

Kalibriersystem und Kalibrierverfahren zur Kalibrierung eines Bauplattformsystems in einer additiven Fertigungsvorrichtung

Die Erfindung betrifft ein Kalibriersystem sowie ein Kalibrierverfahren zur Kalibrierung
5 eines in einem Bauraum einer laserbasierten additiven Fertigungsvorrichtung
angeordneten Bauplattformsystems. Bevorzugte Einsatzgebiete des Kalibriersystems
und des Kalibrierverfahrens sind die hybride additive Neuteilfertigung sowie die
Reparatur von konventionell oder additiv gefertigten Bauteilen.

- 10 Die Verfahren der additiven Fertigung, wie zum Beispiel das pulverbettbasierte
selektive Laserschmelzen (engl. Laser Powder Bed Fusion, kurz: LPBF), sind in
erster Linie für die endkonturnahe Herstellung vollständiger Neuteile konzipiert: Auf
Grundlage eines virtuellen 3D-Bauteilmodells wird auf einer Bauplattform der
additiven Fertigungsvorrichtung Schicht für Schicht Material konsolidiert, bis der
15 durch das 3D-Modell vorgegebene Bauteilformkörper komplettiert ist.
Ausgangsmaterial zur Herstellung hochwertiger, metallischer Bauteile mit Hilfe des
pulverbettbasierten selektiven Laserschmelzens ist regelmäßig ein eng spezifiziertes
und damit kostenintensives Metallpulver, das jedoch nur zu einem Bruchteil
aufgeschmolzen wird, um das additiv gefertigte Bauteil zu bilden. Ein Großteil des
20 Pulvers dient lediglich als Füll- und Stützmaterial.

Die additive Fertigung metallischer Bauteile durch selektives Laserschmelzen ist
infolge langer Fertigungszeiten, unzureichend bekannter Materialdaten und auch
aufgrund des hohen Pulververbrauchs in vielen Branchen gegenüber klassischen
25 Herstellverfahren mitunter noch unrentabel. Etabliert hat sich die additive Fertigung
aber bereits bei der Herstellung von hochpreisigen, geometrisch komplexen oder
individualisierten Bauteilen, insbesondere von Bauteilen aus den Bereichen der
Luftfahrtindustrie oder der Medizintechnik.

- 30 Neben der Neuteilfertigung bietet die additive Fertigung zudem die Möglichkeit zur
endkonturnahen Reparatur von Bauteilen. In der Flugtriebwerksindustrie
beispielsweise werden Teile von Lauf- oder Leitschaufeln durch additiven Aufbau des
verschlissenen Materials instandgesetzt.

- Die additive Fertigung, bei der Material auf bereits bestehende Bauteile bzw. Bauteilelemente endkonturnah aufgetragen wird, wird auch als hybride (additive) Fertigung bezeichnet. Im Unterschied zur Komplettfertigung erfordert die hybride Fertigung eine exakte Positionierung der Bauteile innerhalb der
- 5 Fertigungsvorrichtung bzw. die exakte Kenntnis der Bauteillage auf der Bauplattform.

- Als Bauplattform wird im Allgemeinen die Komponente der additiven Fertigungsvorrichtung bezeichnet, auf der die Bauteile gefertigt werden. Im Kontext dieser Offenbarung wird die Gesamtheit aller Vorrichtungskomponenten der
- 10 additiven Fertigungsvorrichtung, die die zu fertigenden Bauteile tragen, als Bauplattformsystem bezeichnet; als Bauplattform im engeren Sinne wird das im Regelfall plattenförmige Vorrichtungselement verstanden, auf dem die additiv gefertigten Bauteile unmittelbar befestigt sind. Das Bauplattformsystem umfasst also mindestens die Bauplattform; in der einfachsten konstruktiven Ausführung
- 15 beschränkt sich das Bauplattformsystem auf die Bauplattform.

- Bei hybrider additiver Fertigung eines Bauteils wird Material durch additiven Aufbau auf einen vorhandenen Grundkörper, nachfolgend Basisformkörper bezeichnet, aufgebracht. Der additive aufgebaute Teil des Bauteils, der Aufbauformkörper, bildet
- 20 nach Abschluss der additiven Fertigung gemeinsam mit dem Basisformkörper das Bauteil.

- In Bezug auf laserbasierte additive Fertigungsverfahren, wie das pulverbettbasierte selektive Laserschmelzen, besteht bei der hybriden additiven Fertigung die
- 25 Herausforderung, dass der Laser (genauer der Laser-Scanner) in einem separaten Koordinatensystem, dem Laser-Koordinatensystem, gesteuert wird. Die Geometriedaten des Bauplattformsystems und die der ggf. darauf vorhandenen Basisformkörper werden vor Beginn des additiven Fertigungsprozesses an die Steuereinheit des Lasers übergeben, d. h. in das Laser-Koordinatensystem
- 30 transferiert. Das Laser-Koordinatensystem ist nach der Datenübergabe unabhängig von dem Koordinatensystem, mit dem die reale Lage des Bauplattformsystems und die Lage der bereits auf dem Bauplattformsystem vorhandenen Basisformkörper im Bauraum definiert sind. Letzteres Koordinatensystem wird als Bauraum-Koordinatensystem bezeichnet. Befindet sich ein Basisformkörper an einer

bestimmten Position im Bauraum, trifft der Laser (bzw. der Laserspot) bei hybrider additiver Fertigung den Basisformkörper nicht immer hinreichend genau. Für jede Position der im Bauraum befindlichen Objekte, die durch Bauraum-Koordinaten im Bauraum-Koordinatensystem definierbar ist, kann sich eine Abweichung, auch Offset
5 genannt, zwischen den Bauraum-Koordinaten im Bauplattform-Koordinatensystem und den Laser-Koordinaten im Laser-Koordinatensystem ergeben.

Um eine hochpräzise Steuerung des Lasers zu erreichen - und damit letztlich eine hohe Genauigkeit bei der hybriden additiven Fertigung zu gewährleisten - können die
10 Bauraumkoordinaten mit einem Korrekturwert korrigiert und diese korrigierten Lageinformationen des Bauplattformsystems sowie der Basisformkörper an das Laser-Koordinatensystem übergeben werden.

Die Korrekturwerte für die Bauraum-Koordinaten können wiederum durch eine
15 innerhalb der additiven Fertigungsvorrichtung durchgeführten Kalibrierung ermittelt werden. Zu diesem Zweck genutzte Kalibrierverfahren basieren regelmäßig auf der fotografischen Bilderfassung von Mustern und Referenzmarkierungen. Bekannt sind solche Kalibrierverfahren - und die dazu verwendeten Kalibriervorrichtungen oder Kalibriersysteme - unter anderem aus EP 0 792 481 B1, DE 199 18 631 A1,
20 US 6 483 596 B1, WO 2017/158327 A1 oder DE 10 2021 105 918 A1. In WO 2017/158327 A1 wird ein Kalibrierverfahren beschrieben, bei dem ein Kalibriermuster mittels des Lasers der additiven Fertigungsvorrichtung in eine Aluminiumplatte eingebracht wird.

25 EP 4 151 342 A1 offenbart ferner ein Fertigungssystem zur additiven Fertigung eines Werkstücks, wobei das Fertigungssystem unter anderem eine Bauplatte sowie eine optische Vorrichtung zur Erfassung von Bilddaten der Bauplatte aufweist. WO 2020/ 212 108 A1 beschreibt ein Kalibrierverfahren für eine zur Überwachung eines additiven Fertigungsprozesses vorgesehene Kamera, wobei zur Kalibrierung
30 der Kamera ein additiv gefertigtes Bauteil mit einem Muster dieses Bauteils abgeglichen wird.

Diese bekannten Kalibrierverfahren und die dazu genutzten Kalibriervorrichtungen oder Kalibriersysteme fokussieren regelmäßig auf die klassische additive Fertigung,

d. h. die Fertigung kompletter Neuteile, oder beinhalten einen Eingriff in die Maschinensteuerung.

- Aufgabe der Erfindung ist es, ein Kalibriersystem sowie ein Kalibrierverfahren zur
- 5 Kalibrierung eines in einem Bauraum einer additiven Fertigungsvorrichtung angeordneten Bauplattformsystems bereitzustellen, die den präzisen Materialaufbau bei laserbasierter hybrider additiver Fertigung von Bauteilen ermöglicht, ohne dass ein Eingriff in die Maschinensteuerung erforderlich ist.
- 10 Diese Aufgabe wird durch ein Kalibriersystem mit den Merkmalen nach Anspruch 1 sowie ein Kalibrierverfahren nach Anspruch 8 gelöst. Zweckmäßige Weiterbildungen der Erfindung sind in den Ansprüchen 2 bis 7 sowie 9 bis 11 aufgeführt.

- Das nachstehend beschriebene Kalibriersystem und das damit durchgeführte
- 15 Kalibrierverfahren dienen zur Kalibrierung eines in einem Bauraum einer additiven Fertigungsvorrichtung angeordneten Bauplattformsystems, wobei die additive Fertigungsvorrichtung einen steuerbaren Laser zur Konsolidierung von Material während der additiven Fertigung auf dem Bauplattformsystem aufweist. Der Bauraum befindet sich bei gebräuchlichen additiven Fertigungsvorrichtungen, wie
- 20 zum Beispiel den Anlagen zum pulverbettbasierten selektiven Laserschmelzen, in einem Bauschacht, in dem das Bauplattformsystem auch zumeist höhenverstellbar installiert ist.

- Bei derartiger laserbasierter additiver Fertigung von Bauteilen auf einem
- 25 Bauplattformsystem einer additiven Fertigungseinrichtung wird die Lage des Bauplattformsystems im Bauraum - ebenso wie alle anderen Objekte im Bauraum - durch Bauraum-Koordinaten innerhalb eines Bauraum-Koordinatensystems definiert. Bei hybrider additiver Fertigung eines Bauteils aus einem Basisformkörper und einem additiv darauf aufgebauten Aufbauformkörper wird
- 30 also auch die Lage der Basisformkörper durch diese Bauraum-Koordinaten innerhalb des Bauraum-Koordinatensystems beschrieben. Die Bauraum-Koordinaten werden vor Beginn der additiven Fertigung an eine zur Steuerung des Lasers vorgesehene Steuerungseinheit der additiven Fertigungsvorrichtung übergeben.

Die nachfolgend beschriebene Kalibrierung des Bauplattformsystems basiert darauf, dass an die Steuereinheit der additiven Fertigungsverfahren die bekannten, zum Beispiel aus Computermodellen oder aus Vormessungen außerhalb der Fertigungsverfahren generierten, zur Steuerung des Lasers vorgesehenen Bauraum-Koordinaten zusammen mit einem Korrekturwert bzw. Korrekturfaktor für jede einzelne Bauraum-Koordinate übergeben werden, damit der Laser zielgenau die vorgesehene tatsächliche Position innerhalb des Bauraums trifft.

Die Ermittlung dieser Korrekturwerte ist mithin das engere Ziel des nachfolgend beschriebenen Kalibrierverfahrens und des hierfür genutzten Kalibriersystems.

Nach Maßgabe der Erfindung weist das vorgeschlagene Kalibriersystem ein Optikmodul sowie eine auf dem Bauplattformsystem fixierbare, aus einem vorgegebenen, vorzugsweise aus einem metallischen Grundwerkstoff bestehende Kalibrierplatte auf.

Das Optikmodul umfasst eine optische Erfassungseinheit, eine Optikhalterung sowie eine Auflageplatte zur Abdeckung des Bauraums der additiven Fertigungsverfahren. Die Auflageplatte besitzt eine Lichtdurchtrittsaussparung, in deren Bereich die optische Erfassungseinheit mittels der Optikhalterung so befestigt ist, dass die im Bauraum platzierte Kalibrierplatte optisch erfasst werden kann. Die optische Erfassungseinheit befindet sich regelmäßig auf der dem Bauraum gegenüberliegenden Seite der Auflageplatte. Die optische Achse der optischen Erfassungseinheit ist vorzugsweise senkrecht zur Auflageplatte ausgerichtet. Die optische Erfassungseinheit kann beispielsweise ein Kamera oder eine - vorzugsweise hochauflösende - Streifenlichtprojektionseinheit sein.

Bauraumseitig sind Leuchtmittel zur Ausleuchtung des Bauraums an der Auflageplatte angebracht, zum Beispiel in Form von Leuchtdioden, die vorzugsweise gleichmäßig verteilt an der Bauraumseite der Auflageplatte angeordnet sind.

Die Kalibrierplatte weist auf einer ihrer beiden flächig ausgedehnten Plattenseiten eine Sichtfläche auf, die bei bestimmungsgemäßen Aufbau des Kalibriersystems der optischen Erfassungseinheit zugewandt ist. Die Sichtfläche der Kalibrierplatte ist mit

- einer sich vom vorgegebenen Grundwerkstoff farblich abhebenden Oberflächenschicht versehen, d. h., die Oberflächenschicht besitzt einen farblich deutlichen Kontrast gegenüber der Färbung des vorgegebenen Grundwerkstoffs. Vorzugsweise ist die Oberflächenschicht dunkel, also zum Beispiel schwarz, gefärbt, während der unbeschichtete Grundwerkstoff ein helles Erscheinungsbild besitzt (bei metallischem Grundwerkstoff häufig ein silbrig-metallisches Erscheinungsbild).

- Das Kalibriersystem kann ferner einen oder mehrere Referenzmarkenträger mit jeweils einer Referenzmarkierung umfassen. Diese Referenzmarkenträger sind jeweils positionsgenau am Bauplattformsystem fixierbar; sie dienen als Bezugspunkte an dem in der additiven Fertigungsverfahren fixierten Bauplattformsystem. Um die Sicht der optischen Erfassungseinheit auf die Referenzmarkierungen zu gewährleisten, können Referenzmarken-Aussparungen in der Kalibrierplatte eingebracht sein.

- Das erfindungsgemäße Kalibrierverfahren zur Kalibrierung des im Bauraum der laserbasierten additiven Fertigungsverfahren bestimmungsgemäß befestigten Bauplattformsystems wird mit dem vorstehend beschriebenen Kalibriersystem, welches das Optikmodul, die Kalibrierplatte sowie die mit den Referenzmarkierungen versehenen Referenzmarkenträger umfasst, und mit einer Auswerteeinheit zur Auswertung von Lageparametern und zur Ermittlung der oben genannten Korrekturwerte durchgeführt.

- Die Kalibrierplatte und die Referenzmarkenträger werden zur Kalibrierung des Bauplattformsystems so fixiert, dass die Sichtfläche und die Referenzmarkierungen gleichzeitig bei Draufsicht auf die Sichtfläche der Kalibrierplatte sichtbar sind.

- Auf der Sichtseite der Kalibrierplatte wird mittels des Lasers der additiven Fertigungsverfahren ein aus zweidimensionalen Musterelementen bestehendes - ebenfalls zweidimensionales - Kalibriermuster in der Sichtflächenebene der Kalibrierplatte erzeugt. Die Lage der einzelnen Musterelemente ist durch Soll-Lageparameter definiert, die in einem Computermodell hinterlegt sind und in Form der Bauraum-Koordinaten an die Steuereinheit der additiven Fertigungsverfahren übergeben werden. Auf Basis der Soll-

Lageparameter wird das Kalibriermuster gefertigt, welches im Anschluss in Form von Ist-Lageparametern erfasst wird. Die Auswerteeinheit ist eingerichtet, die Korrekturwerte für die Bauraum-Koordinaten auf Basis eines Soll-Ist-Vergleichs der vorgegebenen Soll-Lageparameter und der erfassten Ist-Lageparameter unter

5 Berücksichtigung und in Relation zu den am Bauplattformsystem angebrachten Referenzmarkierungen zu ermitteln. Die mathematischen Methoden zur Ermittlung der Korrekturwerte aus dem zweidimensionalen Soll-Ist-Mustervergleich sind grundsätzlich bekannt und werden an dieser Stelle nicht weiter erläutert.

10 Erfindungsgemäß wird das Kalibrierverfahren in den folgenden Verfahrensschritten durchgeführt:

Im ersten Schritt werden die Kalibrierplatte und der oder die mit den Referenzmarkierungen versehenen Referenzmarkenträger an dem im Bauraum der

15 additiven Fertigungsverfahren angeordneten Bauplattformsystem fixiert. Das Bauplattformsystem ist hierzu seinerseits bestimmungsgemäß in der additiven Fertigungsverfahren installiert.

Im nächsten Schritt wird mittels des steuerbaren Lasers durch lokales Abtragen der

20 Oberflächenschicht auf der Sichtfläche der Kalibrierplatte das aus den Musterelementen bestehende Kalibriermuster eingebracht. Das Kalibriermuster erstreckt sich hierbei über die gesamte Sichtfläche der Kalibrierplatte. Durch das lokale Abtragen wird im Bereich der Musterelemente eine Oberfläche erzeugt, die sich farblich von der umgebenden Oberflächenschicht abhebt; ein helles

25 Musterelement in dunkler Umgebung hat sich als besonders geeignet erwiesen. Vorzugsweise wird der Laser beim Einbringen des Kalibriermusters in die Kalibrierplatte mit den für die additive Fertigung in der additiven Fertigungsverfahren prozesstypischen Parametern betrieben.

30 Im nachfolgenden Schritt wird das Bauplattformsystem mit der darauf befestigten Kalibrierplatte auf eine vorgegebene Position im Bauraum, d. h. auf einen vorgegebenen Arbeitsabstand der optischen Erfassungseinheit, gebracht, zum Beispiel durch Absenken im Bauschacht der additiven Fertigungsanlage.

Im nächsten Schritt wird das Optikmodul am Bauraum angebracht, wobei die Auflageplatte des Optikmoduls den Bauraum abdeckt. Die Auflageplatte ist hierbei vorzugsweise so dimensioniert, dass der Bauraum durch ein geringfügiges Übermaß der Auflageplatte vollständig gegen das Eindringen von Umgebungslicht abgeschirmt ist.

In dieser Position wird nun ein (vorzugsweise digitales) Abbild der Kalibrierplatte mittels der optischen Erfassungseinheit aufgenommen. Das Abbild kann zum Beispiel ein Lichtbild oder eine Punktwolke sein. Vorzugsweise ist die optische Erfassungseinheit mit ihrer optischen Achse senkrecht zur Kalibrierplatte ausgerichtet, um ein perspektivisch unverzerrtes Abbild der Kalibrierplatte aufzunehmen.

Das aufgenommene Abbild der Kalibrierplatte wird schließlich in der Auswerteeinheit ausgewertet, d. h., es werden die Ist-Lageparameter für jedes einzelne Musterelement des Kalibriermusters bestimmt. Auf dieser Basis werden dann die Korrekturwerte der Bauraum-Koordinaten - ebenfalls mittels der Auswerteeinheit - ermittelt.

Einer der Vorteile des erfindungsgemäßen Kalibriersystems sowie des Kalibrierverfahrens ist die Verwendung der Kalibrierplatte mit der Oberflächenschicht, die mit dem Laser zum Einbringen des Kalibriermusters lokal abgetragen wird. Dieser Abtrag erfordert nämlich eine Einstellung von Laserparametern, zum Beispiel der Laserleistung, die denen bei additiver Fertigung von Bauteilen relativ nahekommen.

Durch diese Form der Herstellung des Kalibriermusters bilden sich im erfassten Abbild des Kalibriermusters alle vorrichtungsbedingten Abweichungen exakt ab. Es können für jede Position des Bauplattformsystems orts aufgelöst sehr genaue Korrekturwerte ermittelt werden. Da an die Steuereinheit zur Steuerung des Lasers die Bauraum-Koordinaten mit den Korrekturwerten übergeben werden, ist keinerlei Eingriff in die Steuerung erforderlich, d. h., in die Maschinensteuerung der additiven Fertigungsanlage wird nicht eingegriffen. Dies ist vor allem dann von Belang, wenn die additive Fertigungsvorrichtung Zertifizierungsaufgaben unterliegt. Aufgrund des

nicht erforderlichen Eingriffs in die Maschinensteuerung der additiven Fertigungsvorrichtung bei Anwendung der vorliegend beschriebenen Kalibriermethode bleiben Anlagenzertifizierungen insofern erhalten.

- 5 Ein weiterer Vorteil der kompakten Ausführung des Optikmoduls mit der Auflageplatte besteht darin, dass kein Fremdlicht in den Bauraum während der Abbildaufnahme fällt. Die Kalibrierplatte wird in stets gleichbleibender Weise über die vordefinierten, bauraumseitig an der Auflageplatte angebrachten Leuchtmittel während der Aufnahme des Abbildes beleuchtet.
- 10 Die Kalibrierung des Bauplattformsystems in einer additiven Fertigungsvorrichtung mit der vorstehend beschriebenen Kalibriermethode kann schnell und unkompliziert durchgeführt werden; üblicherweise dauert der Kalibriervorgang nur wenige Minuten.
- 15 Das Kalibriersystem und das Kalibrierverfahren eignen sich - aufgrund der durch die Kalibrierung verbesserten Fertigungsgenauigkeit bei der additiven Fertigung - insbesondere zur Kostensenkung bei hybrider additiver Neuteilfertigung, bei Reparatur additiv designter Bauteile, bei Reparatur konventionell hergestellter Bauteile oder bei Reparatur von additiv gefertigten Bauteilen nach sogenannten
- 20 „failed build jobs“, d. h. zur Korrektur eines fehlerhaften additiven Aufbaus.

Das Bauplattformsystem ist vorzugsweise so ausgebildet, wie dies in der deutschen Patentanmeldung DE 10 2022 129 035.2 bzw. in der internationalen Patentanmeldung mit der Anmeldenummer PCT/DE2023/150027 beschrieben ist. In

- 25 dieser Hinsicht wird Bezug genommen auf die deutsche Patentanmeldung mit der Anmeldenummer DE 10 2022 129 035.2 und die internationale Patentanmeldung mit der Anmeldenummer PCT/DE2023/150027, deren Inhalte hiermit in dieser Patentanmeldung aufgenommen werden.

- 30 Gemäß einer Ausgestaltung des Kalibriersystems wird als Grundwerkstoff, aus dem die Kalibrierplatte besteht, ein Material gewählt, das dem der additiv zu fertigenden Bauteile entspricht oder diesem in Bezug auf Fertigungsparameter besonders ähnlich ist. Im Regelfall handelt es sich um einen metallischen Grundwerkstoff. Es hat sich hierbei zum Beispiel herausgestellt, dass Stahlwerkstoffe in dieser Hinsicht

vergleichsweise universell einsetzbar sind; im Allgemeinen werden metallische Werkstoffe mit einer Dichte im Bereich von $4 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ bis $10 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ als Grundwerkstoff der Kalibrierplatte bevorzugt eingesetzt.

- 5 Zur Kontrastverbesserung besitzt die Oberflächenschicht an der Sichtfläche der Kalibrierplatte nach Möglichkeit ein mattes Erscheinungsbild. Die Oberflächenschicht kann eine Auflageschicht oder eine Umwandlungsschicht, d. h. eine durch oberflächliche Umwandlung des Grundwerkstoffs erzeugte Oberflächenschicht, sein. Vorzugsweise ist die Oberflächenschicht eine oxidische Umwandlungsschicht aus
- 10 dem - insbesondere metallischen - Grundwerkstoff der Kalibrierplatte, zum Beispiel eine Brünierschicht, wenn der Grundwerkstoff ein Stahlwerkstoff ist, oder eine Anodisierschicht, wenn der Grundwerkstoff ein Titan- oder Aluminiumwerkstoff ist. Die oxidischen Umwandlungsschichten bieten eine sehr gute Haftung, d. h. sind abriebfest, besitzen üblicherweise ein mattes Erscheinungsbild und können, sofern
- 15 sie nicht bereits dunkel gefärbt sind, in geeigneter Weise gefärbt werden.

Neben metallischen Werkstoffen sind zum Beispiel auch Glaswerkstoffe als Grundwerkstoff der Kalibrierplatte einsetzbar.

- 20 Gemäß einer weiteren Ausgestaltung weist das Optikmodul des Kalibriersystems einen oder mehrere Sensoren auf. Ein solcher Sensor kann beispielsweise ein Entfernungssensor zur Detektion des Abstandes der auf dem Bauplattformsystem fixierten Kalibrierplatte zu der am Bauraum angebrachten optischen Erfassungseinheit sein; geeignete Entfernungssensoren sind unter anderem induktiv
- 25 arbeitende Abstandssensoren oder laserbasierte Abstandssensoren. Der Entfernungssensor ermöglicht es, den vorgegebenen Arbeitsabstand der optischen Erfassungseinheit präzise einzustellen bzw. nachzuzustieren.

- Ferner kann das Optikmodul einen Neigungssensor zur Bestimmung der Ausrichtung
- 30 der optischen Erfassungseinheit und/oder zur Überwachung der lotrechten Ausrichtung der optischen Erfassungseinheit aufweisen. Mittels des Neigungssensors wird sichergestellt, dass die optische Erfassungseinheit im Optikmodul verkippfungsfrei (lotrecht) ausgerichtet ist. Die Kalibrierplatte und/oder das darunter liegende Bauplattformsystem können ebenfalls mit einem

Neigungssensor ausgestattet sein, um die senkrechte Ausrichtung der optischen Achse der optische Erfassungseinheit zur Kalibrierplatte zu überprüfen bzw. sicherzustellen. Bei Detektion einer Verkippung kann diese im Nachgang im Rahmen der Auswertung mathematisch ausgeglichen bzw. korrigiert werden.

5

Alternativ kann die Verkippung auch über mehrere der Entfernungssensoren überprüft werden, die beispielsweise an drei oder vier Positionen den Abstand zwischen dem Optikmodul und der Kalibrierplatte ermitteln.

- 10 Weiterhin kann im Optikmodul ein Temperatursensor installiert sein. Mittels des Temperatursensors kann überprüft werden, ob für die optische Erfassungseinheit und die Kalibrierplatte eine vorgegebene Messtemperatur oder ein vorgegebener Messtemperaturbereich eingehalten wird.
- 15 Das Optikmodul kann ferner einen RFID-Transponder zur kontaktlosen Datenspeicherung und Datenabfrage von Identifikationsdaten aufweisen. Das Kürzel RFID (engl.: radio-frequency identification) beschreibt eine bekannte Technologie zum automatischen und berührlosen Identifizieren und Lokalisieren von Objekten mittels Radiowellen; ein RFID-System umfasst regelmäßig einen RFID-Transponder und ein Lesegerät. Mittels des RFID-Transponders des Optikmoduls kann der Zugriff auf das Kalibriersystem gesteuert werden, zum Beispiel durch eine vom Bediener zu autorisierende Freigabe des Kalibriersystems.
- 20

- Bei größeren additiven Fertigungsanlagen, zum Beispiel solchen, die mehrere Laser aufweisen, d. h. bei sogenannten Multilasersystemen, kann vorgesehen sein, dass
- 25 das Optikmodul mehrere der optischen Erfassungseinheiten aufweist, wobei jedem der Laser eine der optischen Erfassungseinheiten zugeordnet ist. Hierdurch kann die Kalibrierung simultan für das jeweilige Bearbeitungsfeld jedes spezifischen Lasers vorgenommen werden. Gemäß einer anderen Ausgestaltung des Optikmoduls kann
 - 30 dieses eine verfahrbare, zum Beispiel eine positionsverstellbare, optische Erfassungseinheit aufweisen. Die optische Erfassungseinheit wird hierzu auf definierte Positionen verfahren, um nacheinander Abbilder für das jeweilige Bearbeitungsfeld jedes spezifischen Lasers aufzunehmen.

Die Referenzmarkenträger des Kalibriersystems können in unterschiedlicher Weise ausgebildet sind, zum Beispiel als Passstifte, die im Bauplattformsystem positionsfixiert einbringbar sind. Die Referenzmarkierungsträger werden - zur Vermeidung von perspektivischen Fehlern bei der Abbildaufnahme - vorzugsweise
5 so am Bauplattformsystem befestigt, dass ihre Referenzmarkierung sich in der gleichen Ebene wie die Sichtfläche der Kalibrierplatte befindet.

Vorzugsweise wird eine Mehrzahl von gleichmäßig verteilten Referenzmarkenträgern bzw. Referenzmarkierungen am Bauplattformsystem angebracht, zum Beispiel vier
10 auf den Ecken und eine mittig in einem Rechteck angeordnete Referenzmarkierung. Über die Referenzmarkierungen kann eine mögliche Verkipfung der optischen Erfassungseinheit relativ zur Kalibrierplatte mathematisch ausgeglichen werden. Hierbei wird über die definiert bekannten Referenzmarkierungen eine Homographie-Matrix ermittelt. Auf dieser Basis kann ein „nicht verkipptes“ Abbild errechnet werden,
15 indem jeder Punkt des Abbildes mit der Homographie-Matrix multipliziert wird.

Alternativ zu Passstiften kann jede andere Form von Referenzmarkenträgern verwendet werden, die definiert am Bauplattformsystem fixierbar ist, wie zum Beispiel magnetische Halbkugeln.

20

Die Fixierung der Kalibrierplatte am Bauplattformsystem kann beispielsweise mittels Schraubenverbindungen erfolgen. Alternativ sind auch Magnethalterungen einsetzbar, deren Vorteil insbesondere darin besteht, dass auf der Sichtfläche kein Flächenverlust durch die Befestigungselemente eintritt, d. h. mehr Raum für die
25 Musterelemente des Kalibriermusters zur Verfügung steht.

Gemäß einer Ausgestaltung kann das Kalibriersystem eine Kalibrierplattform zum Fixieren der Kalibrierplatte am Bauplattformsystem aufweisen, wobei die Kalibrierplatte auf der Kalibrierplattform befestigt ist. Die Einheit aus Kalibrierplatte
30 und Kalibrierplattform wird zur Kalibrierung am Bauplattformsystem angebracht. Die Referenzmarkenträger sind hierbei positionsgenau auf der Kalibrierplattform fest installiert. Zum Kalibrieren des Bauplattformsystems sind die Kalibrierplatte ebenso wie die Referenzmarkenträger über die Kalibrierplattform, d. h. mittelbar, am Bauplattformsystem befestigt bzw. fixierbar.

Gemäß einer Ausgestaltung des Kalibrierverfahrens besteht das mittels des Lasers in die Oberflächenschicht auf der Sichtfläche der Kalibrierplatte eingebrachte Kalibriermuster aus einer Vielzahl der einzelnen Musterelemente, die jeweils eine
5 identische, zweidimensionale Geometrie besitzen. Die Musterelemente sind hierbei beabstandet zueinander in Reihen und Spalten auf der Sichtfläche der Kalibrierplatte platziert. Vorzugsweise sind die Musterelemente so angeordnet, dass jedes der Musterelemente zu jedem seiner innerhalb der gleichen Reihe oder Spalte benachbarten Musterelemente einen Mindestabstand aufweist, der größer oder
10 gleich der Erstreckung bzw. der Ausdehnung des Musterelements ist.

Jedes einzelne der Musterelemente weist bevorzugt jeweils eine vierzählige Drehsymmetrie, mindestens zwei senkrecht zueinanderstehende Geradenabschnitte und ein einzelnes Kreis- oder Punktelement auf. Ein Beispiel für eine derartige
15 Gestaltung des Musterelements ist ein Fadenkreuz aus zwei sich mittig kreuzenden, senkrecht zueinanderstehenden Geradenabschnitten, deren Schnittpunkt gleichzeitig das einzelne Punktelement bildet. Eine andere Gestaltung des Musterelements ist ein Quadrat mit einem einbeschriebenen Kreiselement. Aufgrund der vierzähligen Drehsymmetrie befindet sich das einzelne Kreis- oder Punktelement
20 notwendigerweise stets im Mittelpunkt des Musterelements. Anhand des Kreis- oder Punktelements werden als Teil der Lageparameter der Musterelemente deren Lagekoordinaten bzw. deren Position in der Ebene bestimmt; anhand der Geradenabschnitte wird eine Winkelverdrehung als Teil der Lageparameter ermittelt. Bei vorgegebenen Soll-Lageparametern für ein spezifisches Musterelement des
25 Kalibriermusters, definiert zum Beispiel in Form einer Soll-X-Lagekoordinate, einer Soll-Y-Lagekoordinate und einer Soll-Winkellage, ergibt sich nach Auswertung des Abbildes des Kalibriermusters für dieses Musterelement eine Ist-X-Lagekoordinate, eine Ist-Y-Lagekoordinate und eine Ist-Winkellage. Aus den Differenzen, d. h. durch Soll-Ist-Vergleich der Lageparameter, werden mittels der Auswerteeinheit die
30 Korrekturwerte für jede der Bauraumkoordinaten im Bauraum-Koordinatensystem ermittelt.

Die Erfindung ist nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen und mit Bezug auf die schematischen Zeichnungen näher erläutert, wobei gleiche oder ähnliche Merkmale mit gleichen Bezugszeichen versehen sind; dazu zeigen:

- 5 Fig. 1: ein mit Bauteilen bestücktes Bauplattformsystem in Perspektivdarstellung,
- Fig. 2: das in einer additiven Fertigungsverfahren installierte Kalibriersystem gemäß einer ersten Ausführungsform in Perspektivdarstellung,
- Fig. 3: das Kalibriersystem gemäß der ersten Ausführungsform vor dem Aufbringen des Kalibriermusters in Perspektivdarstellung,
- 10 Fig. 4: das Kalibriersystem gemäß der ersten Ausführungsform nach dem Aufbringen des Kalibriermusters in Perspektivdarstellung,
- Fig. 5: die Kalibrierplatte mit Kalibriermuster in der Draufsicht,
- Fig. 6: einen Soll-Ist-Vergleich der Lageparameter anhand eines Musterelements
- Fig. 7: das Kalibriersystem gemäß einer zweiten Ausführungsform in
- 15 Perspektivdarstellung,
- Fig. 8: das Kalibriersystem gemäß der zweiten Ausführungsform in Perspektivdarstellung,
- Fig. 9: Details des Kalibriersystems gemäß der zweiten Ausführungsform in Perspektivdarstellung, und
- 20 Fig. 10: Details des Kalibriersystems gemäß der zweiten Ausführungsform in Explosionsdarstellung.

- Gemäß Ausführungsbeispiel besteht - siehe hierzu Fig. 1 - das zu kalibrierende Bauplattformsystem 1 aus einer Maschineninterfacereinheit 1.1 und einer darauf
- 25 passgenau fixierbaren Bauplattform 1.2, die wiederum die Bauteile 3 trägt. In Fig. 1 sind 48 durch hybride additive Fertigung hergestellte Bauteile 3, hier beispielhaft Turbinenschaufeln für Flugtriebwerke, dargestellt. Auf die Basisformkörper 3.1 der Bauteile 3 wird im Rahmen der hybriden additiven Fertigung der
 - 30 Aufbauformkörper 3.2, hier beispielhaft die Schaufelspitze der Turbinenschaufel, additiv aufgebaut, sodass aus dem Basisformkörper 3.1 und dem Aufbauformkörper 3.2 jeweils wieder ein komplettes Bauteil 3 entsteht. Da vor Beginn der Fertigung die Basisformkörper 3.1 lagefixiert auf der Bauplattform 1.2 verankert sind und diese wiederum lagefixiert auf der Maschineninterfacereinheit 1.1

arretiert wird, ist es für dieses Bauplattformsystem 1 lediglich notwendig, die Maschineninterfaceeinheit 1.1 zu kalibrieren.

In Bezug auf das im Ausführungsbeispiel dargestellte Bauplattformsystem 1, insbesondere dessen spezifischen Aufbau, wird ferner auf die Patentanmeldung PCT/DE2023/150027 Bezug genommen, deren Inhalt als Teil der vorliegenden Offenbarung zu berücksichtigen ist.

Die in Fig. 2 dargestellte additive Fertigungsverfahren besitzt einen Bauschacht, dessen Innenraum der Bauraum 2 ist. Im Bauraum 2 ist das Bauplattformsystem 1 in Form der Maschineninterfaceeinheit 1.1 mit der darauf angebrachten Kalibrierplatte 5 eingebracht.

Auf dem Bauschacht ist das Optikmodul 4 installiert, wobei die Auflageplatte 4.3 überdeckend auf den Bauschachtwänden aufsitzt, sodass kein Umgebungslicht in den Bauraum 2 während der Aufnahme des Abbildes (hier eines Lichtbildes) der Kalibrierplatte 5 eindringt. Die zur Abbildaufnahme genutzte optische Erfassungseinheit 4.1, hier eine Kamera, ist mittels der Optikhalterung 4.2 so an der Auflageplatte 4.3 befestigt, dass die optische Achse bzw. Blickrichtung der optischen Erfassungseinheit 4.1 senkrecht zur Auflageplatte 4.3 ausgerichtet ist; bei bestimmungsgemäßer Installation des Optikmoduls 4 ist die optische Achse der optischen Erfassungseinheit 4.1 somit lotrecht in den Bauraum 2 der additiven Fertigungsverfahren und senkrecht auf die Kalibrierplatte 5 gerichtet.

In Fig. 3 ist eine erste Ausführungsform des Kalibriersystems zum Kalibrieren des Bauplattformsystems 1 in Form der Maschineninterfaceeinheit 1.1 im detaillierten Aufbau wiedergegeben.

Die Auflageplatte 4.3 besitzt an ihrer (nicht sichtbaren) Unterseite Leuchtdioden zur Beleuchtung der Kalibrierplatte 5. Die optische Erfassungseinheit 4.1 des Optikmoduls 4 ist oberhalb der (nicht bezeichneten) Lichtdurchtrittsaussparung der Auflageplatte 4.3 mittels der Optikhalterung 4.2 befestigt.

- Die auf der Maschineninterfaceeinheit 1.1 fixierte Kalibrierplatte 5 - in Fig. 3 vor dem Einbringen des Kalibriermusters 6 - besitzt fünf Referenzmarken-Aussparungen 5.1, die die Sicht der optischen Erfassungseinheit 4.1 auf die mittig an den Stirnseiten der Referenzmarkenträger 7 angebrachten Referenzmarkierungen 8 freigeben. Die
- 5 Referenzmarkenträger 7 sind gemäß Ausführungsbeispiel als in der Maschineninterfaceeinheit 1.1 eingepasste Kalibrierpassstifte 7.1 bzw. als ein in der Maschineninterfaceeinheit 1.1 magnetisch fixierbares Halbkugelelement 7.2 ausgebildet.
- 10 Die Kalibrierplatte 5 ist mittels der Befestigungsschrauben 9 auf der Maschineninterfaceeinheit 1.1 befestigt, wobei zwischen Kalibrierplatte 5 und Maschineninterfaceeinheit 1.1 die Abstandshalter 10 eingefügt sind, die sicherstellen, dass sich die Referenzmarkierungen 8 in einer Ebene mit der Sichtfläche der Kalibrierplatte 5 befinden.
- 15 Das Kalibriersystem nach Fig. 4 entspricht dem nach Fig. 3, zeigt aber zusätzlich das auf der Sichtseite der Kalibrierplatte 5 mittels des Lasers der additiven Fertigungsvorrichtung eingebrachte Kalibriermuster 6 aus den einzelnen periodisch in Reihen und Spalten angeordneten Musterelementen 6.1.
- 20 In Fig. 5 ist die Sichtseite der in Fig. 4 gezeigten Kalibrierplatte 5 in der Draufsicht wiedergegeben. Das im Rahmen des Kalibrierverfahrens erstellte Abbild entspricht der Darstellung in Fig. 5. Anhand dieses Abbildes werden die Ist-Lageparameter für jedes der zweidimensionalen Musterelemente 6.1 erfasst und mittels der
- 25 Auswerteeinheit verarbeitet.
- Den Soll-Ist-Vergleich der Soll-Lageparameter und der Ist-Lageparameter anhand eines der Musterelemente 6.1 im Koordinatensystem veranschaulicht Fig. 6. Die Soll-Lageparameter des zweidimensionalen Musterelements 6.1 sind die beiden
- 30 vorgegebenen Soll-Lagekoordinaten X, Y und die Sollwinkellage in der zweidimensionalen Ebene, wobei das Musterelement 6.1 gemäß Vorgabe keine Verdrehung, d. h. stets eine Soll-Winkellage von 0°, aufweist. Die fotografisch bestimmten Ist-Lageparameter sind die beiden gemessenen Ist-

Lagekoordinaten X' , Y' und die gemessene Winkellageabweichung R' des Musterelements 6.1.

In den Fig. 7 bis 10 ist eine zweite Ausführungsform des Kalibriersystems zum
5 Kalibrieren des Bauplattformsystems 1 wiedergegeben.

Auf der Maschineninterfaceeinheit 1.1 - siehe hierzu Fig. 7 - ist zum Kalibrieren derselben die Kalibrierplattform 1.3 mit der darauf befestigten Kalibrierplatte 5 angebracht. Das darüber befindliche Optikmodul 4 umfasst die optische
10 Erfassungseinheit 4.1, wiederum ein Kamera (deren Objektiv in Fig. 7 sichtbar ist), die Optikhalterung 4.2 sowie eine plattenförmige Abdeckung. Diese Abdeckung ist eine Sandwichstruktur aus der nach unten abschließenden Auflageplatte 4.3, LED-Paneelen und Diffusorplatten. Fig. 8 zeigt in einer mit Fig. 7 korrespondierenden Darstellung eine Einhausung 4.4 des Optikmoduls 4, mittels der die optische
15 Erfassungseinheit 4.1, die Optikhalterung 4.2 sowie die plattenförmige Abdeckung eingehaust bzw. abgeschirmt sind.

Die Detaildarstellung der Maschineninterfaceeinheit 1.1, der Kalibrierplattform 1.3 und der darauf befestigten Kalibrierplatte 5 gemäß der zweiten Ausführungsform des
20 Kalibriersystems gehen aus den Fig. 9 und 10 hervor.

Das auf der Sichtseite der Kalibrierplatte 5 mittels des Lasers der additiven Fertigungsvorrichtung eingebrachte Kalibriermuster 6 aus den einzelnen periodisch in Reihen und Spalten angeordneten Musterelementen 6.1 gemäß Fig. 9
25 unterscheidet sich hinsichtlich der Ausbildung der Musterelemente 6.1 gegenüber der ersten Ausführungsform des Kalibriersystems gemäß Fig. 4.

Die mittels der Befestigungsschrauben 9 auf der Kalibrierplattform 1.3 fixierte Kalibrierplatte 5 besitzt fünf Referenzmarken-Aussparungen 5.1, die die Sicht der
30 optischen Erfassungseinheit 4.1 auf die mittig an den Stirnseiten der Referenzmarkenträger 7 angebrachten Referenzmarkierungen 8 freigeben.

Die Referenzmarkenträger 7 sind gemäß der zweiten Ausführungsform als Kalibrierstifte 7.3 ausgebildet, die - siehe hierzu Fig. 10 - fest auf der

Kalibrierplattform 1.3 installiert sind. Die Kalibrierplatte 5 weist eine Dicke auf, die der Höhe der Kalibrierstifte 7.3 entspricht, sodass sich die Referenzmarkierungen 8 in einer Ebene mit der Sichtfläche der Kalibrierplatte 5 befinden.

- 5 Die Kalibrierplattform 1.3 ist - wie ferner aus Fig. 10 hervorgeht - mittels eines Nullpunkt-Spannsystems, geführt durch Passstifte, lagefixiert auf der Maschineninterfaceeinheit 1.1 befestigbar.

Bezugszeichenliste

	1	Bauplattformsystem
	1.1	Maschineninterfaceeinheit
5	1.2	Bauplatzform
	1.3	Kalibrierplatzform
	2	Bauraum
	3	Bauteil
	3.1	Basisformkörper
10	3.2	Aufbauformkörper
	4	Optikmodul
	4.1	optische Erfassungseinheit
	4.2	Optikhalterung
	4.3	Auflageplatte
15	4.4	Einhausung
	5	Kalibrierplatte
	5.1	Referenzmarken-Aussparungen
	6	Kalibriermuster
	6.1	Musterelement
20	7	Referenzmarkenträger
	7.1	Kalibrierpassstift
	7.2	Halbkugelelement
	7.3	Kalibrierstift
	8	Referenzmarkierung
25	9	Befestigungsschrauben
	10	Abstandshalter
	X, Y	vorgegebene Soll-Lagekoordinaten
	X', Y'	gemessene Ist-Lagekoordinaten
	R'	gemessene Winkellageabweichung

Patentansprüche

1. Kalibriersystem zur Kalibrierung eines in einem Bauraum (2) einer additiven
Fertigungsvorrichtung angeordneten Bauplattformsystems (1), wobei die additive
5 Fertigungsvorrichtung einen steuerbaren Laser zur Konsolidierung von Material
während der additiven Fertigung auf dem Bauplattformsystems (1) aufweist, und
wobei das Kalibriersystem eine auf dem Bauplattformsystem (1) fixierbare
Kalibrierplatte (5) und ein Optikmodul (4) umfasst,
- dadurch gekennzeichnet, dass**
- 10 - die Kalibrierplatte (5) aus einem vorgegebenen Grundwerkstoff besteht, wobei die
Kalibrierplatte (5) eine Sichtfläche auf einer ihrer beiden flächig ausgedehnten
Plattenseiten aufweist, die mit einer sich vom Grundwerkstoff farblich abhebenden
Oberflächenschicht versehen ist, und
- das Optikmodul (4) eine optische Erfassungseinheit (4.1), eine
15 Optikhalterung (4.2) und sowie eine Auflageplatte (4.3) zur Abdeckung des
Bauraums (2) der additiven Fertigungsvorrichtung umfasst, wobei die optische
Erfassungseinheit (4.1) mittels der Optikhalterung (4.2) an der Auflageplatte (4.3)
im Bereich einer Lichtdurchtrittsaussparung in der Auflageplatte (4.3) zur
optischen Bilderfassung der auf dem Bauplattformsystem (1) fixierten
20 Kalibrierplatte (5) befestigt ist, und wobei an der Auflageplatte (4.3) bauraumseitig
Leuchtmittel zur Ausleuchtung des Bauraums (2) angebracht sind.
2. Kalibriersystem nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die
Oberflächenschicht auf der Sichtseite der Kalibrierplatte (5) eine oxidische
25 Umwandlungsschicht aus dem Grundwerkstoff der Kalibrierplatte (5) ist.
3. Kalibriersystem nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die
Kalibrierplatte (5) aus einem Stahlwerkstoff besteht und wobei die
Oberflächenschicht auf der Sichtseite der Kalibrierplatte (5) eine Brünierschicht ist.
30
4. Kalibriersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet,**
dass die an der Auflageplatte (4.3) bauraumseitig angebrachten Leuchtmittel
gleichmäßig verteilte Leuchtdioden sind.

5. Kalibriersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Optikmodul (4) einen oder mehrerer Sensoren aufweist, wobei mindestens einer der Sensoren ein Entfernungssensor zur Detektion des Abstandes der auf dem Bauplattformsystem (1) fixierten Kalibrierplatte (5) zu der am Bauraum (2) angebrachten optischen Erfassungseinheit (4.1) ist.

6. Kalibriersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** dieses einen oder mehrere Referenzmarkenträger (7) mit jeweils einer Referenzmarkierung (8) umfasst, wobei die Referenzmarkenträger (7) positionsgenau am Bauplattformsystem (1) fixierbar sind, und wobei die Kalibrierplatte (5) Referenzmarken-Aussparungen (5.1) aufweist, die bei am Bauplattformsystem (1) befestigter Kalibrierplatte (5) die Sicht der optischen Erfassungseinheit (4.1) auf die Referenzmarkierungen (8) der am Bauplattformsystem (1) fixierten Referenzmarkenträger (7) freigeben.

7. Kalibriersystem nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Kalibriersystem eine Kalibrierplattform (1.3) zum Fixieren der Kalibrierplatte (5) am Bauplattformsystem (1) aufweist, wobei die Referenzmarkenträger (7) positionsgenau auf der Kalibrierplattform (1.3) fest installiert sind.

8. Kalibrierverfahren zur Kalibrierung eines in einem Bauraum (2) einer additiven Fertigungsvorrichtung angeordneten Bauplattformsystems (1), wobei die additive Fertigungsvorrichtung einen steuerbaren Laser zur Konsolidierung von Material während der additiven Fertigung auf dem Bauplattformsystem (1) aufweist und wobei

- die Lage des Bauplattformsystems (1) und darauf angebrachter Objekte im Bauraum (2) durch Bauraum-Koordinaten innerhalb eines Bauraum-Koordinatensystems definiert sind, und
- mittels einer Auswerteeinheit Korrekturwerte für die Bauraum-Koordinaten auf Basis eines Soll-Ist-Vergleichs von vorgegebenen Soll-Lageparametern und erfassten Ist-Lageparametern von zweidimensionalen Musterelementen (6.1) eines mittels des Lasers erzeugten Kalibriermusters (6) in Relation zu einem oder mehrerer am Bauplattformsystem (1) angebrachten Referenzmarkierungen (8) ermittelt werden,

dadurch gekennzeichnet, dass

das Kalibrierverfahren mittels der Auswerteeinheit sowie eines Kalibriersystems nach Anspruch 6 mit den folgenden Verfahrensschritten durchgeführt wird:

- Fixieren der Kalibrierplatte (5) und des oder der die Referenzmarkierungen (8) aufweisenden Referenzmarkenträger (7) an dem im Bauraum (2) der additiven Fertigungsvorrichtung angeordneten Bauplattformsystem (1),
 - Einbringen eines sich über die Sichtfläche der Kalibrierplatte (5) erstreckenden Kalibriermusters (6) auf die Kalibrierplatte (5) mittels des steuerbaren Lasers der additiven Fertigungsvorrichtung durch lokales Abtragen der Oberflächenschicht auf der Sichtfläche der Kalibrierplatte (5),
 - 10 - Positionieren des Bauplattformsystems (1) mit der Kalibrierplatte (5) auf einen vorgegebenen Arbeitsabstand der optischen Erfassungseinheit (4.1) im Bauraum (2),
 - Anbringen des Optikmoduls (4) am Bauraum (2) und Abdecken des Bauraums (2) durch die Auflageplatte (4.3) des Optikmoduls (4),
 - 15 - Aufnehmen eines Abbildes der Kalibrierplatte (5) mittels der optischen Erfassungseinheit (4.1), und
 - Auswerten des Abbildes der Kalibrierplatte (5) und Ermitteln der Korrekturwerte der Bauraum-Koordinaten mittels der Auswerteeinheit.
- 20 9. Kalibrierverfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das mittels des Lasers in der Oberflächenschicht auf der Sichtfläche der Kalibrierplatte (5) eingebrachte Kalibriermuster (6) eine Vielzahl der einzelnen Musterelemente (6.1) mit identischer zweidimensionaler Geometrie aufweist, wobei die Musterelemente (6.1) beabstandet zueinander in Reihen und Spalten auf der
- 25 Sichtfläche der Kalibrierplatte (5) angeordnet sind und wobei jedes einzelne der Musterelemente (6.1) jeweils
- eine vierzählige Drehsymmetrie,
 - mindestens zwei, senkrecht zueinanderstehende Geradenabschnitte und
 - ein einzelnes Kreis- oder Punktelement aufweist.
- 30 10. Kalibrierverfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** jedes der Musterelemente (6.1) zu jedem seiner innerhalb der gleichen Reihe oder Spalte benachbarten Musterelemente (6.1) einen Mindestabstand aufweist, der größer oder gleich der Erstreckung des Musterelements (6.1) ist.

11. Kalibrierverfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Laser beim Einbringen des Kalibriermusters (6) in die Kalibrierplatte (5) mit für die additive Fertigung in der additiven Fertigungsvorrichtung
- 5 prozesstypischen Parametern betrieben wird.

- Es folgen 7 Seiten Zeichnungen -