a first state by means of a powder bed sensor (7) or by means of a sensor (19) for detecting remitted light (21) of an energy beam (11) in the generative manufacturing device (1); - detecting, in each case, a first marking position of at least two markings of the build platform (3) in the first recording; - comparing the first marking

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

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

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

positions in the first state with allocated second marking positions of the same markings in a second state of the build platform (3) by means of a mathematical calculation rule, and - obtaining, from the comparison, a deviation of the first marking positions from the allocated second marking positions.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Vermessen einer Bauplattform (3) einer generativen Fertigungsvorrichtung (1), mit folgenden Schritten: - Erstellen einer ersten Aufnahme der Bauplattform (3) in einem ersten Zustand mittels eines Pulverbett-Sensors (7) oder mittels eines Sensors (19) zur Erfassung von remittiertem Licht (21) eines Energiestrahls (11) in der generativen Fertigungsvorrichtung (1); - Erfassen jeweils einer ersten Markierungsposition von mindestens zwei Markierungen der Bauplattform (3) in der ersten Aufnahme; - Vergleichen der ersten Markierungspositionen in dem ersten Zustand mit zugeordneten zweiten Markierungspositionen derselben Markierungen in einem zweiten Zustand der Bauplattform (3) mittels einer mathematischen Berechnungsvorschrift, und - Erhalten einer Abweichung der ersten Markierungspositionen von den zugeordneten zweiten Markierungspositionen aus dem Vergleich.

BESCHREIBUNG

Verfahren zum Vermessen einer Bauplattform einer generativen Fertigungsvorrichtung, Steuervorrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens, generative Fertigungsvorrichtung mit einer solchen Steuervorrichtung, Verfahren zum generativen Fertigen eines Bauteils und Computerprogrammprodukt

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Vermessen einer Bauplattform einer generativen Fertigungsvorrichtung, ein Computerprogrammprodukt zur Durchführung eines solchen Verfahrens, eine Steuervorrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens, eine generative Fertigungsvorrichtung mit einer solchen Steuervorrichtung, ein Verfahren zum generativen Fertigen eines Bauteils und ein Computerprogrammprodukt zur Durchführung eines solchen Verfahrens.

Bei der generativen Fertigung von Bauteilen in einer generativen Fertigungsvorrichtung ist es notwendig, dass eine Ausrichtung der Bauplattform in der generativen Fertigungsvorrichtung bekannt ist. Insbesondere soll die Bauplattform waagerecht oder zumindest parallel zu einem Boden einer Prozesskammer der generativen Fertigungsvorrichtung ausgerichtet sein, um eine homogene Schichtdicke des Pulvermaterials auf der Bauplattform zu gewährleisten. Weiterhin ist es während eines Vorheizens oder während der generativen Fertigung notwendig, eine thermische Ausdehnung der Bauplattform zu überwachen, um die generative Fertigung und insbesondere eine Verlagerung des Energiestrahls daran anzupassen. Sind auf der Bauplattform Vorformlinge angeordnet, auf denen generativ gefertigte Bauteilabschnitte hergestellt werden sollen, um jeweils ein Bauteil aus einem Vorformling und einem darauf generativ gefertigten Bauteilabschnitt auszubilden, ist es für eine präzise Fertigung nötig, zum einen die genaue Lage, zum anderen aber bevorzugt auch eine thermische Ausdehnung des Vorformlings zu kennen. Weiterhin ist es möglich, dass die Bauplattform und ein auf der Bauplattform angeordneter Vorformling

unterschiedliche Werkstoffe aufweisen, sodass sich die thermischen Ausdehnungen der Bauplattform und des Vorformlings unterscheiden. Bei einer fehlerhaften Ausrichtung der Bauplattform oder einer fehlerhaften Anpassung der generativen Fertigung an die thermische Ausdehnung der Bauplattform und/oder des Vorformlings kann eine zuverlässige und insbesondere maßgerechte generative Fertigung der Bauteile nicht garantiert werden.

Unter einem Vorformling wird insbesondere ein Bauteilabschnitt des zu fertigenden Bauteils verstanden, das vor einer generativen Fertigung bereits auf der Bauplattform angeordnet ist und somit insbesondere als Fundament für einen generativ gefertigten Bauteilabschnitt des zu fertigenden Bauteils dient.

Sowohl für die Ausrichtung der Bauplattform als auch für die Anpassung an die thermische Ausdehnung der Bauplattform ist eine Vermessung der Bauplattform notwendig.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Vermessen einer Bauplattform einer generativen Fertigungsvorrichtung, ein Computerprogrammprodukt zur Durchführung eines solchen Verfahrens, eine Steuervorrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens, eine generative Fertigungsvorrichtung mit einer solchen Steuervorrichtung, ein Verfahren zum generativen Fertigen eines Bauteils und ein Computerprogrammprodukt zur Durchführung eines solchen Verfahrens zu schaffen, wobei die genannten Nachteile zumindest teilweise behoben, vorzugsweise vermieden sind.

Die Aufgabe wird gelöst, indem die vorliegende technische Lehre bereitgestellt wird, insbesondere die Lehre der unabhängigen Ansprüche sowie der in den abhängigen Ansprüchen und der Beschreibung offenbarten Ausführungsformen.

Die Aufgabe wird insbesondere gelöst, indem ein Verfahren zum Vermessen einer Bauplattform einer generativen Fertigungsvorrichtung geschaffen wird. Dabei wird eine erste Aufnahme der Bauplattform in einem ersten Zustand mittels eines Pulverbett-Sensors in der generativen Fertigungsvorrichtung erstellt. Alternativ wird die erste Aufnahme der Bauplattform in dem ersten Zustand mittels eines Sensors zur Erfassung von remittiertem Licht eines Energiestrahls in der generativen Fertigungsvorrichtung erstellt. Anschließend werden in der ersten Aufnahme jeweils eine erste Markierungsposition von mindestens zwei Markierungen der Bauplattform erfasst. Die ersten Markierungspositionen in dem ersten Zustand werden mit zugeordneten zweiten Markierungspositionen derselben Markierungen in einem zweiten Zustand der Bauplattform

mittels einer mathematischen Berechnungsvorschrift verglichen, wobei aus dem Vergleich eine Abweichung der ersten Markierungspositionen von den zugeordneten zweiten Markierungspositionen erhalten wird.

Dadurch, dass der Pulverbett-Sensor oder remittiertes Licht von dem Energiestrahl genutzt wird, um die erste Aufnahme der Bauplattform zu erhalten, wird kein separater oder eigens zu dem Zweck der Vermessung der Bauplattform vorgesehener Sensor benötigt.

Damit ist es vorteilhafterweise möglich, die Bauplattform in einfacher Weise und ohne die Verwendung zusätzlicher Sensoren in der generativen Fertigungsvorrichtung zu vermessen.

Insbesondere ist ein Verfahren zum Erstellen der ersten Aufnahme der Bauplattform in dem ersten Zustand mittels eines Sensors zur Erfassung von remittiertem Licht eines Energiestrahls aus der deutschen Offenlegungsschrift DE 10 2018 219 301 A1 bekannt. Dabei wird ein Energiestrahl, insbesondere ein optischer Arbeitsstrahl, der generativen Fertigungsvorrichtung in einem Bereich der Bauplattform verlagert. Signalwerte von entlang einer optischen Achse des Energiestrahls remittiertem Licht des Energiestrahls werden ortsabhängig erfasst. Dabei wird jedem Ort der Verlagerung des Energiestrahls in dem Bereich der Bauplattform ein Signalwert zugeordnet. Schließlich wird aus den ortsabhängig erfassten Signalwerten die erste Aufnahme der Bauplattform erhalten.

Unter einem Pulverbett-Sensor wird insbesondere ein optischer Sensor, insbesondere eine Kamera, verstanden, die in der generativen Fertigungsvorrichtung angeordnet ist und eingerichtet ist, um ein insbesondere auf der Bauplattform aufgebrachtes Pulverbett aus Pulvermaterial zu überwachen. Der Pulverbett-Sensor ist vorzugsweise als Digitalkamera ausgebildet. Insbesondere weist der Pulverbett-Sensor einen lichtempfindlichen Sensor, vorzugsweise einen CCD- oder CMOS-Sensor, auf.

Unter einem additiven oder generativen Fertigen oder Herstellen eines Bauteils wird insbesondere ein schichtweises Aufbauen eines Bauteils aus Pulvermaterial verstanden, insbesondere ein Pulverbett-basiertes Verfahren zum Herstellen eines Bauteils in einem Pulverbett, insbesondere ein Fertigungsverfahren, das ausgewählt ist aus einer Gruppe, bestehend aus einem selektiven Lasersintern, einem Laser-Metall-Fusionieren (Laser Metal Fusion – LMF), einem direkten Metall-Laser-Schmelzen (Direct Metal Laser Melting – DMLM), einem Laser Net Shaping Manufacturing (LNSM), einem selektiven Elektronenstrahlschmelzen ((Selective) Electron Beam

Melting – (S)EBM), und einem Laser Engineered Net Shaping (LENS). Die generativen Fertigungsvorrichtung ist demnach insbesondere eingerichtet zur Durchführung von wenigstens einem der zuvor genannten additiven oder generativen Fertigungsverfahren.

Unter einer Bauplattform wird insbesondere ein Element, vorzugsweise eine Substratplatte, verstanden, die in die generative Fertigungsvorrichtung eingesetzt wird und auf welcher das Bauteil generativ gefertigt wird.

Unter einer Aufnahme der Bauplattform wird insbesondere eine zweidimensionale Abbildung der Bauplattform verstanden. Die Abbildung wird insbesondere erhalten, indem sie aus den ortsabhängig erfassten Signalwerten zusammengesetzt, berechnet oder in anderer Weise gebildet wird. Alternativ wird die zweidimensionale Abbildung der Bauplattform direkt als zweidimensionales Bild des Pulverbett-Sensors erhalten.

Unter einem Energiestrahl wird allgemein gerichtete Strahlung verstanden, die Energie transportieren kann. Hierbei kann es sich allgemein um Teilchenstrahlung oder Wellenstrahlung handeln. Insbesondere propagiert der Energiestrahl entlang einer Propagationsrichtung durch den physikalischen Raum und transportiert dabei Energie entlang seiner Propagationsrichtung. Insbesondere ist es mittels des Energiestrahls möglich, Energie lokal in einem Arbeitsbereich der generativen Fertigungsvorrichtung, insbesondere auf der Bauplattform, zu deponieren.

Der Energiestrahl ist in bevorzugter Ausgestaltung ein optischer Arbeitsstrahl. Unter einem optischen Arbeitsstrahl ist insbesondere gerichtete elektromagnetische Strahlung, kontinuierlich oder gepulst, zu verstehen, die im Hinblick auf ihre Wellenlänge oder einen Wellenlängenbereich geeignet ist zum additiven oder generativen Fertigen eines Bauteils aus Pulvermaterial, insbesondere zum Sintern oder Schmelzen des Pulvermaterials. Insbesondere wird unter einem optischen Arbeitsstrahl ein Laserstrahl verstanden, der kontinuierlich oder gepulst erzeugt sein kann. Der optische Arbeitsstrahl weist bevorzugt eine Wellenlänge oder einen Wellenlängenbereich im sichtbaren elektromagnetischen Spektrum oder im infraroten elektromagnetischen Spektrum, oder im Überlappungsbereich zwischen dem infraroten Bereich und dem sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums auf.

Unter remittiertem Licht wird hier Licht verstanden, welches – insbesondere von einer Oberfläche in dem Arbeitsbereich – reflektiert und/oder gestreut wird. Dabei wird unter „Reflexion“ hier im

engeren Sinne gerichtete Reflexion verstanden, während unter „Streuung“ diffuse Reflexion, insbesondere gemäß dem Lambert'schen Gesetz, verstanden wird.

In bevorzugter Ausgestaltung weist der Pulverbett-Sensor oder der Sensor zur Erfassung von remittiertem Licht des Energiestrahls eine geometrische Auflösung von höchstens 500 µm, vorzugsweise mindestens 30 µm bis höchstens 500 µm, vorzugsweise von mindestens 100 µm bis höchstens 400 µm, vorzugsweise bis höchstens 300 µm, vorzugsweise bis höchstens 200 µm auf. Alternativ oder zusätzlich weist die zweite Sensoreinrichtung eine geometrische Auflösung von höchstens 50 µm, vorzugsweise mindestens 10 µm bis höchstens 50 µm, vorzugsweise von mindestens 20 µm bis höchstens 40 µm, vorzugsweise bis höchstens 30 µm, auf.

Insbesondere werden die ersten Markierungspositionen in einem ersten Koordinatensystem erfasst, wobei das erste Koordinatensystem einem Koordinatensystem der generativen Fertigungsvorrichtung entspricht. Insbesondere spannen eine x-Achse des ersten Koordinatensystems und eine y-Achse des ersten Koordinatensystems bei einer ordnungsgemäßen Ausrichtung der generativen Fertigungsvorrichtung eine waagerechte Ebene auf. Da der Pulverbett-Sensor oder der Sensor zur Erfassung von remittiertem Licht an einem vorbestimmten, bekannten Ort in der generativen Fertigungsvorrichtung angeordnet ist, kann aus einer erfassten Lage der ersten Markierungsposition im Koordinatensystem des jeweiligen Sensors direkt die Lage der ersten Markierungspositionen in dem Koordinatensystem der generativen Fertigungsvorrichtung abgeleitet werden. Weiterhin werden die zweiten Markierungspositionen in einem zweiten Koordinatensystem erfasst. In einer Ausführungsform sind das erste Koordinatensystem und das zweite Koordinatensystem identisch. Alternativ sind das erste Koordinatensystem und das zweite Koordinatensystem voneinander verschieden. Insbesondere ist es möglich, die zweiten Markierungspositionen aus dem zweiten Koordinatensystem in das erste Koordinatensystem zu transformieren, insbesondere unter Rückgriff auf einen vorbestimmten ersten Punkt auf der Bauplattform, der mit hoher Präzision mit einem vorbestimmten zweiten Punkt in der generativen Fertigungsvorrichtung in Übereinstimmung gebracht wird, wenn die Bauplattform in der generativen Fertigungsvorrichtung angeordnet wird. Insbesondere können der vorbestimmte erste Punkt ein Befestigungspunkt der Bauplattform und der vorbestimmte zweite Punkt ein Befestigungspunkt der generativen Fertigungsvorrichtung sein, die eingerichtet und aufeinander abgestimmt sind, um die Bauplattform in der generativen Fertigungsvorrichtung zu befestigen. Insbesondere kann der vorbestimmte erste Punkt als Ursprung des zweiten

Koordinatensystems gewählt werden. Insbesondere ist es möglich, dass der vorbestimmte erste Punkt ein Mittelpunkt der Bauplattform ist.

In einer Ausgestaltung ist die Bauplattform in dem ersten Zustand aufgeheizt, insbesondere nach einem Vorheizen der Bauplattform vor einer generativen Fertigung. Insbesondere weist die Bauplattform in dem ersten Zustand eine erste, höhere Temperatur auf, die während der generativen Fertigung auftritt. Weiterhin ist die Bauplattform in dem zweiten Zustand nicht aufgeheizt und weist insbesondere eine zweite, niedrigere Temperatur auf, die einer Raumtemperatur oder einer Fertigungstemperatur der Bauplattform entspricht. Insbesondere ist damit klar, dass die Bauplattform in dem ersten Zustand eine größere Ausdehnung aufweist als in dem zweiten Zustand. Somit unterscheiden sich die ersten Markierungspositionen und die zweiten Markierungspositionen zumindest um einen Skalierungsfaktor basierend auf der thermischen Ausdehnung. Somit kann vorteilhafterweise anhand der ersten Markierungspositionen und der zweiten Markierungspositionen der Skalierungsfaktor bestimmt werden.

In einer weiteren Ausgestaltung ist die Bauplattform in dem ersten Zustand in einer Ist-Ausrichtung, insbesondere in dem ersten Koordinatensystem, in der generativen Fertigungsvorrichtung angeordnet. Insbesondere ist der zweite Zustand der Bauplattform insbesondere eine Soll-Ausrichtung der Bauplattform, insbesondere in dem ersten Koordinatensystem, in der generativen Fertigungsvorrichtung, wobei die zweiten Markierungspositionen in dem ersten Koordinatensystem bekannt sind. Alternativ ist die Bauplattform in dem zweiten Zustand nicht in der generativen Fertigungsvorrichtung angeordnet, sodass die zweiten Markierungspositionen in dem zweiten, von dem ersten Koordinatensystem verschiedenen Koordinatensystem liegen. Die zweiten Markierungsposition werden dann insbesondere von dem zweiten Koordinatensystem in das erste Koordinatensystem überführt, wobei anhand der zweiten Markierungspositionen die Soll-Ausrichtung der Bauplattform, insbesondere in dem ersten Koordinatensystem, in der generativen Fertigungsvorrichtung bestimmt werden kann. Somit kann anhand der ersten Markierungspositionen und zweiten Markierungspositionen vorteilhafterweise eine Abweichung der Ist-Ausrichtung von der Soll-Ausrichtung bestimmt werden.

Insbesondere wird die Bauplattform derart in der generativen Fertigungsvorrichtung angeordnet, dass ein Mittelpunkt der Bauplattform in der Ist-Ausrichtung identisch ist zu einem Mittelpunkt der Bauplattform in der Soll-Ausrichtung.

Insbesondere sind die mindestens zwei Markierungen auf einer Oberfläche der Bauplattform angeordnet. Insbesondere sind die mindestens zwei Markierungen als Kanten und/oder Vertiefungen in die Oberfläche der Bauplattform eingebracht. Insbesondere sind die Vertiefungen als Kreise, Quadrate, Rechtecke und/oder Kreuze ausgebildet. Insbesondere können die Kanten und/oder Vertiefungen vorteilhafterweise mittels einer Kantenerkennung, insbesondere automatisch, erkannt werden. Alternativ sind die mindestens zwei Markierungen in Form eines Musters, insbesondere eines Schachbrettmusters, auf der Bauplattform aufgebracht. Alternativ oder zusätzlich wird als mindestens eine Markierung der mindestens zwei Markierungen ein an einer vorbestimmten Position auf der Bauplattform angeordneter Vorformling verwendet. Insbesondere sind die Mehrzahl an Markierungen verschieden oder identisch ausgebildet.

In einer Ausgestaltung werden die ersten Markierungspositionen in der ersten Aufnahme mittels eines computer-implementierten Algorithmus, insbesondere mittels eines Bilderkennungsverfahrens, erfasst.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die zweiten Markierungspositionen in Form maschinenlesbarer Daten zur Verfügung gestellt werden. Damit ist es vorteilhafterweise möglich, die ersten Markierungspositionen und die zweiten Markierungspositionen in einfacher und schneller Weise zu vergleichen.

In einer Ausgestaltung sind die zweiten Markierungspositionen in Form maschinenlesbarer Daten aus Fertigungsdaten der Bauplattform bekannt.

In einer weiteren Ausgestaltung werden die zweiten Markierungspositionen, insbesondere zeitlich vor der ersten Aufnahme, mittels eines zusätzlichen Sensors, insbesondere anhand einer zweiten Aufnahme, außerhalb der generativen Fertigungsvorrichtung erfasst und der generativen Fertigungsvorrichtung in Form maschinenlesbarer Daten zur Verfügung gestellt. Insbesondere werden dabei die zweiten Markierungspositionen relativ zu dem vorbestimmten ersten Punkt, das heißt insbesondere in einem der Bauplattform zugeordneten Koordinatensystem als dem zweiten Koordinatensystem, erfasst.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die zweite Aufnahme der Bauplattform in dem zweiten Zustand mittels des Pulverbett-Sensors in der generativen Fertigungsvorrichtung erstellt wird. Alternativ wird die zweite Aufnahme der Bauplattform in dem zweiten Zustand mittels des Sensors zur Erfassung von remittiertem Licht des Energiestrahls in

der generativen Fertigungsvorrichtung erstellt. Anschließend werden die zweiten Markierungspositionen in der zweiten Aufnahme erfasst. Insbesondere ist es bei dieser Ausgestaltung möglich, die zweiten Markierungspositionen direkt in dem ersten Koordinatensystem zu erfassen.

Insbesondere ist die Bestimmung der zweiten Markierungspositionen mittels der zweiten Aufnahme vorteilhaft, um den Skalierungsfaktor zu bestimmen. Insbesondere wird die zweite Aufnahme zeitlich vor der ersten Aufnahme erstellt, wobei zum Zeitpunkt der zweiten Aufnahme die Bauplattform nicht aufgeheizt ist und zum Zeitpunkt der ersten Aufnahme die Bauplattform aufgeheizt ist, insbesondere vorgeheizt ist.

In einer Ausgestaltung werden erste zweite Markierungspositionen in Form maschinenlesbarer Daten zur Verfügung gestellt, insbesondere von einem Hersteller der Bauplattform und/oder aus einer Konstruktionszeichnung der Bauplattform. Zusätzlich werden zweite zweite Markierungspositionen insbesondere zeitlich vor der ersten Aufnahme außerhalb der generativen Fertigungsvorrichtung erfasst. Insbesondere werden die zweiten zweiten Markierungspositionen mittels eines zusätzlichen Sensors, insbesondere anhand der zweiten Aufnahme, erfasst. Alternativ werden die zweiten zweiten Markierungspositionen insbesondere zeitlich vor der ersten Aufnahme in der generativen Fertigungsvorrichtung mit dem Pulverbett-Sensor oder dem Sensor zur Erfassung von remittiertem Licht des Energiestrahls erfasst. Insbesondere ist es möglich die zweiten zweiten Markierungspositionen der generativen Fertigungsvorrichtung ebenfalls in Form maschinenlesbarer Daten zur Verfügung zu stellen. Vorteilhafterweise ist es mittels der ersten zweiten Markierungspositionen und der zweiten zweiten Markierungspositionen möglich, Fertigungsungenauigkeiten der Bauplattform und insbesondere der mindestens zwei Markierungen zu ermitteln. Insbesondere ist es mittels der ersten zweiten Markierungspositionen und der zweiten zweiten Markierungspositionen möglich, eine Mehrzahl an Bauplattformen, insbesondere eine Charge an Bauplattformen, stichprobenartig auf Fertigungsungenauigkeiten zu untersuchen. Eine stichprobenartig ermittelte Fertigungsungenauigkeit kann dann insbesondere auf die Mehrzahl an Bauplattformen, insbesondere die Charge an Bauplattformen, übertragen werden, ohne alle Bauplattformen einzeln vermessen zu müssen, oder es können die ersten zweiten Markierungspositionen insbesondere für die nicht von der Stichprobe umfassten Bauplattformen verwendet werden, wenn keine Fertigungsungenauigkeiten in der Stichprobe festgestellt werden.

In einer weiteren Ausgestaltung werden die ersten zweiten Markierungspositionen in Form maschinenlesbarer Daten zur Verfügung gestellt, insbesondere von dem Hersteller der

Bauplattform und/oder aus der Konstruktionszeichnung der Bauplattform. Alternativ werden die ersten zweiten Markierungspositionen insbesondere zeitlich vor einer ersten ersten Aufnahme außerhalb der generativen Fertigungsvorrichtung erfasst, wobei die ersten zweiten Markierungspositionen mittels des zusätzlichen Sensors, insbesondere anhand einer ersten zweiten Aufnahme, erfasst werden. Insbesondere werden erste erste Markierungspositionen anhand der ersten ersten Aufnahme der Bauplattform in einem ersten ersten Zustand erhalten, wobei die erste erste Aufnahme mittels des Pulverbett-Sensors oder mittels des Sensors zur Erfassung von remittiertem Licht des Energiestrahls erstellt wird. Vorteilhafterweise kann mittels der ersten ersten Markierungspositionen und der ersten zweiten Markierungspositionen eine Abweichung der Ist-Ausrichtung von der Soll-Ausrichtung bestimmt werden. Insbesondere wird die Bauplattform anschließend an ihre Vermessung entsprechend der Soll-Ausrichtung ausgerichtet. Nach der Ausrichtung wird durch Aufheizen der Bauplattform, insbesondere durch Vorheizen der Bauplattform vor einer generativen Fertigung, ein zweiter erster Zustand der Bauplattform eingestellt. Eine zweite erste Aufnahme der Bauplattform in dem zweiten ersten Zustand wird mittels des Pulverbett-Sensors oder mittels des Sensors zur Erfassung von remittiertem Licht des Energiestrahls in der generativen Fertigungsvorrichtung erstellt und zweite erste Markierungspositionen werden erfasst. Vorteilhafterweise kann mittels der zweiten ersten Markierungspositionen und der ersten zweiten Markierungspositionen der Skalierungsfaktor bestimmt werden, wobei hierbei vorausgesetzt wird, dass die Bauplattform exakt in der Soll-Ausrichtung ausgerichtet wurde. Alternativ wird nach der Ausrichtung der Bauplattform eine zweite zweite Aufnahme der Bauplattform erstellt, wobei zweite zweite Markierungspositionen erhalten werden. Anschließend wird durch Aufheizen der Bauplattform, insbesondere durch Vorheizen der Bauplattform vor einer generativen Fertigung, der zweite erste Zustand der Bauplattform eingestellt. Die zweite erste Aufnahme der Bauplattform in dem zweiten ersten Zustand wird mittels des Pulverbett-Sensors oder mittels des Sensors zur Erfassung von remittiertem Licht des Energiestrahls in der generativen Fertigungsvorrichtung erstellt und die zweiten ersten Markierungspositionen werden erfasst. Vorteilhafterweise kann mittels der zweiten ersten Markierungspositionen und der zweiten zweiten Markierungspositionen der Skalierungsfaktor bestimmt werden. Vorteilhafterweise ist es bei einer Bestimmung des Skalierungsfaktors anhand der zweiten ersten Markierungspositionen und der zweiten zweiten Markierungspositionen nicht notwendig, dass die Bauplattform exakt in der Soll-Ausrichtung ausgerichtet ist.

In einer weiteren Ausgestaltung werden die ersten zweiten Markierungspositionen in Form maschinenlesbarer Daten zur Verfügung gestellt, insbesondere von dem Hersteller der Bauplattform und/oder aus der Konstruktionszeichnung der Bauplattform. Zusätzlich werden zweite zweite Markierungspositionen insbesondere zeitlich vor der ersten ersten Aufnahme außerhalb der generativen Fertigungsvorrichtung erfasst. Insbesondere werden die zweiten zweiten Markierungspositionen mittels eines zusätzlichen Sensors, insbesondere anhand der ersten zweiten Aufnahme, erfasst. Insbesondere werden erste erste Markierungspositionen anhand der ersten ersten Aufnahme der Bauplattform in einem ersten ersten Zustand erhalten, wobei die erste erste Aufnahme mittels des Pulverbett-Sensors oder mittels des Sensors zur Erfassung von remittiertem Licht des Energiestrahls erstellt wird. Vorteilhafterweise kann mittels der ersten ersten Markierungspositionen, der ersten zweiten Markierungspositionen und der zweiten zweiten Markierungspositionen eine Abweichung der Ist-Ausrichtung von der Soll-Ausrichtung unter Berücksichtigung von Fertigungsungenauigkeiten bestimmt werden. Insbesondere wird anschließend an die Vermessung der Bauplattform die Bauplattform entsprechend der Soll-Ausrichtung ausgerichtet. Nach der Ausrichtung wird durch Aufheizen der Bauplattform, insbesondere durch Vorheizen der Bauplattform vor einer generativen Fertigung, der zweite erste Zustand der Bauplattform eingestellt. Die zweite erste Aufnahme der Bauplattform in dem zweiten ersten Zustand wird mittels des Pulverbett-Sensors oder mittels des Sensors zur Erfassung von remittiertem Licht des Energiestrahls in der generativen Fertigungsvorrichtung erstellt und die zweiten ersten Markierungspositionen werden erfasst. Vorteilhafterweise kann mittels der zweiten zweiten Markierungspositionen und der zweiten ersten Markierungspositionen der Skalierungsfaktor bestimmt werden, wobei hierbei vorausgesetzt wird, dass die Bauplattform exakt in der Soll-Ausrichtung ausgerichtet wurde. Alternativ wird nach der Ausrichtung der Bauplattform eine zweite zweite Aufnahme der Bauplattform erstellt, wobei dritte zweite Markierungspositionen erhalten werden. Anschließend wird durch Aufheizen der Bauplattform, insbesondere durch Vorheizen der Bauplattform vor einer generativen Fertigung, der zweite erste Zustand der Bauplattform eingestellt. Die zweite erste Aufnahme der Bauplattform in dem zweiten ersten Zustand wird mittels des Pulverbett-Sensors oder mittels des Sensors zur Erfassung von remittiertem Licht des Energiestrahls in der generativen Fertigungsvorrichtung erstellt und die zweiten ersten Markierungspositionen werden erfasst. Vorteilhafterweise kann mittels der zweiten ersten Markierungspositionen und der dritten zweiten Markierungspositionen der Skalierungsfaktor bestimmt werden. Vorteilhafterweise ist es bei einer Bestimmung des Skalierungsfaktors anhand der zweiten ersten Markierungspositionen und der dritten zweiten

Markierungspositionen nicht notwendig, dass die Bauplattform exakt in der Soll-Ausrichtung ausgerichtet ist.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Abweichung mittels der mathematischen Berechnungsvorschrift berechnet wird.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Abweichung erhalten wird, indem eine Transformation zwischen den ersten Markierungspositionen und den zweiten Markierungspositionen berechnet wird.

In einer Ausgestaltung wird mittels der mathematischen Berechnungsvorschrift als Transformation eine Rotation, insbesondere eine Rotationsmatrix, bestimmt. Alternativ oder zusätzlich wird als Transformation insbesondere der Skalierungsfaktor, insbesondere in Form der Wärmeausdehnung, bestimmt. Alternativ oder zusätzlich wird als Transformation insbesondere eine Translation bestimmt. Mittels der Transformation ist es vorteilhafterweise möglich, die ersten Markierungspositionen und die zweiten Markierungspositionen in Übereinstimmung miteinander zu bringen.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Transformation mittels eines Kabsch-Algorithmus berechnet wird. Zusätzlich wird mittels der mathematischen Berechnungsvorschrift der Skalierungsfaktor bestimmt, welcher insbesondere zusätzlich in die Transformation miteingeht.

Unter einem Kabsch-Algorithmus wird insbesondere ein mathematischer Algorithmus verstanden, mittels derer eine Transformation zwischen einer ersten Punktmenge, insbesondere der ersten Markierungspositionen, und einer zweiten Punktmenge, insbesondere der zweiten Markierungspositionen, in Form einer Rotationsmatrix bestimmt wird. Die Rotationsmatrix wird derart bestimmt, dass eine Standardabweichung und/oder eine mittlere quadratische Abweichung von der ersten Punktmenge zu der rotierten zweiten Punktmenge oder von der rotierten ersten Punktmenge zu der zweiten Punktmenge minimiert wird.

Insbesondere ist es für die Anwendung des Kabsch-Algorithmus notwendig, dass die erste Punktmenge und die zweite Punktmenge über eine Bijektion verknüpft sind. Insbesondere ist eine Mächtigkeit der ersten Punktmenge identisch zu einer Mächtigkeit der zweiten Punktmenge, insbesondere weisen die erste Punktmenge und die zweite Punktmenge eine selbe Anzahl an

Punkten auf. Weiterhin ist jeder Punkt der ersten Punktmenge genau einem Punkt der zweiten Punktmenge zugeordnet, wobei kein Punkt der zweiten Punktmenge mehr als einem Punkt der ersten Punktmenge zugeordnet ist.

In einer Ausgestaltung wird die Zuordnung der ersten Markierungspositionen zu den zweiten Markierungspositionen von einem Benutzer zur Verfügung gestellt, insbesondere in Form maschinenlesbarer Daten.

In einer weiteren Ausgestaltung wird die Zuordnung der ersten Markierungspositionen zu den zweiten Markierungspositionen mittels eines computer-implementierten Algorithmus durchgeführt. Insbesondere basiert der computer-implementierte Algorithmus auf mindestens einem Nachbarschaftskriterium, wobei insbesondere ein Gesamtabstand zwischen den Markierungen der ersten Markierungspositionen und den den Markierungen der ersten Markierungspositionen zugeordneten Markierungen der zweiten Markierungspositionen minimiert wird. Insbesondere kann der computer-implementierte Algorithmus angewendet werden, falls die Bauplattform nahezu korrekt oder nur wenig verdreht und/oder verschoben angeordnet ist.

Insbesondere wird der Kabsch-Algorithmus für eine Feinabstimmung der Bauplattform verwendet.

Vorzugsweise wird vor einer Anwendung des Kabsch-Algorithmus auf die erste Punktmenge, insbesondere die ersten Markierungspositionen, und die zweite Punktmenge, insbesondere die zweiten Markierungspositionen, ein erster Schwerpunkt der ersten Punktmenge und ein zweiter Schwerpunkt der zweiten Punktmenge bestimmt. Anschließend wird insbesondere die zweite Punktmenge derart translatiert, dass der erste Schwerpunkt und der zweite Schwerpunkt in Übereinstimmung miteinander sind. Danach wird der Kabsch-Algorithmus auf die erste Punktmenge und die translatierte zweite Punktmenge angewendet.

Insbesondere wird anschließend an die Zuordnung der der ersten Markierungspositionen zu den zweiten Markierungspositionen oder nach der Durchführung des Kabsch-Algorithmus der Skalierungsfaktor σ mittels der Gleichung

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i {R_i'}^2}{\sum_i {R_i}^2}} \tag{1}$$

berechnet, wobei mit R_i ein Abstand zwischen zwei Markierungen der mindestens zwei Markierungen in dem zweiten Zustand bezeichnet wird und wobei mit R_i' ein Abstand zwischen den zwei Markierungen in dem ersten Zustand bezeichnet wird. Insbesondere werden für die Berechnung der einem bestimmten Wert des Index i zugeordneten Abstände R_i und R_i' jeweils die einander zugeordneten Markierungen verwendet.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass für die Berechnung der Transformation homogene Koordinaten verwendet werden.

Vorteilhafterweise ist es mittels der homogenen Koordinaten in einfacher Weise möglich, die ersten Markierungspositionen und die zweiten Markierungspositionen zu vergleichen.

In einer Ausgestaltung wird anhand der ersten Markierungspositionen, der zweiten Markierungspositionen und intrinsischer Parameter des Pulverbett-Sensors oder des Sensors zur Erfassung von remittiertem Licht des Energiestrahls die Transformation zwischen den ersten Markierungspositionen und den zweiten Markierungspositionen bestimmt. Insbesondere umfasst die Transformation eine Rotation und eine Translation. Die Transformation wird insbesondere mittels der Formel

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

berechnet, wobei mit x und y die Koordinaten einer Markierung in der ersten Aufnahme und mit X, Y und Z die Koordinaten derselben Markierung in dem zweiten Zustand – jeweils in dem ersten Koordinatensystem – bezeichnet werden; insbesondere entspricht dabei der zweite Zustand der Soll-Ausrichtung der Bauplattform. Ein Sensor-Parameter f ist bekannt. Weiterhin sind Rotations-Parameter r_{ij} unbekannt und abhängig von Drehwinkeln α, β und γ, wobei die zugehörigen Drehachsen jeweils orthogonal zueinander sind. Weiterhin bezeichnen t_x, t_y und t_z Translationen.

In einer Ausgestaltung sind die Translationen t_x, und t_y bekannt, da die Bauplattform vorteilhafterweise in Bezug auf die x-Achse und die y-Achse des ersten Koordinatensystems exakt ausgerichtet ist, insbesondere wenn als der vorbestimmte erste Punkt ein Mittelpunkt der Bauplattform verwendet wird, sodass die Bauplattform zentriert in der generativen Fertigungsvorrichtung angeordnet wird. Damit folgt, dass die Gleichung (2) dann nur vier

Unbekannte, insbesondere drei Rotationswinkel und die Translation t_z, aufweist. Mittels zwei Markierungen, die insbesondere in einer gemeinsamen Ebene angeordnet sind, können die vier Unbekannten eindeutig bestimmt werden. Insbesondere kann mittels der Rotationen und der Translationen die Bauplattform aus der Ist-Ausrichtung in die Soll-Ausrichtung überführt werden.

In einer weiteren Ausgestaltung sind die Translationen t_x, t_y und t_z unbekannt. Damit folgt, dass die Gleichung (2) sechs Unbekannte, insbesondere drei Rotationswinkel und drei Translationen, aufweist. Mittels drei Markierungen, die insbesondere in einer gemeinsamen Ebene angeordnet sind, können die sechs Unbekannten eindeutig bestimmt werden. Insbesondere kann mittels der Rotationen und der Translationen die Bauplattform aus der Ist-Ausrichtung in die Soll-Ausrichtung überführt werden.

Insbesondere ist die Anzahl der Markierungen, die notwendig sind, um die Transformation der ersten Markierungspositionen in die zweiten Markierungspositionen eindeutig bestimmen zu können, abhängig von der Anzahl der Freiheitsgrade mit welcher die Bauplattform in die generative Fertigungsvorrichtung eingesetzt werden kann.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass basierend auf der erhaltenen Abweichung, insbesondere basierend auf der Transformation, mindestens ein Bestrahlungsvektor angepasst wird. Alternativ oder zusätzlich wird basierend auf der erhaltenen Abweichung, insbesondere basierend auf der Transformation, die Bauplattform ausgerichtet.

Unter einem Bestrahlungsvektor wird insbesondere eine kontinuierliche, vorzugsweise lineare Verlagerung des Energiestrahls über eine bestimmte Strecke mit bestimmter Verlagerungsrichtung verstanden. Der Bestrahlungsvektor schließt insbesondere die Richtung oder Orientierung der Verlagerung, das heißt die Vektorausrichtung, ein. Der Bestrahlungsvektor muss keinesfalls als Geradenabschnitt ausgebildet sein, vielmehr kann ein Bestrahlungsvektor auch einer zumindest bereichsweise gekrümmten Linie oder Kurve folgen.

Insbesondere ist nicht gewährleistet, dass die Bauplattform bei einem initialen Einbringen in die generative Fertigungsvorrichtung in der Soll-Ausrichtung angeordnet wird. Vielmehr ist die Bauplattform bei dem initialen Einbringen in die generative Fertigungsvorrichtung in einer von der Soll-Ausrichtung verschiedenen Ist-Ausrichtung angeordnet. Bei dem initialen Einbringen befindet sich somit die Bauplattform in dem ersten Zustand. Für ein zuverlässiges Fertigen des Bauteils auf der Bauplattform wird die Bauplattform basierend auf der Transformation

ausgerichtet, insbesondere von der Ist-Ausrichtung in die Soll-Ausrichtung überführt, wobei die Bauplattform insbesondere um die mittels der homogenen Koordinaten berechneten Drehwinkel α, β und γ gedreht wird und/oder um die mittels der homogenen Koordinaten berechneten Translationen t_x, t_y und t_z verschoben wird.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass basierend auf der erhaltenen Abweichung, insbesondere basierend auf der Transformation, ein globaler Skalierungsfaktor ermittelt wird. Alle zur Bestrahlung der Bauplattform mit dem Energiestrahl vorgesehenen Bestrahlungsvektoren werden mit dem globalen Skalierungsfaktor skaliert. Vorteilhafterweise können so alle zur Bestrahlung der Bauplattform mit dem Energiestrahl vorgesehenen Bestrahlungsvektoren einfach und schnell an die thermische Ausdehnung der Bauplattform angepasst werden.

In einer Ausgestaltung wird als der globale Skalierungsfaktor der mittels der Gleichung (1) bestimmte Skalierungsfaktor verwendet.

Insbesondere dehnt sich die Bauplattform bei einer Erhitzung insbesondere beim Vorheizen der Bauplattform vor einer generativen Fertigung, aus. Da die Bestrahlungsvektoren normalerweise für eine nicht erhitzte Bauplattform geplant werden, sollten insbesondere alle Bestrahlungsvektoren insbesondere an die veränderte Ausdehnung der Bauplattform angepasst werden. Für ein zuverlässiges Fertigen des Bauteils auf der Bauplattform werden die Bestrahlungsvektoren basierend auf der Transformation angepasst, insbesondere mittels der mittels des Kabsch-Algorithmus berechneten Rotationsmatrix gedreht und/oder mittels des globalen Skalierungsfaktors gestreckt.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass basierend auf der erhaltenen Abweichung, insbesondere basierend auf der Transformation, eine Verschiebung eines Festpunkts mindestens eines Bauteilbereichs auf der Bauplattform ermittelt wird. Die dem mindestens einen Bauteilbereich zugeordneten Bestrahlungsvektoren werden entsprechend der Verschiebung des Festpunkts des Bauteilbereichs verschoben. Zusätzlich werden vorzugsweise die dem Bauteilbereich zugeordneten Bestrahlungsvektoren mit einem dem Bauteilbereich zugeordneten, lokalen Skalierungsfaktor skaliert.

Unter einem Festpunkt wird insbesondere ein Punkt und/oder ein – vorzugsweise kleiner, insbesondere für alle relevanten Anwendungen als punktförmig annäherbarer – Bereich verstanden, in welchem der Vorformling auf der Bauplattform fixiert wird.

In einer Ausgestaltung wird als lokaler Skalierungsfaktor ein Wärmeausdehnungskoeffizient eines Werkstoffes des Vorformlings verwendet.

Damit ist es vorteilhafterweise möglich, die verschiedenen Wärmeausdehnungen der Bauplattform und des Werkstoffes des Vorformlings bei dem Fertigen des Bauteils zu berücksichtigen. Wird eine Mehrzahl identischer Vorformlinge verwendet, kann für jeden Vorformling derselbe Skalierungsfaktor verwendet werden. Werden dagegen verschiedene Vorformlinge verwendet, ist es möglich, jeder Art Vorformling einen separaten Skalierungsfaktor zuzuweisen, wodurch das Verfahren besonders exakt wird.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Bauplattform automatisch mittels einer Ausrichtungsvorrichtung ausgerichtet wird. Vorteilhafterweise ist es damit möglich die Bauplattform in einfacher und schneller Weise exakt auszurichten und/oder einzustellen. Weiterhin erfolgt die Ausrichtung der Bauplattform automatisch, wodurch Fehler einer manuellen Einstellung vermieden werden können.

In einer Ausgestaltung werden alle dem mindestens einen Bauteilbereich zugeordneten Bestrahlungsvektoren, insbesondere alle der Bauplattform zugeordneten Bestrahlungsvektoren, in einem Bestrahlungsplan, insbesondere in Form von CAM-Daten, zusammengefasst. Insbesondere kann eine Transformation der Bestrahlungsvektoren bereits – insbesondere implizit – bei einer initialen Erstellung des Bestrahlungsplans anhand einer geometrischen Repräsentation des Bauteils, insbesondere bei einer Umwandlung von CAD-Daten in CAM-Daten, durchgeführt werden. Alternativ oder zusätzlich kann die Transformation der Bestrahlungsvektoren an einem zuvor erstellten Bestrahlungsplan, insbesondere an CAM-Daten, durchgeführt werden, wobei der Bestrahlungsplan verändert oder ein neuer Bestrahlungsplan erhalten wird.

Die Aufgabe wird auch gelöst, indem ein Verfahren zum generativen Fertigen eines Bauteils aus einem Pulvermaterial geschaffen wird. Dabei wird eine Bauplattform in einem ersten Zustand mithilfe eines erfindungsgemäßen Verfahrens oder mithilfe eines Verfahrens nach einer oder mehreren der zuvor beschriebenen Ausgestaltungen vermessen. Anschließend wird mindestens ein Bestrahlungsvektor basierend auf der erhaltenen Abweichung der ersten Markierungspositionen

von den zugeordneten zweiten Markierungspositionen angepasst, wobei ein Bestrahlungsplan erhalten wird. Alternativ oder zusätzlich wird die Bauplattform basierend auf der erhaltenen Abweichung der ersten Markierungspositionen von den zugeordneten zweiten Markierungspositionen ausgerichtet. Danach wird ein auf der Bauplattform angeordneter Arbeitsbereich gemäß dem Bestrahlungsplan mit einem Energiestrahl lokal selektiv bestrahlt, um das Bauteil mittels des Energiestrahls schichtweise aus einer Mehrzahl von in einer Schichtfolge zeitlich aufeinanderfolgend in dem Arbeitsbereich angeordneten Pulvermaterialschichten des Pulvermaterials herzustellen. In Zusammenhang mit dem generativen Fertigen des Bauteils ergeben sich insbesondere die Vorteile, die bereits in Zusammenhang mit dem Verfahren zum Vermessen der Bauplattform erläutert wurden.

Als Energiestrahl wird vorzugsweise ein Laserstrahl oder ein Elektronenstrahl verwendet.

Vorzugsweise wird das Bauteil mittels selektiven Lasersinterns und/oder selektiven Laserschmelzens gefertigt.

Als Pulvermaterial kann in bevorzugter Weise insbesondere ein metallisches oder keramisches Pulver verwendet werden.

Insbesondere wird der Bestrahlungsplan als ein Datensatz für eine Ansteuerung einer generativen Fertigungsvorrichtung, insbesondere einer im Folgenden noch beschriebenen erfindungsgemäßen generativen Fertigungsvorrichtung oder einer generativen Fertigungsvorrichtung gemäß einer oder mehreren der im Folgenden beschriebenen Ausführungsformen, zum additiven Fertigen eines Bauteils aus dem Pulvermaterial erhalten. Unabhängig davon, ob das Verfahren auf einer separat zu einer generativen Fertigungsvorrichtung angeordneten Planungsvorrichtung oder auf der generativen Fertigungsvorrichtung selbst durchgeführt wird, wird der Bestrahlungsplan auf diese Weise in einfach handhabbarer, insbesondere maschinenlesbarer Form erhalten. Insbesondere ist es bevorzugt auch möglich, den als Datensatz erhaltenen Bestrahlungsplan zu exportieren und unabhängig von einer bestimmten Vorrichtung, beispielsweise verkörpert auf einem Datenträger oder virtuell über ein Netzwerk, zu transportieren, insbesondere zu übertragen.

Die Aufgabe wird auch gelöst, indem ein Computerprogrammprodukt geschaffen wir, das maschinenlesbare Anweisungen umfasst, aufgrund derer ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Vermessen einer Bauplattform oder ein Verfahren zum Vermessen einer Bauplattform nach einer oder mehreren der zuvor beschriebenen Ausgestaltungen auf einer Rechenvorrichtung

durchgeführt wird, wenn das Computerprogrammprodukt auf der Rechenvorrichtung läuft. In Zusammenhang mit dem Computerprogrammprodukt ergeben sich insbesondere die Vorteile, die bereits in Zusammenhang mit dem Verfahren zum Vermessen der Bauplattform erläutert wurden.

Alternativ oder zusätzlich umfasst das Computerprogrammprodukt maschinenlesbare Anweisungen, aufgrund derer ein erfindungsgemäßes Verfahren zum generativen Fertigen eines Bauteils aus einem Pulvermaterial oder ein Verfahren zum generativen Fertigen eines Bauteils aus einem Pulvermaterial nach einer oder mehreren der zuvor beschriebenen Ausgestaltungen auf einer Rechenvorrichtung durchgeführt wird, wenn das Computerprogrammprodukt auf der Rechenvorrichtung läuft. In Zusammenhang mit dem Computerprogrammprodukt ergeben sich insbesondere die Vorteile, die bereits in Zusammenhang mit dem Verfahren zum generativen Fertigen des Bauteils erläutert wurden.

Die Aufgabe wird auch gelöst, indem eine Steuervorrichtung geschaffen wird, die zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Vermessen einer Bauplattform oder ein Verfahren zum Vermessen einer Bauplattform nach einer oder mehreren der zuvor beschriebenen Ausgestaltungen eingerichtet ist. In Zusammenhang mit der Steuervorrichtung ergeben sich insbesondere die Vorteile, die bereits in Zusammenhang mit dem Verfahren zum Vermessen der Bauplattform und dem Computerprogrammprodukt erläutert wurden.

Die Steuervorrichtung ist insbesondere eingerichtet, um mit dem Pulverbett-Sensor oder mit dem Sensor zur Erfassung von remittiertem Licht des Energiestrahls wirkverbunden zu werden und eingerichtet zu dessen Ansteuerung.

In einer Ausgestaltung ist die Steuervorrichtung insbesondere eingerichtet, um mit der Ausrichtungsvorrichtung wirkverbunden zu werden und eingerichtet zu deren Ansteuerung.

Die Steuervorrichtung ist vorzugsweise ausgewählt aus einer Gruppe, bestehend aus einem Computer, insbesondere Personal Computer (PC), einer Einschubkarte oder Ansteuerkarte, und einem FPGA-Board. In bevorzugter Ausgestaltung ist die Steuervorrichtung eine RTC5- oder RTC6-Ansteuerkarte der SCANLAB GmbH, insbesondere in der an dem den Zeitrang des vorliegenden Schutzrechts bestimmenden Tag aktuell erhältlichen Ausgestaltung.

Die Aufgabe wird auch gelöst, indem eine generative Fertigungsvorrichtung zum additiven Fertigen von Bauteilen aus einem Pulvermaterial geschaffen wird. Die generative

Fertigungsvorrichtung weist eine erfindungsgemäße Steuervorrichtung oder eine Steuervorrichtung nach einer oder mehreren der zuvor beschriebenen Ausgestaltungen auf. Weiterhin weist die generative Fertigungsvorrichtung einen Pulverbett-Sensor auf. Alternativ oder zusätzlich weist die generative Fertigungsvorrichtung einen Sensor zur Erfassung von remittiertem Licht eines Energiestrahls auf. In Zusammenhang mit der generative Fertigungsvorrichtung ergeben sich insbesondere die Vorteile, die bereits in Zusammenhang mit dem Verfahren zum Vermessen der Bauplattform, dem Computerprogrammprodukt und der Steuervorrichtung erläutert wurden.

Insbesondere ist die Steuervorrichtung mit dem Pulverbett-Sensor oder mit dem Sensor zur Erfassung von remittiertem Licht des Energiestrahls wirkverbunden und eingerichtet zu dessen Ansteuerung.

Insbesondere weist die generative Fertigungsvorrichtung eine Strahlerzeugungsvorrichtung auf, die eingerichtet ist zum Erzeugen des Energiestrahls. Außerdem weist die generative Fertigungsvorrichtung eine Scannervorrichtung auf, die eingerichtet ist, um einen Arbeitsbereich lokal selektiv mit dem Energiestrahl zu bestrahlen, um mittels des Energiestrahls ein Bauteil aus dem in dem Arbeitsbereich angeordneten Pulvermaterial herzustellen. Insbesondere ist die Steuervorrichtung mit der Scannervorrichtung, optional auch mit der Strahlerzeugungsvorrichtung, wirkverbunden und eingerichtet, um die Scannervorrichtung, und gegebenenfalls die Strahlerzeugungsvorrichtung, anzusteuern.

Bei einer Ausführungsform ist die Strahlerzeugungsvorrichtung eingerichtet, um eine Mehrzahl von Energiestrahlen zu erzeugen, und/oder die generativen Fertigungsvorrichtung weist eine Mehrzahl von Strahlerzeugungsvorrichtungen zur Erzeugung einer Mehrzahl von Energiestrahlen auf. Es ist möglich, dass für die Mehrzahl von Energiestrahlen eine Mehrzahl von Scannervorrichtungen vorgesehen sind. Es ist aber auch möglich, dass die Scannervorrichtung eingerichtet ist, um eine Mehrzahl von Energiestrahlen – insbesondere unabhängig voneinander – auf dem Arbeitsbereich zu verlagern. Insbesondere kann die Scannervorrichtung hierfür eine Mehrzahl von separat ansteuerbaren Scannern, insbesondere Scannerspiegeln, aufweisen.

Die Scannervorrichtung weist bevorzugt mindestens einen Scanner, insbesondere einen Galvanometer-Scanner, Piezoscanner, Polygonscanner, MEMS-Scanner, und/oder einen relativ zu dem Arbeitsbereich verlagerbaren Arbeitskopf oder Bearbeitungskopf auf. Die hier

vorgeschlagenen Scannervorrichtungen sind in besonderer Weise geeignet, den Energiestrahl innerhalb des Arbeitsbereichs zwischen einer Mehrzahl von Bestrahlungspositionen zu verlagern.

Unter einem relativ zu dem Arbeitsbereich verlagerbaren Arbeitskopf oder Bearbeitungskopf wird hier insbesondere ein integriertes Bauteil der generativen Fertigungsvorrichtung verstanden, welches mindestens einen Strahlungsauslass für mindestens einen Energiestrahl aufweist, wobei das integrierte Bauteil, das heißt der Arbeitskopf, als Ganzes entlang zumindest einer Verlagerungsrichtung, vorzugsweise entlang zweier senkrecht aufeinander stehenden Verlagerungsrichtungen, relativ zu dem Arbeitsbereich verlagerbar ist. Ein solcher Arbeitskopf kann insbesondere in Portalbauweise ausgebildet sein oder von einem Roboter geführt werden. Insbesondere kann der Arbeitskopf als Roboterhand eines Roboters ausgebildet sein.

Bevorzugt ist die Strahlerzeugungsvorrichtung als Laser ausgebildet. Der Energiestrahl wird somit vorteilhaft als intensiver Strahl kohärenter elektromagnetischer Strahlung, insbesondere kohärenten Lichts, erzeugt. Bestrahlung bedeutet insoweit bevorzugt Belichtung.

In einer Ausgestaltung weist die generative Fertigungsvorrichtung insbesondere eine Ausrichtungsvorrichtung auf, wobei die Ausrichtungsvorrichtung insbesondere eingerichtet ist, um die Bauplattform entsprechende einer Soll-Ausrichtung insbesondere automatisch auszurichten. Dabei ist die Steuervorrichtung mit der Ausrichtungsvorrichtung wirkverbunden und eingerichtet zu deren Ansteuerung.

Die generative Fertigungsvorrichtung ist vorzugsweise eingerichtet zum selektiven Lasersintern. Alternativ oder zusätzlich ist die generative Fertigungsvorrichtung eingerichtet zum selektiven Laserschmelzen. Diese Ausgestaltungen der generative Fertigungsvorrichtung haben sich als besonders vorteilhaft erwiesen.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels einer generativen Fertigungsvorrichtung,

Figur 2 eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels der generativen Fertigungsvorrichtung, und

Figur 3 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zum Vermessen einer Bauplattform einer generativen Fertigungsvorrichtung.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels einer generativen Fertigungsvorrichtung 1 zum additiven Fertigen eines Bauteils aus einem Pulvermaterial auf einer Bauplattform 3.

Die generative Fertigungsvorrichtung 1 weist eine Steuervorrichtung 5 und einen Pulverbett-Sensor 7 auf. Die Steuervorrichtung 5 ist in nicht explizit dargestellter Weise mit dem Pulverbett-Sensor 7 wirkverbunden und eingerichtet zu dessen Ansteuerung.

Der Pulverbett-Sensor 7 ist derart angeordnet und eingerichtet, dass mittels des Pulverbett-Sensors 7 eine erste Aufnahme der Bauplattform 3 erstellt werden kann.

Die Steuervorrichtung 5 ist ebenfalls eingerichtet, um die Bauplattform 3 zu vermessen und insbesondere einen Bestrahlungsplan zum lokal selektiven Bestrahlen eines auf der Bauplattform 3 angeordneten Arbeitsbereichs 9 mit einer Energiestrahl 11 an die Vermessung der Bauplattform 3 anzupassen.

Weiterhin weist die generative Fertigungsvorrichtung insbesondere eine Ausrichtungsvorrichtung 13 auf, die eingerichtet ist, um die Bauplattform 3 basierend auf der Vermessung der Bauplattform 3 auszurichten, insbesondere von einer Ist-Ausrichtung in eine Soll-Vorrichtung zu bewegen. Die Ausrichtungsvorrichtung 13 ist insbesondere eingerichtet, um die Bauplattform 3 in eine x-Richtung, eine y-Richtung – welche insbesondere senkrecht auf der Zeichenebene steht – und in eine z-Richtung zu verlagern. Alternativ oder zusätzlich ist die Ausrichtungsvorrichtung 13 insbesondere eingerichtet, um die Bauplattform 3 um die x-Richtung, die y-Richtung – welche insbesondere senkrecht auf der Zeichenebene steht – und die z-Richtung zu drehen. Insbesondere ist die Steuervorrichtung 5 ebenfalls mit der Ausrichtungsvorrichtung 13 in nicht explizit dargestellter Weise wirkverbunden und eingerichtet zu deren Ansteuerung.

Die generative Fertigungsvorrichtung 1 weist zusätzlich insbesondere eine Strahlerzeugungsvorrichtung 15 auf, die eingerichtet ist zum Erzeugen des Energiestrahls 11, insbesondere eines Laserstrahls, sowie außerdem eine Scannervorrichtung 17, die eingerichtet ist, um den Arbeitsbereich 9 lokal selektiv mit dem Energiestrahl 11 zu bestrahlen, um mittels des Energiestrahls 11 das Bauteil aus in dem Arbeitsbereich 9 angeordneten Pulvermaterial

herzustellen. Weiterhin ist insbesondere die Steuervorrichtung 5 ebenfalls in nicht explizit dargestellter Weise mit der Scannervorrichtung 17 und bevorzugt auch mit der Strahlerzeugungsvorrichtung 15 wirkverbunden und eingerichtet ist, um die Scannervorrichtung 17 und gegebenenfalls die Strahlerzeugungsvorrichtung 15 anzusteuern.

Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels der generativen Fertigungsvorrichtung 1 zum additiven Fertigen eines Bauteils aus einem Pulvermaterial auf der Bauplattform 3.

Gleiche und funktionsgleiche Elemente sind in allen Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen, sodass insofern auf die vorangegangene Beschreibung verwiesen wird.

Das zweite Ausführungsbeispiel der generativen Fertigungsvorrichtung 1 weist, im Gegensatz zu dem ersten Ausführungsbeispiel der generativen Fertigungsvorrichtung 1, anstatt des Pulverbett-Sensors 7 ein Sensor 19 zur Erfassung von remittiertem Licht 21 des Energiestrahls 11 auf.

Die Steuervorrichtung 5 ist in nicht explizit dargestellter Weise mit dem Sensor 19 zur Erfassung von remittiertem Licht 21 des Energiestrahls 11 wirkverbunden und eingerichtet zu dessen Ansteuerung.

Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zum Vermessen der Bauplattform 3 der generativen Fertigungsvorrichtung 1.

In einem ersten Schritt S1 wird eine erste Aufnahme der Bauplattform 3 in einem ersten Zustand mittels des Pulverbett-Sensors 7 oder mittels des Sensors 19 zur Erfassung von remittiertem Licht 21 des Energiestrahls 11 in der generativen Fertigungsvorrichtung1 erstellt.

In einem zweiten Schritt S2 wird jeweils eine erste Markierungsposition von mindestens zwei Markierungen der Bauplattform 3 in der ersten Aufnahme erfasst.

In einem dritten Schritt S3 werden die ersten Markierungspositionen in dem ersten Zustand mit zugeordneten zweiten Markierungspositionen derselben Markierungen in einem zweiten Zustand der Bauplattform 3 mittels einer mathematischen Berechnungsvorschrift verglichen.

Insbesondere werden die zweiten Markierungspositionen in Form maschinenlesbarer Daten zur Verfügung gestellt. Alternativ wird insbesondere eine zweite Aufnahme der Bauplattform 3 in

dem zweiten Zustand mittels des Pulverbett-Sensors 7 oder mittels des Sensors 19 zur Erfassung von remittiertem Licht 21 des Energiestrahls 11 in der generativen Fertigungsvorrichtung 1 erstellt, wobei die zweiten Markierungspositionen in der zweiten Aufnahme erfasst werden.

Insbesondere ist eine bijektive Zuordnung der ersten Markierungspositionen zu den zweiten Markierungspositionen bekannt. In einer Ausgestaltung wird die bijektive Zuordnung der ersten Markierungspositionen zu den zweiten Markierungspositionen von einem Benutzer zur Verfügung gestellt, insbesondere in Form maschinenlesbarer Daten. In einer weiteren Ausgestaltung wird die bijektive Zuordnung der ersten Markierungspositionen zu den zweiten Markierungspositionen mittels eines computer-implementierten Algorithmus durchgeführt. Insbesondere basiert der computer-implementierte Algorithmus auf mindestens einem Nachbarschaftskriterium, wobei insbesondere ein Gesamtabstand zwischen den Markierungen der ersten Markierungspositionen und den den Markierungen der ersten Markierungspositionen zugeordneten Markierungen der zweiten Markierungspositionen minimiert wird.

In einem vierten Schritt S4 wird eine Abweichung der ersten Markierungspositionen von den zugeordneten zweiten Markierungspositionen aus dem Vergleich erhalten.

Insbesondere wird die Abweichung mittels der mathematischen Berechnungsvorschrift berechnet. Alternativ oder zusätzlich wird insbesondere die Abweichung erhalten, indem eine Transformation zwischen den ersten Markierungspositionen und den zweiten Markierungspositionen berechnet wird. Insbesondere wird die Transformation mittels eines Kabsch-Algorithmus berechnet. Alternativ oder zusätzlich werden für die Berechnung der Transformation homogene Koordinaten verwendet.

Vorzugsweise wird vor einer Anwendung des Kabsch-Algorithmus auf die ersten Markierungspositionen und die zweiten Markierungspositionen ein erster Schwerpunkt der ersten Markierungspositionen und ein zweiter Schwerpunkt der zweiten Markierungspositionen bestimmt. Anschließend werden insbesondere die zweiten Markierungspositionen derart translatiert, dass der erste Schwerpunkt und der zweite Schwerpunkt in Übereinstimmung miteinander sind. Danach wird der Kabsch-Algorithmus auf die ersten Markierungspositionen und die translatierte zweiten Markierungspositionen angewendet.

In einem optionalen fünften Schritt S5 wird basierend auf der erhaltenen Abweichung, insbesondere basierend auf der Transformation, mindestens ein Bestrahlungsvektor angepasst.

Alternativ oder zusätzlich wird in dem optionalen fünften Schritt S5 basierend auf der erhaltenen Abweichung, insbesondere basierend auf der Transformation, die Bauplattform 3 ausgerichtet. Alternativ oder zusätzlich wird in dem optionalen fünften Schritt S5 basierend auf der erhaltenen Abweichung, insbesondere basierend auf der Transformation, ein globaler Skalierungsfaktor ermittelt, wobei alle zur Bestrahlung der Bauplattform 3 mit dem Energiestrahl 11 vorgesehenen Bestrahlungsvektoren mit dem globalen Skalierungsfaktor skaliert werden. Alternativ oder zusätzlich wird in dem optionalen fünften Schritt S5 basierend auf der erhaltenen Abweichung, insbesondere basierend auf der Transformation, eine Verschiebung eines Festpunkts mindestens eines Bauteilbereichs auf der Bauplattform 3 ermittelt, wobei die dem mindestens einen Bauteilbereich zugeordneten Bestrahlungsvektoren entsprechend der Verschiebung des Festpunkts des Bauteilbereichs verschoben werden, und wobei vorzugsweise die dem Bauteilbereich zugeordneten Bestrahlungsvektoren zusätzlich mit einem im Bauteilbereich zugeordneten, lokalen Skalierungsfaktor skaliert werden.

In einer Ausgestaltung werden der globale und/oder der lokale Skalierungsfaktor anschließend an die bijektive Zuordnung der ersten Markierungspositionen zu den zweiten Markierungspositionen mittels der Gleichung (1) bestimmt. Alternativ oder zusätzlich werden der globale und/oder der lokale Skalierungsfaktor nach der Durchführung des Kabsch-Algorithmus in dem vierten Schritt S4 mittels der Gleichung (1) bestimmt.

Insbesondere wird die Bauplattform 3 automatisch mittels der Ausrichtungsvorrichtung 13 ausgerichtet.

Insbesondere wird in dem optionalen fünften Schritt S5 insbesondere basierend auf der Vermessung der Bauplattform 3 ein Bestrahlungsplan erhalten.

In einem optionalen sechsten Schritt S6 wird der auf der Bauplattform 3 angeordneten Arbeitsbereich 9 mit dem Energiestrahl 11 gemäß dem Bestrahlungsplan lokal selektiv bestrahlt, um das Bauteil mittels des Energiestrahls 11 schichtweise aus einer Mehrzahl von in einer Schichtfolge zeitlich aufeinanderfolgend in dem Arbeitsbereich 9 angeordneten Pulvermaterialschichten des Pulvermaterials herzustellen.

ANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Vermessen einer Bauplattform (3) einer generativen Fertigungsvorrichtung (1), mit folgenden Schritten:
   - Erstellen einer ersten Aufnahme der Bauplattform (3) in einem ersten Zustand mittels eines Pulverbett-Sensors (7) oder mittels eines Sensors (19) zur Erfassung von remittiertem Licht (21) eines Energiestrahls (11) in der generativen Fertigungsvorrichtung (1);
   - Erfassen jeweils einer ersten Markierungsposition von mindestens zwei Markierungen der Bauplattform (3) in der ersten Aufnahme;
   - Vergleichen der ersten Markierungspositionen in dem ersten Zustand mit zugeordneten zweiten Markierungspositionen derselben Markierungen in einem zweiten Zustand der Bauplattform (3) mittels einer mathematischen Berechnungsvorschrift, und
   - Erhalten einer Abweichung der ersten Markierungspositionen von den zugeordneten zweiten Markierungspositionen aus dem Vergleich.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei
   - die zweiten Markierungspositionen in Form maschinenlesbarer Daten zur Verfügung gestellt werden, oder wobei
   - eine zweite Aufnahme der Bauplattform (3) in dem zweiten Zustand mittels des Pulverbett-Sensors (7) oder mittels des Sensors (19) zur Erfassung von remittiertem Licht (21) des Energiestrahls (11) in der generativen Fertigungsvorrichtung (1) erstellt wird, wobei die zweiten Markierungspositionen in der zweiten Aufnahme erfasst werden.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Abweichung mittels der mathematischen Berechnungsvorschrift berechnet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Abweichung erhalten wird, indem eine Transformation zwischen den ersten Markierungspositionen und den zweiten Markierungspositionen berechnet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die Transformation mittels eines Kabsch-Algorithmus berechnet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4, wobei für die Berechnung der Transformation homogene Koordinaten verwendet werden.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei basierend auf der erhaltenen Abweichung, insbesondere basierend auf der Transformation,

- mindestens ein Bestrahlungsvektor angepasst, und/oder
- die Bauplattform (3) ausgerichtet wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei basierend auf der erhaltenen Abweichung, insbesondere basierend auf der Transformation,

- ein globaler Skalierungsfaktor ermittelt wird, wobei alle zur Bestrahlung der Bauplattform (3) mit dem Energiestrahl (11) vorgesehenen Bestrahlungsvektoren mit dem globalen Skalierungsfaktor skaliert werden, oder
- eine Verschiebung eines Festpunkts mindestens eines Bauteilbereichs auf der Bauplattform (3) ermittelt wird, wobei die dem mindestens einen Bauteilbereich zugeordneten Bestrahlungsvektoren entsprechend der Verschiebung des Festpunkts des Bauteilbereichs verschoben werden, und wobei vorzugsweise die dem Bauteilbereich zugeordneten Bestrahlungsvektoren zusätzlich mit einem im Bauteilbereich zugeordneten, lokalen Skalierungsfaktor skaliert werden.

9. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die Bauplattform (3) automatisch mittels einer Ausrichtungsvorrichtung (13) ausgerichtet wird.

10. Verfahren zum generativen Fertigen eines Bauteils aus einem Pulvermaterial, mit folgenden Schritten: Vermessen einer Bauplattform (3) in einem ersten Zustand mithilfe eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9, Anpassen mindestens eines Bestrahlungsvektors und/oder Ausrichten der Bauplattform (3) basierend auf der erhaltenen Abweichung der ersten Markierungspositionen von den zugeordneten zweiten Markierungspositionen, wobei ein Bestrahlungsplan erhalten wird, lokal selektives Bestrahlen eines auf der Bauplattform (3) angeordneten Arbeitsbereichs (9) mit einem Energiestrahl (11) gemäß dem Bestrahlungsplan, um das Bauteil mittels des Energiestrahls (11) schichtweise aus einer Mehrzahl von in einer Schichtfolge zeitlich aufeinanderfolgend in dem Arbeitsbereich (9) angeordneten Pulvermaterialschichten des Pulvermaterials herzustellen.

11. Computerprogrammprodukt, umfassend maschinenlesbare Anweisungen, aufgrund derer ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9 oder ein Verfahren nach Anspruche 10 auf einer Rechenvorrichtung durchgeführt wird, wenn das Computerprogrammprodukt auf der Rechenvorrichtung läuft.

12. Steuervorrichtung (5), eingerichtet zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9.

13. Generative Fertigungsvorrichtung (1) zum additiven Fertigen von Bauteilen aus einem Pulvermaterial mit einer Steuervorrichtung (5) nach Anspruch 12, einem Pulverbett-Sensor (7) und/oder einem Sensor (19) zur Erfassung von remittiertem Licht (21) eines Energiestrahls (11), sowie vorzugsweise einer Ausrichtungsvorrichtung (13).

Fig.1

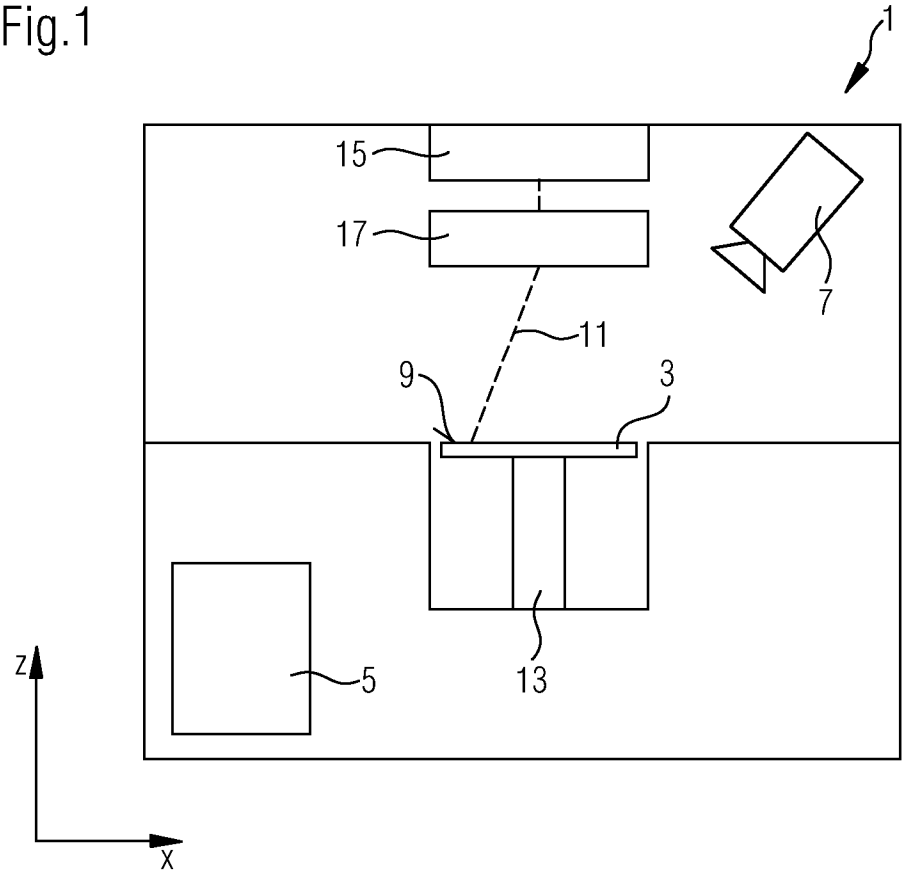


Fig.2

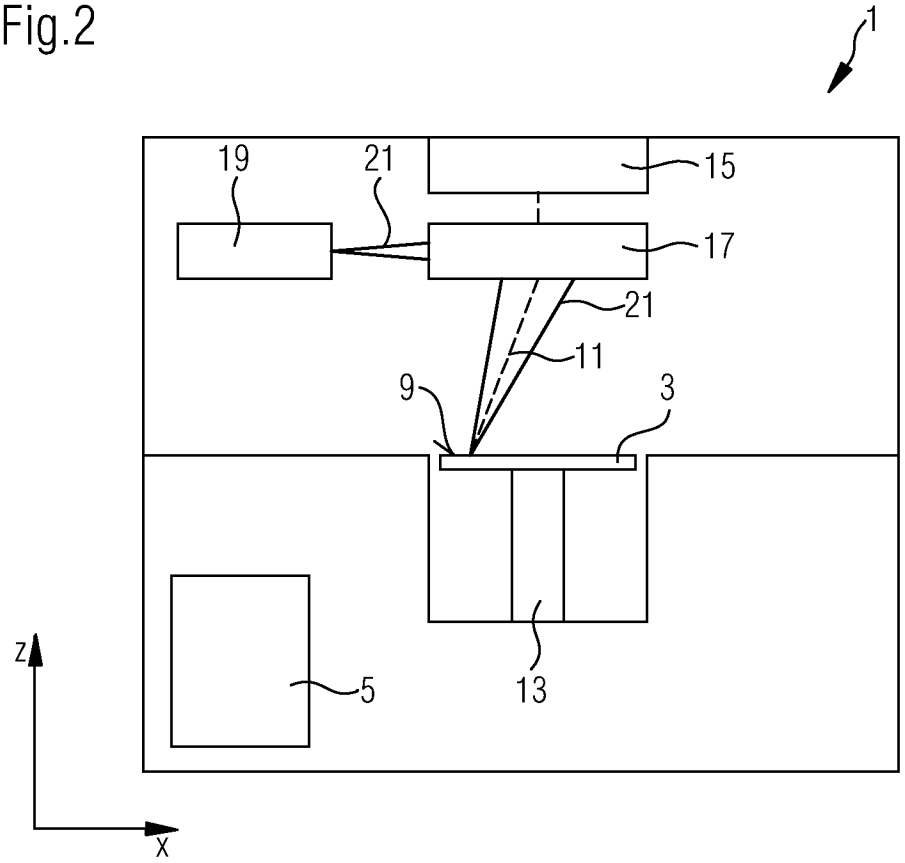
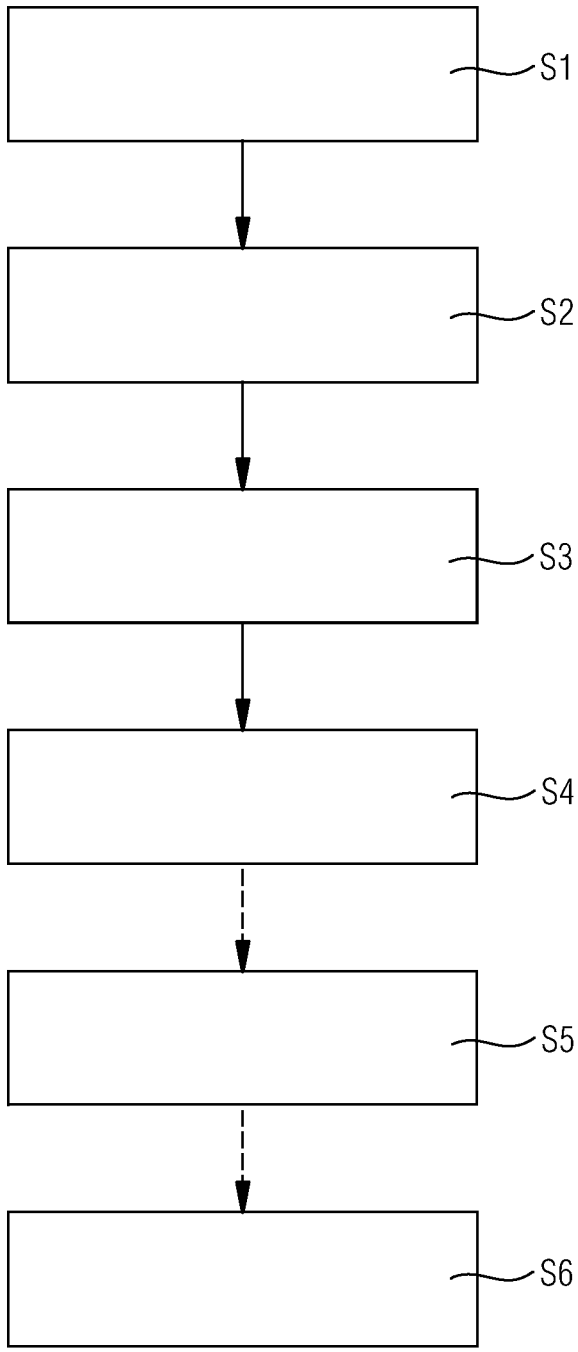


Fig.3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP2023/059205

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G05B 19/404(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B29C; B33Y; G05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	HE WEI ET AL. "In-situ monitoring and deformation characterization by optical techniques; part I: Laser-aided direct metal deposition for additive manufacturing" *OPTICS AND LASERS IN ENGINEERING, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL,* Vol. 122, 03 June 2019 (2019-06-03), pages 74-88, [retrieved on 2019-06-03] DOI: 10.1016/J.OPTLASENG.2019.05.020 ISSN: 0143-8166, XP085909986 pages 74.81-86	1-13
A	DE 102018219301 A1 (TRUMPF LASER & SYSTEMTECHNIK GMBH [DE]) 14 May 2020 (2020-05-14) cited in the application paragraphs [0001] - [0005] paragraphs [0016] - [0038] paragraph [0062] Claim 1	1-13

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
28 June 2023	**06 July 2023**

Name and mailing address of the ISA/EP
European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands
Telephone No. **(+31-70)340-2040**
Facsimile No. **(+31-70)340-3016**

Authorized officer
Dörre, Thorsten
Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2023/059205

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
DE 102018219301 A1	14 May 2020	CN 113195148 A	30 July 2021
		DE 102018219301 A1	14 May 2020
		EP 3880394 A1	22 September 2021
		US 2021260663 A1	26 August 2021
		WO 2020099323 A1	22 May 2020

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2023/059205

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G05B19/404
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
B29C B33Y G05B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	HE WEI ET AL: "In-situ monitoring and deformation characterization by optical techniques; part I: Laser-aided direct metal deposition for additive manufacturing", OPTICS AND LASERS IN ENGINEERING, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL, Bd. 122, 3. Juni 2019 (2019-06-03), Seiten 74-88, XP085909986, ISSN: 0143-8166, DOI: 10.1016/J.OPTLASENG.2019.05.020 [gefunden am 2019-06-03] Seiten 74,81-86 ----- -/--	1-13

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung;; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung;; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
28. Juni 2023	06/07/2023

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Dörre, Thorsten

2

Formblatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (April 2005)

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2023/059205

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2018 219301 A1 (TRUMPF LASER & SYSTEMTECHNIK GMBH [DE]) 14. Mai 2020 (2020-05-14) in der Anmeldung erwähnt Absätze [0001] - [0005] Absätze [0016] - [0038] Absatz [0062] Anspruch 1 -----	1-13

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2023/059205

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102018219301 A1	14-05-2020	CN 113195148 A	30-07-2021
		DE 102018219301 A1	14-05-2020
		EP 3880394 A1	22-09-2021
		US 2021260663 A1	26-08-2021
		WO 2020099323 A1	22-05-2020