



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2021 105 918.6**

(22) Anmeldetag: **11.03.2021**

(43) Offenlegungstag: **15.09.2022**

(51) Int Cl.: **B22F 12/80** (2021.01)

**B22F 12/49** (2021.01)

**B22F 10/28** (2021.01)

**B22F 10/85** (2021.01)

**B22F 12/33** (2021.01)

**B22F 12/41** (2021.01)

**B22F 12/90** (2021.01)

**B33Y 30/00** (2015.01)

**B33Y 50/02** (2015.01)

**B33Y 10/00** (2015.01)

**B22F 10/60** (2021.01)

(71) Anmelder:  
**Lufthansa Technik Aktiengesellschaft, 22335  
Hamburg, DE**

(74) Vertreter:  
**GLAWE DELFS MOLL Partnerschaft mbB von  
Patent- und Rechtsanwälten, 20148 Hamburg, DE**

(72) Erfinder:  
**Steven, Simon, 21109 Hamburg, DE; Theiss,  
Collin, 22941 Bargteheide, DE; Berend, Olaf,  
24568 Kaltenkirchen, DE; Miaskowski, Clemens,  
20357 Hamburg, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

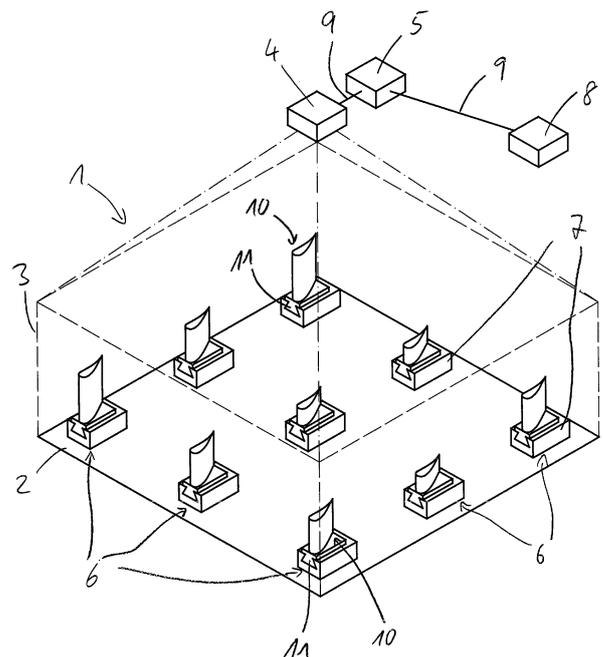
<b>DE</b>	<b>10 2017 219 333</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2019 / 0 366 491</b>	<b>A1</b>
<b>WO</b>	<b>2020/ 159 432</b>	<b>A1</b>

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Additives Reparatursystem**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein additives Reparatursystem (1), sowie ein Verfahren zur Ermittlung von Korrekturparametern eines entsprechenden Systems (1). Das additive Reparatursystem (1) umfasst eine Bauplattform (2) mit einem darüber liegenden Bauvolumen (3) und einem von einer Steuerungsvorrichtung (5) gesteuerten Laser-Scanner (4) zum selektiven Laserschmelzen von sukzessive in Schichten in das Bauvolumen (3) eingebrachten pulverförmigem Werkstoff an vorgegebenen Koordinaten. Die Bauplattform (2) weist eine Mehrzahl von Reparaturpositionen (6) mit positions- und lagegenauen Aufnahmen (7) für durch Aufbringen von Material zu reparierende Bauteile (10) auf. Weiterhin ist ein Korrekturmodul (8) zur Transformation von vorgegebenen Reparaturgeometrien (20) für an einzelnen Reparaturpositionen (6) angeordneten Bauteilen (10) anhand für die jeweilige Reparaturposition (6) ermittelte Korrekturparameter, bevor die Reparaturgeometrien (20) an die Steuerungsvorrichtung (5) zur Steuerung des Laser-Scanners (4) übermittelt werden, vorgesehen. Das erfindungsgemäße Verfahren dient der Ermittlung der Korrekturparameter, wie sie von dem erfindungsgemäßen additiven Reparatursystem (1) verwendet werden.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein additives Reparatursystem sowie ein Verfahren zur Ermittlung von Korrekturparametern eines entsprechenden Systems.

**[0002]** Im Stand der Technik sind Verfahren und Systeme für die additive Fertigung bekannt, bei denen sukzessive aufgebrauchte Metallpulverschichten durch einen gesteuerten Laserstrahl gemäß einem vorgegebenen CAD-Modell selektiv zu einem nach Erstarrung festen Material umgeschmolzen wird („Selektives Laserschmelzen“; SLM). Nach entsprechender Bearbeitung sämtlicher Schichten kann das nicht-umgeschmolzene Pulver entfernt werden und es verbleibt ein Metallbauteil, welches nach Bedarf noch nachbearbeitet werden muss oder direkt verwendet werden kann.

**[0003]** Die Technologie des additiven Fertigungsverfahrens mit selektivem Laserschmelzen wird auch für Additiv-Reparatur von Bauteilen eingesetzt. Dazu wird mithilfe des beschriebenen Verfahrens zusätzliches Material auf bereits bestehende Bauteile aufgetragen, um bspw. Fehl- oder Abnutzungsstellen an einem Bauteil auszugleichen.

**[0004]** Um entsprechende Reparaturen durchführen zu können, ist die exakte Positionierung oder zumindest exakte Bestimmung der Position des zu reparierenden Bauteils auf der Bauplattform des Fertigungssystems zwingend. Gleichzeitig ist eine exakte Kalibrierung des Lasersystems gegenüber dem Bauteil bzw. der Bauplattform erforderlich. Nur so kann sichergestellt werden, dass auch tatsächlich das direkt an das zu reparierende Bauteil anliegende Materialpulver durch einen Laserstrahl umgeschmolzen und so mit dem zu reparierenden Bauteil fest verbunden wird.

**[0005]** Die Systeme für additive Fertigung müssen insbesondere für die beschriebenen Reparaturverfahren aufwendig kalibriert werden. Dazu wird im Stand der Technik u.a. vorgeschlagen, auf einer Bauplattform des Fertigungssystems an einer vorgegebenen Position einen vorgegebenen Kalibrierungskörper in additiver Fertigung herzustellen. Nach Fertigstellung wird der so hergestellte und noch auf der Bauplattform befindliche Kalibrierungskörper unmittelbar vermessen, bspw. durch taktile Messverfahren. Aus evtl. Abweichung des Kalibrierungskörpers bzw. dessen Lage auf der Bauplattform und den Vorgaben können dann Korrekturwerte für eine evtl. Verschiebung oder Verdrehung der Koordinaten parallel zur Bauplattform ermittelt werden, die unmittelbar von der Steuerungseinheit des Lasers berücksichtigt werden können. Die Korrekturwerte können durch die wiederholte Herstellung des Kalibrierungskörpers unter Berücksichtigung der zuvor ermittelten Korrekturwerte überprüft werden.

**[0006]** Es hat sich gezeigt, dass bei diesem Verfahren evtl. Verzerrungen im Koordinatensystem des Lasersystems über die Bauplattform häufig nicht festgestellt werden können. Darüber hinaus ist das Kalibrierungsverfahren aufgrund der erforderlichen Herstellung von Kalibrierungskörpern und deren anschließender Vermessung sehr aufwendig und erfordert häufig bis zu zehn Werktagen zur Durchführung. Auch sind Ungenauigkeiten bei der Vermessung, die letztendlich zu einer ungenauen Kalibrierung führen, häufig nicht vollständig zu vermeiden.

**[0007]** Bei gemäß dem Stand der Technik kalibrierten Systemen für additive Fertigungsverfahren ist eine entsprechende additive Reparatur aufgrund der nicht vollständig zu vermeidenden Verzerrungen bei der Ansteuerung des Laserstrahls - wenn überhaupt - regelmäßig nur für ein einzelnes, zentral auf der Bauplattform angeordnetes Bauteil möglich. Eine zeitgleiche Reparatur mehrerer kleinerer Bauteile, die gemeinsam und voneinander beabstandet auf der Bauplattform angeordnet werden können, ist trotz des hohen Aufwands für die Kalibrierung regelmäßig nicht möglich.

**[0008]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es ein additives Reparatursystem sowie ein Verfahren zu dessen Kalibrierung zu schaffen, bei dem die Nachteile aus dem Stand der Technik nicht mehr oder nur noch in vermindertem Umfang auftreten.

**[0009]** Gelöst wird diese Aufgabe durch ein additives Reparatursystem gemäß dem Hauptanspruch sowie ein Verfahren zur Ermittlung von Korrekturparameter eines solchen Reparatursystems gemäß dem nebengeordneten Anspruch. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

**[0010]** Demnach betrifft die Erfindung ein additives Reparatursystem umfassend eine Bauplattform mit einem darüber liegenden Bauvolumen und einem von einer Steuerungsvorrichtung gesteuerten Laser-Scanner zum selektiven Laserschmelzen von sukzessive in Schichten in das Bauvolumen eingebrachten pulverförmigem Werkstoff an vorgegebenen Koordinaten, wobei die Bauplattform eine Mehrzahl von Reparaturpositionen mit positions- und lagegenauen Aufnahmen für durch Aufbringen von Material zu reparierende Bauteile aufweist und ein Korrekturmodul zur Transformation von vorgegebenen Reparaturgeometrien für an einzelnen Reparaturpositionen angeordneten Bauteilen anhand für die jeweilige Reparaturposition ermittelte Korrekturparameter, bevor die Reparaturgeometrien an die Steuerungsvorrichtung zur Steuerung des Laser-Scanners übermittelt werden, vorgesehen ist.

**[0011]** Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Ermittlung der Korrekturparameter eines erfin-

dungsgemäßen additiven Reparatursystems, mit den Schritten:

- a) Anordnen von einem oder mehreren Messsystemen an einer oder mehreren Reparaturpositionen des Reparatursystems zur Erfassung der an der jeweiligen Reparaturposition einfallenden Laserstrahlen;
- b) Ansteuerung des Laser-Scanners zum gleichzeitigen oder sukzessiven Anstrahlen jeweils eines oder mehrerer vorgegebenen Punkte der Reparaturposition(en), an denen ein Messsystem angeordnet ist;
- c) Ermittlung der jeweils lokalen Korrekturparameter über das oder die Messsysteme anhand der erfassten einfallenden Laserstrahlen;
- d) Wiederholung der Schritte (a) bis (c) mit veränderter Anordnung des oder der Messsysteme, bis lokale Korrekturparameter für jede Reparaturposition ermittelt sind; und
- e) Ablegen der Korrekturparameter im Korrekturmodul.

**[0012]** Für eine additive Reparatur eines Bauteils wird aus der Differenz von der tatsächlichen Geometrie des beschädigten Bauteils sowie der gewünschten Geometrie nach erfolgtem Materialauftrag eine sog. „Reparaturgeometrie“ ermittelt, welche die Geometrie des aufzutragenden Materials widerspiegelt.

**[0013]** Diese Reparaturgeometrie wird bei dem erfindungsgemäßen additiven Reparatursystem, welches grundsätzlich nach dem Prinzip der additiven Fertigungsverfahren mit selektivem Laserschmelzen beruht, und folglich einen über eine Steuerungsvorrichtung steuerbaren Laser-Scanner zum selektiven Laserschmelzen von sukzessive in Schichten in ein oberhalb einer Bauplattform befindliches Bauvolumen eingebrachten pulverförmigem Werkstoff an vorgegebenen Koordinaten umfasst, verwendet, um den pulverförmigen Werkstoff an den geeigneten Stellen umzuschmelzen, sodass sich aus dem beschädigten Bauteil und dem hinzugefügten Material nach und nach die gewünschte Geometrie ergibt und das hinzugefügte Material fest mit dem Bauteil verbunden ist. Hierfür ist zwingend erforderlich, dass der Laser-Scanner die Reparaturgeometrie in der korrekten Position und Lage gegenüber dem zu reparierenden Bauteil umsetzt.

**[0014]** Bei dem erfindungsgemäßen additiven Reparatursystem weist die Bauplattform eine Mehrzahl von Reparaturpositionen auf, an denen jeweils eine positions- und lagegenaue Aufnahme für ein zu reparierendes Bauteil vorgesehen ist. Eine Aufnahme ist „positions- und lagegenau“, wenn durch die Aufnahmen die Position und die Lage bzw. Ausrichtung des an einer Reparaturposition zu Reparaturzwecken anzuordnenden Bauteils vorgegeben ist.

Dabei kann eine Aufnahme so ausgebildet sein, dass sich die Position und Lage eines darin eingesetzten Bauteils unmittelbar und eindeutig ergibt. Handelt es sich bei einem zu reparierenden Bauteil bspw. um die Turbinenschaufel eines Flugzeugtriebwerks, kann die Aufnahme ein Profil zum passgenauen Umfassen des Schaufelfußes aufweisen, über das die Position und Ausrichtung der - in diesem Beispiel - Turbinenschaufel eindeutig und genau festgelegt ist. Alternativ ist es möglich, dass die Aufnahme eine Justierung der Position und Lage eines darin eingesetzten Bauteils zulässt, wobei die Justierung entweder zum Erreichen einer vorgegebenen Position und Lage - deren Einhaltung vorzugsweise durch geeignete Messvorrichtungen überprüft wird - oder aber die tatsächlich eingestellte Justierung dem später beschriebenen Korrekturmodul zugeführt und dort bei der Transformation der Reparaturgeometrie entsprechend berücksichtigt wird.

**[0015]** Um bei der additiven Reparatur von Bauteilen an jeder der Reparaturpositionen sicherzustellen, dass das hinzugefügte Material auch tatsächlich passgenau und fest mit dem jeweils zu reparierenden Bauteil an den gewünschten Stellen verbunden wird, sind erfindungsgemäß Korrekturparameter für jede der Reparaturpositionen bestimmt. Zu deren letztendlicher Berücksichtigung werden erfindungsgemäß die vorgegebenen Reparaturgeometrien für die einzelnen, an der verschiedenen Reparaturpositionen angeordneten Bauteile anhand der für die jeweiligen Reparaturpositionen ermittelten Korrekturparameter transformiert, bevor dann diese transformierten Reparaturgeometrien an die Steuerungsvorrichtung des Laser-Scanners zur letztendlichen Durchführung der Reparatur übermittelt werden.

**[0016]** Durch die Transformation wird letztendlich das Koordinatensystem der an dem tatsächlichen zu reparierenden Bauteil an einer Reparaturposition orientierten Reparaturgeometrie in ein Koordinatensystem überführt, welches mit dem für diese Reparaturposition lokalen Koordinatensystem des Laser-Scanners übereinstimmt. In anderen Worten wird durch die Transformation sichergestellt, dass eine einen Punkt auf der Oberfläche des realen Bauteils bezeichnende Koordinate nach erfolgter Transformation und Übermittlung an den Laser-Scanner zu einem auf eben diesen Punkt gerichteten Laserstrahl zur Folge hat.

**[0017]** Das Korrekturmodul kann dazu ausgebildet sein, zur Transformation die Reparaturgeometrien entsprechend der Korrekturparameter zu drehen, zu verschieben und/oder zu verzerren. Dabei ist es häufig ausreichend, wenn die Transformation allein in der Ebene parallel zur Bauplattform erfolgt. Da der Materialauftrag auf ein zu reparierendes Bauteil in Richtung senkrecht zur Bauplattform maßgeblich durch die Dicke der einzelnen Pulverschichten

bestimmt ist, ergibt sich in eben diese Richtung in der Regel nur äußerst geringe Korrekturmöglichkeiten. Gleichzeitig besteht in eben dieser Richtung aber praktisch nie Korrekturbedarf.

**[0018]** Auch hat sich gezeigt, dass es in der Regel ausreicht, für jede Reparaturposition einen Satz an Korrekturparameter zu ermitteln, der dann auf die gesamte Reparaturgeometrie des Bauteils an der entsprechenden Reparaturposition angewendet wird. Indem mehr als eine Reparaturposition auf der Bauplattform vorgesehen sind, ist die maximale Größe für zu reparierende Bauteile regelmäßig so begrenzt, dass ein Satz an Korrekturparameter eine ausreichende Genauigkeit für die jeweilige Reparaturposition über das gesamte dort angeordnete Bauteil aufweist. Je nach Größe und Abstand der einzelnen Reparaturpositionen kann es ausreichend sein, nur für einen Teil der Reparaturpositionen einen Satz an Korrekturparameter zu ermitteln, der dann auch für die jeweils unmittelbar umliegenden Reparaturpositionen als Korrekturparameter angewendet wird. In diesem Fall werden also weiterhin für eine Mehrzahl an Reparaturpositionen Korrekturparameter ermittelt, die dann aber auch auf weitere Reparaturpositionen angewendet werden, sodass im Ergebnis für sämtliche Reparaturpositionen Korrekturparameter ermittelt sind.

**[0019]** Es ist auch möglich, dass das Korrekturmodul zur räumlichen Interpolation der Korrekturparameter zwischen zwei oder mehr Reparaturpositionen und zur Transformation der Reparaturgeometrien unter Berücksichtigung der interpolierten Korrekturparameter ausgebildet ist. Es können dann für jeden Punkt im Bauvolumen individuelle Korrekturparameter bestimmt werden. Da weiterhin nur die Korrekturparameter an den Reparaturpositionen ermittelt werden müssen, steigt der Aufwand für die Ermittlung von Korrekturparametern nicht. Durch entsprechende Interpolation zwischen den für die Reparaturposition ermittelten Korrekturparameter ist es aber dennoch möglich, evtl. Verzerrungen im Koordinatensystem des Laser-Scanners näherungsweise und regelmäßig mit ausreichender Genauigkeit auszugleichen.

**[0020]** Zu Ermittlung der einzelnen Reparaturparameter kann ein frei an den einzelnen Reparaturpositionen anzuordnendes Messsystem vorgesehen sein, welches bei Anstrahlung eines vorgegebenen Punktes der Reparaturposition durch den Laser-Scanner Korrekturparameter für die jeweilige Reparaturposition ermittelt. Dabei ist bevorzugt, wenn sich das Messsystem positions- und lagegenaue an der Aufnahme der fraglichen Reparaturposition befestigen lässt. Ist das Messsystem an einer Reparaturposition angeordnet, kann der Laser-Scanner angesteuert werden, einen oder mehrere vorgegebene Punkte an der Reparaturposition anzustrahlen.

Durch Vermessung des tatsächlichen Auftreffpunktes und/oder des Einfallswinkels des Laserstrahls für jeden der vorgegebenen Punkte durch das Messsystem können Abweichungen zwischen vom Laser-Scanner gemäß vorgegebenen Koordinaten angestrahlt Punkt und dem tatsächlichen Punkt, dessen Koordinaten dem Laser-Scanner übermittelt wurden, ermittelt und daraus geeignete Korrekturparameter abgeleitet werden. Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis für sämtliche Reparaturpositionen Korrekturparameter vorliegen. Sämtliche Korrekturparameter werden dann im Korrekturmodul abgelegt, wie oben beschrieben, zur Transformation der Reparaturgeometrie verwendet.

**[0021]** Indem für jede Reparaturposition eigene Korrekturparameter ermittelt werden, ist eine für die additive Reparatur von Bauteilen ausreichende Genauigkeit an jeder der Reparaturpositionen sichergestellt. Da die Transformation der einzelnen Reparaturgeometrien für jede Reparaturposition individuell in einem Korrekturmodul durchgeführt wird, welche nicht in der Steuerungsvorrichtung des Laser-Scanners integriert sein muss, ist es möglich, ein bereits bestehendes Systeme für additive Fertigungsverfahren, welches lediglich eine einheitliche Kalibrierung für das gesamte Bauvolumen vorsieht, durch Hinzufügen eines Korrekturmoduls und der Definition mehrere Reparaturpositionen auf der Bauplattform zu einem erfindungsgemäßen System weiterzubilden.

**[0022]** Zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Ermittlung der Korrekturparameter wird auf die vorstehenden Ausführungen verwiesen.

**[0023]** Die Erfindung wird nun anhand einer vorteilhaften Ausführungsform unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beispielhaft beschrieben. Es zeigen:

**Fig. 1:** eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen additiven Reparatursystems;

**Fig. 2:** eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen additiven Reparatursystems mit darin eingesetzten Turbinenschaufeln;

**Fig. 3a-d:** schematische Darstellungen zur Ermittlung einer Reparaturgeometrie für eine Turbinenschaufel;

**Fig. 4:** schematische Darstellung zur Transformation der Reparaturgeometrie aus **Fig. 3** gemäß ermittelter Korrekturparameter;

**Fig. 5:** schematische Darstellung zur Ermittlung von Korrekturparametern; und

**Fig. 6** schematische Darstellung der Korrekturparameter sämtlicher Reparaturpositionen des Reparatursystems aus **Fig. 1** und **Fig. 2**.

**[0024]** In **Fig. 1** und **Fig. 2** ist ein Beispiel eines erfindungsgemäßen additiven Reparatursystems 1 schematisch dargestellt. Das Reparatursystem 1 ist in diesem Beispiel zur Reparatur von durch Fremdpartikel beschädigte und auf den unbeschädigten Grundbereich reduzierte Triebwerksschaufeln 10 (vgl. **Fig. 2**) vorgesehen.

**[0025]** Das Reparatursystem 1 umfasst eine Bauplattform 2 als untere Begrenzung eines Bauvolumens 3. Oberhalb der Bauplattform 2 und des Bauvolumens 3 ist ein Laser-Scanner 4 angeordnet, mit dem jeder Punkt im Bauvolumen 3 gezielt angestrahlt werden kann. Zur Steuerung des Laser-Scanners 4 ist eine damit über eine Datenleitung 9 verbundene Steuerungsvorrichtung 5 vorgesehen.

**[0026]** In das Bauvolumen 3 werden nacheinander Schichten von pulverförmigen Werkstoff (nicht dargestellt) eingebracht, die mithilfe des Laser-Scanners 4 selektiv an für die jeweilige Schicht vorgegebenen Koordinaten umgeschmolzen zu werden.

**[0027]** Insoweit entspricht das System 1 einem aus dem Stand der Technik bekannten System für additive Fertigung per selektivem Laserschmelzen.

**[0028]** Auf der Bauplattform 2 sind in diesem Ausführungsbeispiel insgesamt neun Reparaturpositionen 6 vorgesehen. An jeder der Reparaturposition 6 ist jeweils eine Aufnahme 7 vorgesehen, an welchen Triebwerksschaufeln 10 positions- und lagegenau befestigt werden können (vgl. **Fig. 2**). Dazu weisen die Aufnahmen 7 ein zu den Schaufelfüßen 11 der Triebwerksschaufeln 10 passgenaues Profil auf, in welches die Triebwerksschaufeln 10 eingeschoben werden können.

**[0029]** Ebenfalls vorgesehen ist ein Korrekturmodul 8, auf dessen Funktionsweise nachfolgend noch näher eingegangen wird. Das Korrekturmodul 8 ist getrennt von der Steuerungsvorrichtung 5 ausgeführt und mit dieser über eine Datenleitung 9 verbunden. Dadurch lässt sich auch ein System für additive Fertigung per selektivem Laserschmelzen gemäß dem Stand der Technik durch Vorsehen von Aufnahmen 7 auf der Bauplattform 2 sowie eines Korrekturmoduls 8 zu einem erfindungsgemäßen additiven Reparatursystem 1, wie es in **Fig. 1** und **Fig. 2** dargestellt ist, weiterbilden.

**[0030]** Die in **Fig. 2** dargestellten Triebwerksschaufeln 10 sind - wie nachfolgend erläutert - bereits auf ihren jeweiligen nicht-beschädigten Grundbereich 13 reduziert und mit ihrer Anschlussfläche 14 dem Laser-Scanner 4 zugewandt Mithilfe des erfindungsgemäßen additiven Reparatursystems 1 werden die Triebwerksschaufeln 10 aufgehend von den Anschlussflächen 14 wieder zu ihrer ursprünglichen Form aufgebaut. Je nach Ausgestaltung des Repara-

tursystems 1 ist es möglich, dass die einzelnen Triebwerksschaufeln 10 - wie dargestellt - unterschiedlich ausgestaltete Grundbereiche 13 aufweisen. Es kann aber auch vorteilhaft oder je nach Ausgestaltung des Reparatursystems 1 ggf. sogar erforderlich sein, dass die Anschlussflächen 14 sämtlicher Triebwerksschaufeln 10 in einer gemeinsamen Ebene liegen. Unabhängig davon ist für jede der Triebwerksschaufeln 10 eine Reparaturgeometrie 20 zu ermitteln.

**[0031]** Wie in **Fig. 3** skizziert, wird in einem ersten Schritt eine Triebwerksschaufel 10 mit einer Beschädigung 12 (**Fig. 3a**), die bspw. durch ein im Betrieb auf die Triebwerksschaufel 10 aufgeschlagenes Partikel entstanden sein kann, durch spanende Bearbeitung auf einen unbeschädigten Grundbereich 13 reduziert (**Fig. 3b**), womit sich auch die Anschlussfläche 14 ergibt.

**[0032]** Die so entstandene Formgebung der auf den unbeschädigten Grundbereich 13 reduzierten Schaufel 10, die bspw. durch einen 3D-Scanner erfasst wird, mit einem digitalen Modell 10' der Soll-Form der Triebwerksschaufel 10 (**Fig. 3c**) abgeglichen. Aus der Differenz der beiden Datensätze ergibt sich dann die Reparaturgeometrie 20 (**Fig. 3d**).

**[0033]** Bei dem beschriebenen Abgleich werden sowohl die durch den 3D-Scanner-Daten erfassten Daten als auch die Daten des Modells 10' auf ein gemeinsames vorgegebenes Koordinatensystem 21 bezogen, in dem dann auch die Reparaturgeometrie 20 abgebildet ist. Die Reparaturgeometrie 20 gibt zusammen mit dem Koordinatensystem 21 also nicht nur die Formgebung des hinzuzufügenden Materialteils vor, sondern auch die exakte Position und Ausrichtung, an welcher Stelle Material der Triebwerksschaufel 10 hinzuzufügen ist.

**[0034]** Die so für eine Triebwerksschaufel 10 an einer bestimmten Reparaturposition 6 ermittelte Reparaturgeometrie 20 kann anschließend dazu verwendet werden, Material auf die Triebwerksschaufel 10 aufzubringen, um die jeweilige Beschädigung 12 auszugleichen. Allerdings ist durch die einfache Anwendung der Reparaturgeometrie 20 auf eine Reparaturposition 6 durch die Steuerungsvorrichtung 5 nicht sichergestellt, dass der Materialauftrag tatsächlich passgenau für die Beschädigung 12 erfolgt.

**[0035]** Insbesondere da eine Mehrzahl von Reparaturposition 6 über die Bauplattform 2 verteilt sind, ist nicht sichergestellt, dass eine bspw. für einen zentralen Punkt der Bauplattform 2 gemäß dem Stand der Technik durchgeführte Kalibrierung des Laser-Scanners 4 eine ausreichende Genauigkeit auf für die von diesem zentralen Punkt entfernt liegenden Reparaturposition 6 bietet.

**[0036]** In **Fig. 4** ist beispielhaft schematisch dargestellt, wie die gestrichelt dargestellte Reparaturgeometrie 20 mit dem dazugehörigen Koordinatensystem 21 bei unmittelbarer Umsetzung durch die Steuerungsvorrichtung 5 selbst bei kalibriertem Laser-Scanner 6 Abweichungen unterliegen kann, die letztendlich in einer fehlerhaften Reparatur münden würden. Auch wenn die Abweichungen in **Fig. 4** aus Illustrationszwecken besonders groß sind, können auch bereits kleine Abweichungen zu einer mangelhaften Verbindung des zusätzlich aufgebracht Materials mit der Triebwerksschaufel 10 führen.

**[0037]** Erfindungsgemäß ist vorgesehen, die jeweiligen Reparaturgeometrien 20 mit Hilfe von für die jeweilige Reparaturposition 6 ermittelte Korrekturparameter so zu transformieren, dass bei Umsetzung durch die Steuerungsvorrichtung 5 das zur jeweiligen Reparaturgeometrie 20 gehörende Koordinatensystem 21 in die tatsächlich gewünschte Position und Ausrichtung, wie sie durch das Koordinatensystem 21' angedeutet und die letztendlich durch die Aufnahme 7 vorgegeben ist, transformiert wird, womit dann auch die Reparaturgeometrie 20 passgenau zur Beschädigung 12 einer in die Aufnahme 7 eingesetzten Triebwerksschaufel 10 ausgerichtet ist und der Materialauftrag passgenau an der Anschlussfläche 14 erfolgt. Die Transformation kann dabei eine Verschiebung, Drehung und/oder Verzerrung des Koordinatensystems 21 umfassen.

**[0038]** Zur Ermittlung, welche Transformation an einer Reparaturposition 6 erforderlich sind - also zur Ermittlung der Korrekturparameter für die entsprechende Reparaturposition 6 - kann ein Messsystem 30, wie es beispielhaft in **Fig. 5** dargestellt ist. Das Messsystem 30 umfasst einen Fuß 31, mit dem es positions- und lagegenau in die Aufnahme 7 der jeweiligen Reparaturposition 6 eingesetzt werden kann, für welche die Korrekturparameter zu ermitteln sind. Das Messsystem 30 umfasst im in eine Aufnahme 7 eingesetzten Zustand dem Laser-Scanner 4 zugewandte Licht-Einfallflächen 32, an denen die Position des Auftreffens einzelner Laserstrahlen ermittelt werden kann. Die Licht-Einfallflächen 32 können bspw. eine Vielzahl an Lichtdetektoren in Matrixanordnung oder aber aus einem Bilderfassungschip (CCD oder CMOS), ggf. mit davor angeordneter Optik, umfassen, um die Position einfallender Laser-Strahlen auf der Licht-Einfallfläche 32 zu bestimmen.

**[0039]** Für das Messsystem 30 ist ein Muster an Lichtpunkten 33 in demjenigen Koordinatensystem 21 vorgegeben, welches auch den Reparaturgeometrien 20 zugrunde liegt (vgl. **Fig. 3** und **Fig. 4**). Zur Ermittlung der Korrekturparameter wird über die Steuerungsvorrichtung 5 der Laser-Scanner angewiesen, eben dieses Muster an Lichtpunkten 33 an der Reparaturposition 6, an der das Messsystem 30

angeordnet ist, abzubilden. Die dabei tatsächlich auf der Lichteintrittsfläche 32 erzeugten Lichtpunkte 33" weichen in ihrer Position von den vorgegebenen Positionen der Lichtpunkte 33, erlauben aber die Ermittlung eines zu den tatsächlich erfassten Lichtpunkten 33" zugehöriges Koordinatensystem 21". Aus einem Vergleich der Koordinatensysteme 21' und 21" gemäß **Fig. 5** lassen sich dann Korrekturparameter ableiten, die letztendlich eine Transformation des Koordinatensystems 21 aus **Fig. 4** in das durch die Aufnahme 7 vorgegebene Koordinatensystem 21' gestatten.

**[0040]** Die Ermittlung der Korrekturparameter kann unmittelbar durch das Messsystem 30 durchgeführt werden. Es ist aber auch möglich, dass die Ermittlung auf Basis der von dem Messsystem 30 zu Verfügung gestellten Information zu den Positionsabweichungen der tatsächlich erfassten Lichtpunkte 33" von den entsprechenden Vorgaben 33 durch eine beliebige anderen Einheit, bspw. auch das Korrekturmodul 8 durchgeführt werden. Wesentlich ist lediglich, dass die ermittelten Korrekturparameter dem Korrekturmodul 8 für Transformationen, wie sie in Zusammenhang mit **Fig. 4** erläutert wurden, zur Verfügung stehen.

**[0041]** Die in Zusammenhang mit **Fig. 5** beschriebene Ermittlung von Korrekturparametern kann nacheinander für jede Reparaturposition 6 - oder bei ausreichend vorhandenen Messsystemen 30 auch gleichzeitig für alle - Reparaturpositionen 6 durchgeführt werden, wobei sich regelmäßig für jede Reparaturposition 6 andere Korrekturparameter ergeben, wie dies in **Fig. 6** angedeutet ist, wo die über ein oder mehrere Messsysteme 30 ermittelten Koordinatensysteme 21" (gestrichelt) sowie die durch die Aufnahmen 7 an den jeweiligen Reparaturpositionen vorgegebenen Koordinatensysteme 21' schematisch in Draufsicht auf die Bauplattform 2 dargestellt sind. Die gestrichelt dargestellten Koordinatensysteme 21" entsprechen gleichzeitig den Koordinatensystemen 21 der Reparaturgeometrien 20, wenn diese ohne vorherige Transformation durch den Laser-Scanner 4 umgesetzt würden.

**[0042]** Die Transformation der Reparaturgeometrien 20 wird für jede Reparaturposition 6 einzeln von dem Korrekturmodul 5 anhand der für die jeweilige Reparaturposition ermittelten Korrekturparameter durchgeführt. Indem diese Transformation getrennt von der eigentlichen Steuerungsvorrichtung 5 des Laser-Scanners 4 durchgeführt wird, lassen sich bereits vorhandene Maschinen für die additive Fertigung oder Reparatur mithilfe von selektiven Laserschmelzen problemlos zu einem erfindungsgemäßen System weiterbilden. Es ist aber selbstverständlich auch möglich, dass das Korrekturmodul 5 in die Steuerungsvorrichtung integriert ist.

### Patentansprüche

1. Additives Reparatursystem (1) umfassend eine Bauplattform (2) mit einem darüber liegenden Bauvolumen (3) und einem von einer Steuerungsvorrichtung (5) gesteuerten Laser-Scanner (4) zum selektiven Laserschmelzen von sukzessive in Schichten in das Bauvolumen (3) eingebrachten pulverförmigem Werkstoff an vorgegebenen Koordinaten, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bauplattform (2) eine Mehrzahl von Reparaturpositionen (6) mit positions- und lagegenauen Aufnahmen (7) für durch Aufbringen von Material zu reparierende Bauteile (10) aufweist und ein Korrekturmodul (8) zur Transformation von vorgegebenen Reparaturgeometrien (20) für an einzelnen Reparaturpositionen (6) angeordneten Bauteilen (10) anhand für die jeweilige Reparaturposition (6) ermittelte Korrekturparameter, bevor die Reparaturgeometrien (20) an die Steuerungsvorrichtung (5) zur Steuerung des Laser-Scanners (4) übermittelt werden, vorgesehen ist.

2. Reparatursystem nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Korrekturmodul (8) dazu ausgebildet ist, zur Transformation die Reparaturgeometrien (20) entsprechend der Korrekturparameter zu drehen, zu verschieben und/oder zu verzerren.

3. Reparatursystem nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Transformation auf die Ebene parallel zur Bauplattform (2) beschränkt ist.

4. Reparatursystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Korrekturmodul (8) zur räumlichen Interpolation der Korrekturparameter zwischen zwei oder mehr Reparaturpositionen (6) und zur Transformation der Reparaturgeometrien (20) unter Berücksichtigung der interpolierten Korrekturparameter ausgebildet ist.

5. Reparatursystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens eine Aufnahme (7) derart ausgebildet ist, dass sich die Position und Lage eines darin eingesetzten Bauteils (10) unmittelbar und eindeutig ergibt.

6. Reparatursystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens eine Aufnahme (7) derart ausgebildet ist, die Aufnahme eine Justierung der Position und Lage eines darin eingesetzten Bauteils (10) zulässt.

7. Reparatursystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens ein frei an den einzelnen Reparaturpositionen anzuordnendes Messsystem (30) vorgesehen ist, welches bei Anstrahlung eines vorgegebenen

Punktes der Reparaturposition (6) durch den Laser-Scanner (4) Korrekturparameter für die jeweilige Reparaturposition (6) ermittelt.

8. Reparatursystem nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens ein Messsystem (30) positions- und lagegenau mit der Aufnahme (7) an einer Reparaturposition (6) verbindbar ist.

9. Verfahren zur Ermittlung der Korrekturparameter eines additiven Reparatursystems (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, mit den Schritten:

a) Anordnen von einem oder mehreren Messsystemen (30) an einer oder mehreren Reparaturpositionen (6) des Reparatursystems (1);

b) Ansteuerung des Laser-Scanners (4) zum gleichzeitigen oder sukzessiven Anstrahlen jeweils eines oder mehrerer vorgegebenen Punkte (33) an den Reparaturposition(en) (6), an denen ein Messsystem (30) angeordnet ist;

c) Ermittlung der jeweils lokalen Korrekturparameter über das oder die Messsysteme (30) anhand der erfassten einfallenden Laserstrahlen (33');

d) Wiederholung der Schritte (a) bis (c) mit veränderter Anordnung des oder der Messsysteme (30), bis lokale Korrekturparameter für jede Reparaturposition (6) ermittelt sind; und

e) Ablegen der Korrekturparameter im Korrekturmodul (8).

10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Anordnen eines Messsystems (30) an einer Reparaturposition (6) die positions- und lagegenaue Anbringung an der Aufnahme (7) der Reparaturposition (6) umfasst.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

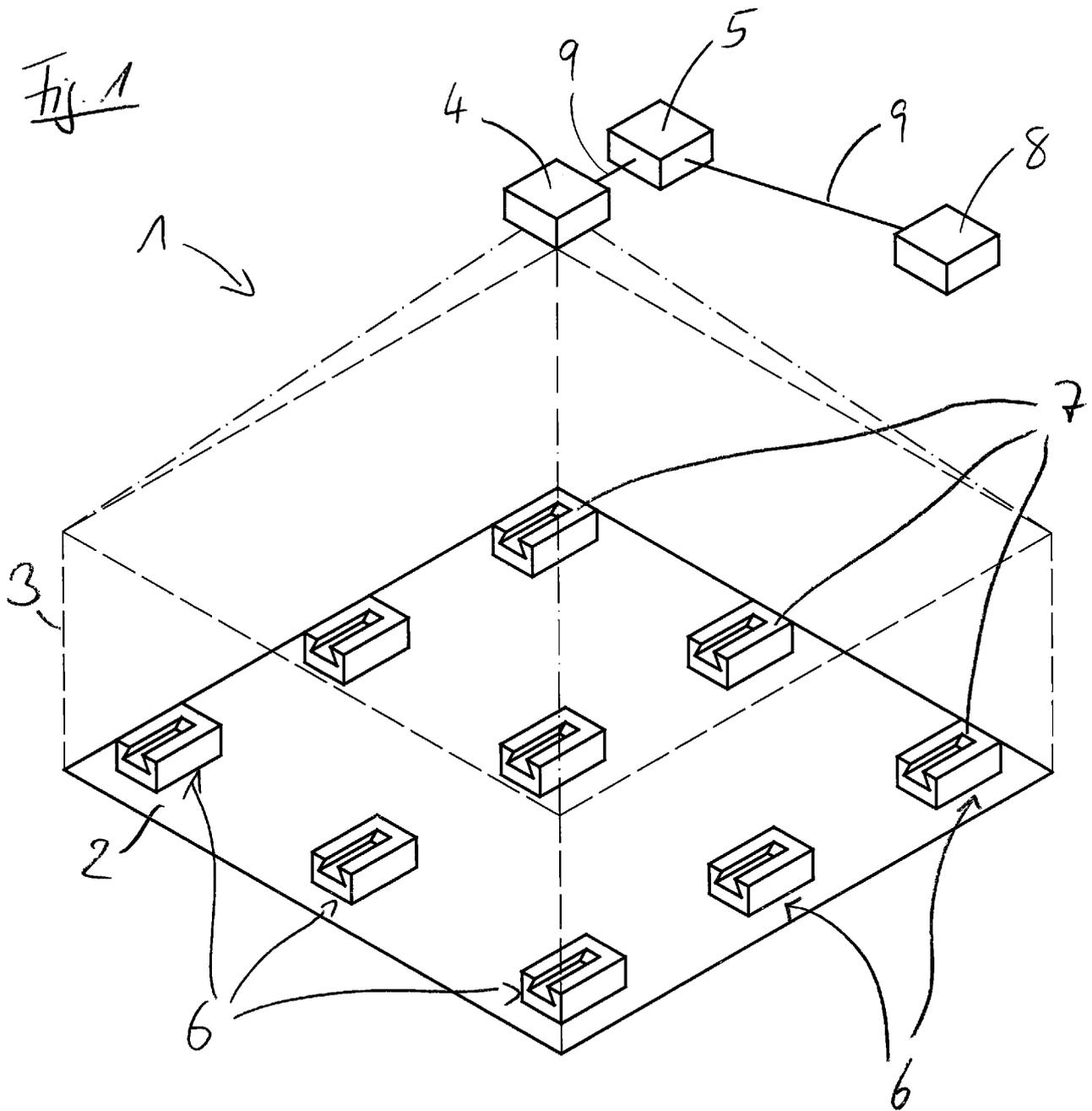


Fig. 2

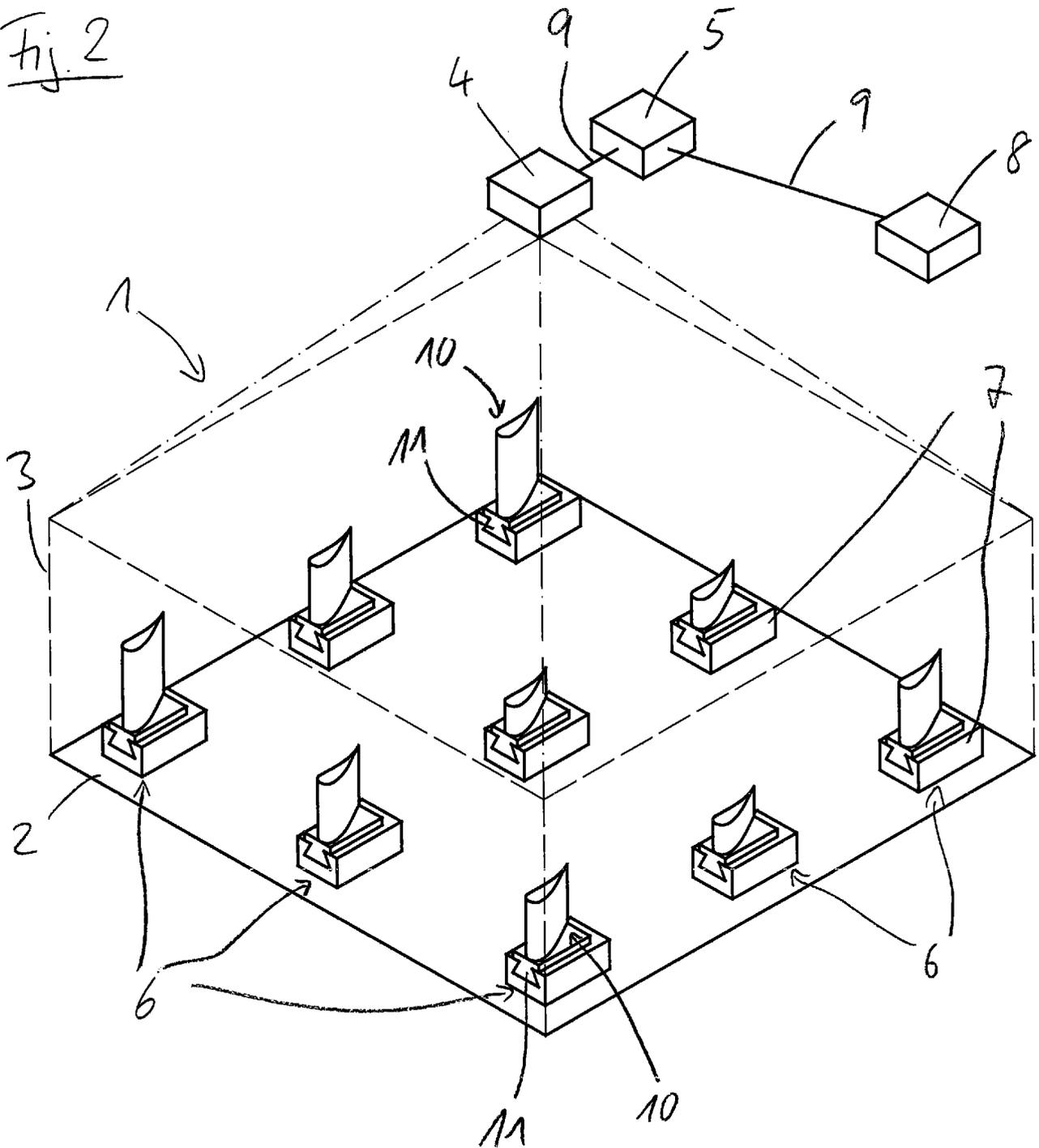
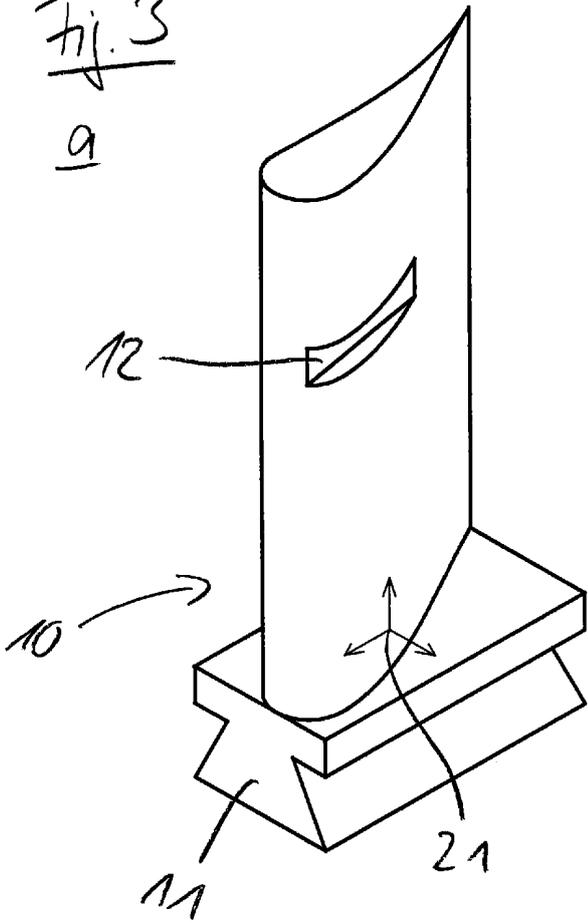
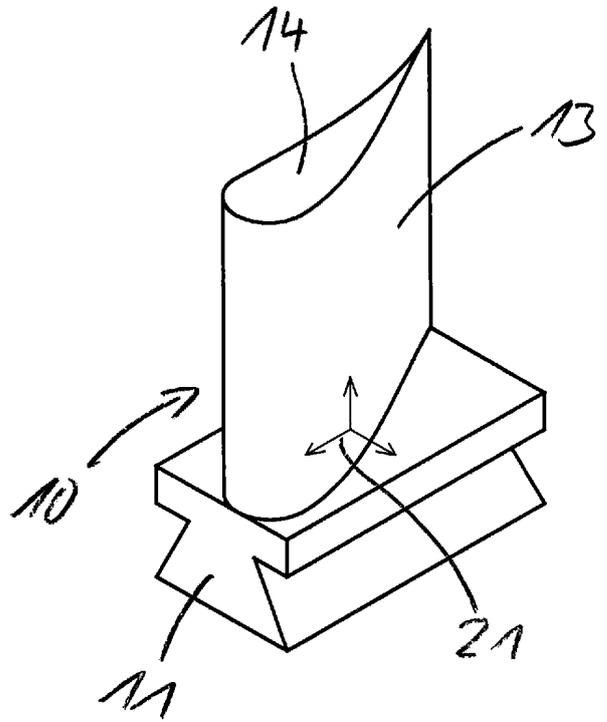


Fig. 3

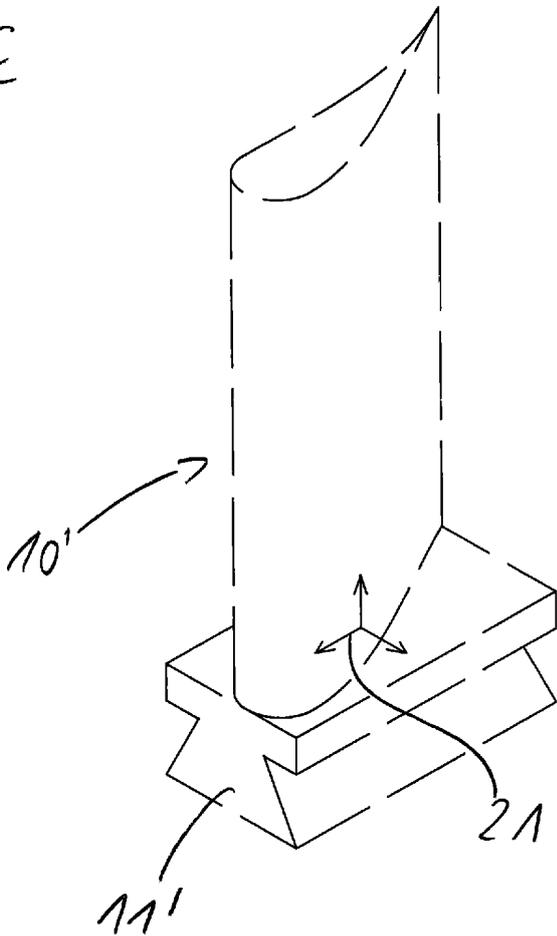
a



b



c



d

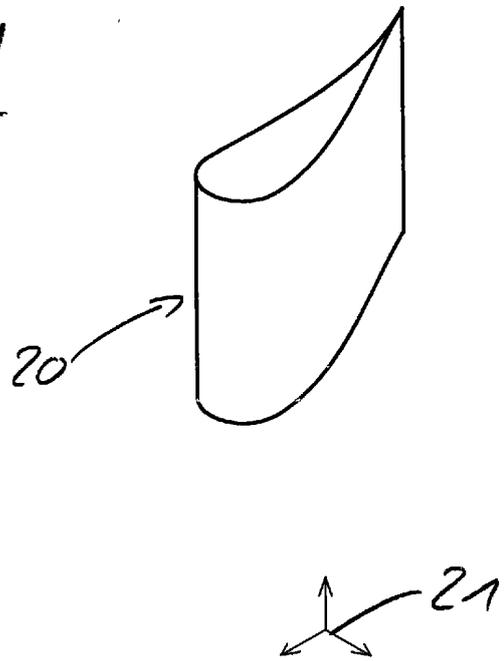


Fig 4

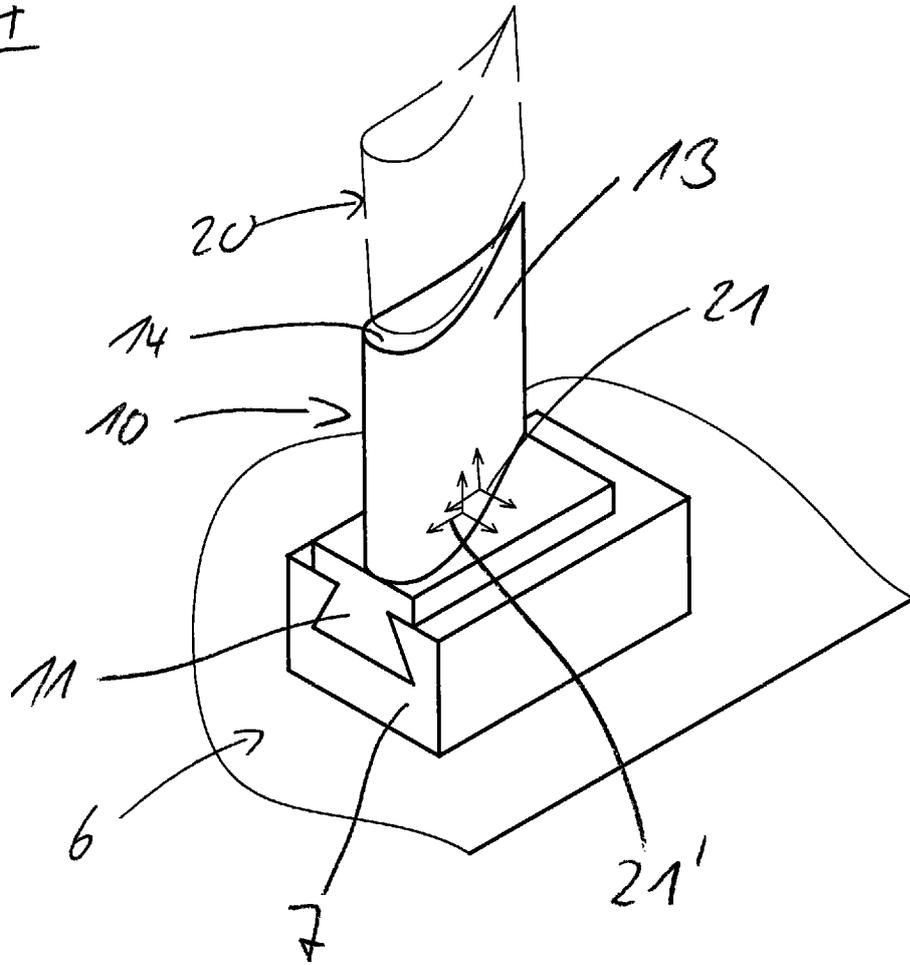


Fig. 5

