

(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
08. Februar 2018 (08.02.2018)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2018/024667 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
B29C 64/106 (2017.01) *B33Y 10/00* (2015.01)
B29C 64/336 (2017.01) *B33Y 70/00* (2015.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/069298
- (22) Internationales Anmeldedatum:
31. Juli 2017 (31.07.2017)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2016 214 187.2
01. August 2016 (01.08.2016) DE
- (71) Anmelder: FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Hansastraße 27c, 80686 München (DE).
- (72) Erfinder: DÖRSCH, Christian; Am Knie 2, 27570 Bremerhaven (DE). ROSEMANN, Heiko; Rheinstr. 18, 27570 Bremerhaven (DE).
- (74) Anwalt: PFENNING, MEINIG & PARTNER MBB; Joachimsthaler Str. 10-12, 10719 Berlin (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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING A THREE-DIMENSIONAL, MULTI-LAYER FIBRE COMPOSITE PART

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM HERSTELLEN EINES DREIDIMENSIONALEN, VIELSCHICHTIGEN FASERVERBUNDETEILS

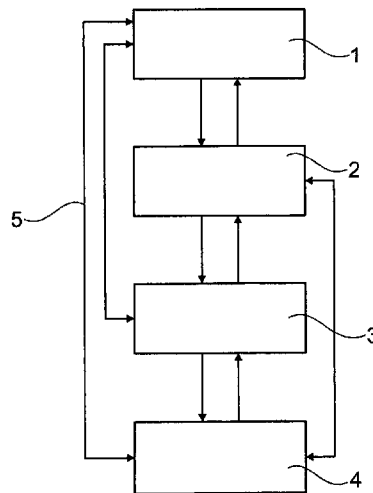


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method for producing a three-dimensional, multi-layer fibre composite component. In the method, a curable matrix material is applied to an object carrier in layers, in matrix layers arranged on top of one another. The object carrier can be a plate, for example, which is not part of the component and on which a fibre composite component is constructed layer by layer. In a further embodiment, the object carrier can be a component core, which is part of the fibre composite component and on which the matrix layers can be applied.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Anmeldung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines drei-dimensionalen, vielschichtigen Faserverbundbauteils. Bei dem Verfahren wird ein aushärtbarer Matrixwerkstoff auf einen Objektträger in übereinander angeordneten



WO 2018/024667 A1

NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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)

Matrixschichten schichtweise aufgetragen. Der Objektträger kann beispielsweise eine Platte sein, die nicht Teil des Bauteils ist und auf der Schicht für Schicht ein Faserverbundbauteil aufgebaut wird. In einer weiteren Ausführung kann der Objektträger ein Bauteilkern sein, der Teil des Faserverbundbauteils ist und auf den die Matrixschichten aufgetragen werden kann.

Verfahren zum Herstellen eines dreidimensionalen, vielschichtigen Faserverbundbauteils

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines dreidimensionalen, vielschichtigen Faserverbundbauteils gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

10 Nach dem Stand der Technik ist es bekannt, Produkte mittels additiver Fertigung herzustellen. Besonders im Prototypenbau werden Kunststoffteile mit kleinen Stückzahlen benötigt, die durch Fertigungsverfahren wie „Rapid Prototyping“ hergestellt werden.

15 Aus der dem Oberbegriff des Anspruchs 1 zugrunde liegenden EP 2 739 460 B1 ist ein Verfahren bekannt, das mit dem generativen Auftragen eines thermoplastischen Werkstoffs gleichzeitig eine Endlosfaser zuführt und in dem Thermoplasten einbettet.

Die WO 2014/193505 A1 zeigt eine Maschine zum Herstellen eines faserverstärkten Bauteils durch Additive Fertigung. Die Maschine kann eine Arbeitsfläche aufweisen, eine Matrixzuführung zum Aufbringen von Matrixschichten auf die Arbeitsfläche und eine Faserzuführung, eingerichtet zum Aufbringen einer Faserschicht auf mindestens eine der Matrixschichten. Das Aufbringen der Matrix- und der Faserschichten kann durch einen Computer gesteuert werden.

Beim additiven Fertigen werden einzelne Schichten Matrixwerkstoff auf einen Objektträger aufgetragen und oftmals findet nach jedem Schichtauftrag ein Aushärteprozess durch beispielsweise Erwärmen statt, um die Schicht zu verfestigen. Auf diese Schicht kann nun eine weitere Schicht aufgetragen werden, die wiederum ausgehärtet wird, sodass bei Wiederholung dieser Schritte ein Bauteil Schicht für Schicht aufgebaut wird.

Die Herstellung von Faserbundbauteilen wird entweder mit mindestens einer einseitigen Formhälfte oder mit einem Kern durchgeführt, auf die/den das Material schichtweise manuell oder maschinell abgelegt wird. Eine Herstellung von faserverstärkten Faserverbundbauteilen mit annähernd signifikanten, mechanischen Eigenschaften wie beispielsweise statische und/oder dynamische Festigkeiten oder Elastizitäten gibt es daher nicht. Aus diesen Gründen wird die additive Fertigung derzeit für die Herstellung von industriellen Anwendungsgütern lediglich für metallische Produkte oder in Bereichen, in denen keine hohen Anforderungen an die Materialeigenschaften in Bezug auf Festigkeit und Stabilität gestellt werden, genutzt.

Aufgabe der Erfindung ist ein Verfahren zum Herstellen eines festen und elastischen und damit mechanisch belastbaren Faserverbundbauteils, das die industriellen Anforderung an die Materialeigenschaften in Bezug auf Festigkeit, Stabilität und Komplexität erfüllt, sowie industrielle Ansprüche an die Wirtschaftlichkeit und eine geringe Fertigungsdauer berücksichtigt.

Gelöst wird die Aufgabe durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich mit den Merkmalen der abhängigen Ansprüche und der Ausführungsbeispiele.

Das vorgeschlagene Verfahren eignet sich zum Herstellen eines dreidimensio-

5 nalen vielschichtigen Faserverbundbauteils. Bei dem Verfahren wird ein aushärtbarer Matrixwerkstoff auf einen Objektträger in übereinander angeordneten Matrixschichten schichtweise aufgetragen. Der Objektträger kann beispielsweise eine Platte sein, die nicht Teil des Bauteils ist und auf der Schicht für Schicht ein Faserverbundbauteil aufgebaut wird. In einer weiteren Ausführung kann der Objektträger ein Bauteilkern sein, der Teil des Faserverbundbauteils ist und auf den die Matrixschichten aufgetragen werden kann. Eine Matrixschicht zeichnet sich somit dadurch aus, dass diese einer Kontur des Objektträgers folgend schichtweise aufgetragen wird. Nach jedem Schichtauftrag kann ein Aushärtevorgang, beispielsweise durch Erwärmung, durchgeführt werden, der die Matrixschicht aushärtet, sodass der Matrixwerkstoff in ihrer aufgetragenen Schichtform verbleibt. So kann auf die ausgehärtete Schicht eine weitere Schicht aufgetragen werden. Vorzugsweise wird zunächst eine Schicht vollständig aufgetragen und ausgehärtet bevor mit einer neuen Schicht begonnen wird. Der Matrixwerkstoff wird durch mindestens eine relativ zum Objektträger bewegbare Auftragseinheit aufgetragen. Die Auftragseinheit kann dabei eine Mehrachsgeometrie mit mindestens 3, vorzugsweise 6 Achsen umfassen.

10
15
20
25
30 In einem weiteren Schritt wird zumindest bereichsweise mindestens ein Faserelement auf mindestens eine der Matrixschichten durch mindestens einen relativ zum Objektträger bewegbaren Legekopf strangweise aufgetragen. Ein Faserelement kann beispielsweise eine sogenannte Endlosfaser sein, d.h. ein Faserstrang, der beispielsweise auf einer Spule aufgewickelt ist und eine Länge von mehreren Metern aufweist. Diese „Endlosfaser“ kann vom Legekopf in wählbarer Länge auf eine Matrixschicht aufgebracht werden und wird in gewählter Länge durchtrennt. Ist die Endlosfaser verbraucht, kann weitere Endlosfaser auf die Spule aufgewickelt werden, sodass die Länge des aufgewickelten Faserelementes „endlos“ scheint. Der Legekopf kann eine Mehrachsgeometrie umfassen, die mindestens 3, vorzugsweise 6 Achsen umfasst. Die Mehrachsgeometrie kann vorzugsweise dieselbe Mehrachsgeometrie sein, auf der ebenfalls die Auftragseinheit angeordnet ist.

35 Der Matrixwerkstoff ist ein Duroplast. Duroplasten sind harte und spröde Werkstoffe, die eine hohe Festigkeit und Temperaturbeständigkeit aufweisen. Zusätzlich werden in den duroplastischen Matrixwerkstoff Kurzfasern eingebettet, um die Elastizität und die Festigkeit des Faserverbundteils zu erhöhen.

Die Kurzfasern können vorzugsweise Glas- oder Kohlefasern mit höheren Elastizitätsmodulen sein, als der Elastizitätsmodul des Matrixwerkstoffes. Die Einbettung von Kurzfasern in den duroplastischen Matrixwerkstoff hat zum Ziel die jeweiligen positiven mechanischen Eigenschaften des Matrixwerkstoffes und der Kurzfasern zu nutzen, sodass der Verbund von Matrixwerkstoff und Kurzfasern eine höhere Elastizität und Festigkeit als die des Matrixwerkstoffes und eine höhere Festigkeit als die der Kurzfasern aufweist. Die Kurzfasern weisen vorzugsweise eine geringere Länge als das aufgetragene Faserelement auf. Hierdurch kann eine verbesserte Vermengung der Kurzfasern mit dem Matrixwerkstoff erreicht werden. Der Elastizitätsmodul des Matrixwerkstoffes mit eingebetteter Kurzfaser ist abhängig vom Matrix- und Kurzfaserwerkstoff sowie vom Anteil der Kurzfasern und liegt typischerweise zwischen 2 und 14 GPa. Hochbelastete Bauteile können bereichsweise jedoch höheren Belastungen ausgesetzt sein. Um diese Problematik zu lösen, wird zusätzlich bereichsweise das Faserelement aufgebracht. Das Faserelement kann vorzugsweise so auf das Bauteil aufgebracht werden, dass es entlang seiner Längsachse auf Zug belastet wird. Der Zug-Elastizitätsmodul des Faserelementes entlang seiner Längsachse beträgt vorzugsweise mindestens 70 GPa. Dies ist im Vergleich zum Zug-E-Modul von typischen Thermoplasten (1 bis 3 GPa) und Duroplasten (ca. 1 GPa) deutlich höher und kann somit die Elastizität des Faserverbundbauteils begünstigen.

Die Kombination von duroplastischem Matrixwerkstoff mit eingebetteten Kurzfasern und zusätzlich zumindest einem bereichsweise aufgetragenen Faserelement kann die Verwendung von Faserverbundbauteilen als mittel- bis hochfeste Funktionsbauteile aufgrund verbesserter Struktureigenschaften des Gesamtaufbaus ermöglichen.

Somit löst die gewählte Materialkombination das Problem, dass mechanisch mittel- bis hochbelastete Faserverbundbauteile, die eine Festigkeit von mindestens 10 GPa und Elastizitätsmodule zwischen 12 und 15 GPa aufweisen, nach dem heutigen Stand der Technik schwer oder gar nicht über additive Fertigungsverfahren hergestellt werden können. Dies liegt darin begründet, dass gängigerweise verwendete Kunststoffe entweder eine hohe Festigkeit und eine geringe Elastizität oder eine hohe Elastizität und eine geringe Festigkeit aufweisen. Dies hat zur Folge, dass additive Fertigungsverfahren nach dem derzeitigen Stand der Technik thermoplastische Matrixwerkstoffe verwenden, die eine hohe Elastizität bei geringer Festigkeit aufweisen, im Gegen-

satz zu spröden Kunststoffen jedoch einfacher zu verarbeiten sind und es einfacher scheint, die Festigkeit durch zusätzlichen Auftrag von Faserelementen zu erhöhen, als eine erhöhte Elastizität bei spröden Bauteilen zu erreichen. Im Gegensatz zu Duroplasten, welche einmal über der Vernetzungstemperatur (aber unter der Zersetzungstemperatur) erhitzt wurden, ändern Thermoplasten unter Erwärmung genau wie spröde Kunststoffe ihre Form und verflüssigen sich. Bei Thermoplasten ist dieser Vorgang im Wesentlichen reversibel. Dies gilt sowohl für eine längere Einwirkung einer niederen Temperatur als auch für eine kurzzeitige, starke Erwärmung.

Komplexe Bauteilformen, insbesondere hohle Bauteile, können ohne Bauteilkerne, die in konventionellen Verfahren kostenintensiv mit Formen hergestellt werden, mittels additiver Verfahren Schicht für Schicht aufgebaut werden. Auch im Vergleich zur Verwendung von Gelegen entsteht mit dem erfindungsgemäßen Verfahren weniger Verschnitt, sodass Material eingespart wird. Die gezielte, materialsparende Bauteilverstärkung wirkt sich zudem vorteilhaft auf eine Gewichtsreduktion des Faserverbundbauteils aus.

In einer möglichen Ausführung kann der Matrixwerkstoff thixotrop sein. Hierbei kann bei dem Verfahren ein zusätzlicher Schritt durchgeführt werden. Beispielsweise durch Rühren, kann die Viskosität des Matrixwerkstoffs vor dem Auftragen verringert werden, d.h. der Matrixwerkstoff wird dünnflüssiger. So kann das Auftragen erleichtert werden. Wird der Matrixwerkstoff nach dem Auftragen nicht weiter scherend beansprucht, verfestigt er sich wieder bis hin zu seiner Ausgangsviskosität, also dem Zustand, den er vor dem Einwirken von Scherkräften, bspw. Rühren, hatte. Bereits vor dem Verfahrensschritt des Aushärtens kann der Matrixwerkstoff so zusätzlich oder alternativ zum späteren Aushärten zur Formgebung des Faserverbundbauteils beitragen. Die Differenz zwischen Ausgangsviskosität und Minimalviskosität liegt typischerweise in einem Bereich zwischen 50 mPA s und 10 000 mPA s.

In manchen möglichen Ausführungsformen kann der Matrixwerkstoff ein duromerer Schaum sein. In einer weiteren Ausführung kann, je nach Aufbau der angestrebten Struktur des Faserverbundteils, der Matrixwerkstoff abwechselnd schichtweise eine faserhaltige Matrix oder ein duromerer Schaum sein. Vorteilhaft bei dieser Ausprägung ist, dass Bauteile und/oder Bauteilker-

ne gefertigt werden können, die eine geringe Dichte und hohe Festigkeit aufweisen. Besonders vorzugsweise können Polyurethan-Schäume als Matrixwerkstoff dienen. Es können aber auch andere schaumfähige Duroplasten wie beispielsweise Epoxy als Matrixwerkstoff verwendet werden. Die Dichte kann

5 beispielsweise mindestens 50 kg/m^3 , vorzugsweise mindestens 75 kg/m^3 , insbesondere vorzugsweise 80 kg/m^3 betragen. Ferner kann die Dichte beispielsweise maximal 800 kg/m^3 , vorzugsweise maximal 700 kg/m^3 , besonders bevorzugt maximal 600 kg/m^3 , betragen. Eine Druck-Festigkeit kann beispielsweise minimal 50 N/mm^2 , vorzugsweise minimal 70 N/mm^2 , besonders

10 vorzugsweise minimal 80 N/mm^2 , betragen. Die Druck-Festigkeit kann beispielsweise maximal 600 N/mm^2 , vorzugsweise maximal 700 N/mm^2 oder besonders bevorzugt maximal 800 N/mm^2 , betragen. Die Druckfestigkeit kann beispielsweise durch mindestens eine in einer der folgenden Normen beschriebene Prüfung ermittelt werden: ISO 844, DIN EN ISO 3386, DIN EN ISO

15 604, DIN EN 2850, DIN V 65380, DIN 65375 oder vergleichbare Norm. In einer weiteren bevorzugten Ausführung können die Matrixschichten eine Dicke von mindestens $0,05 \text{ mm}$, vorzugsweise mindestens 1 mm und/oder maximal 300 mm , vorzugsweise maximal 100 mm , besonders vorzugsweise maximal 40 mm , aufweisen.

20 In einer weiteren möglichen Ausführung kann der Objektträger Teil des Faserverbundbauteils sein. In dieser Ausführung können beispielsweise vorgefertigte Bauteile und/oder Bauteilkerns als Objektträger dienen. Durch das Auftragen von Matrixwerkstoff auf das vorgefertigte Bauteil kann eine direkte Verbindung des Matrixwerkstoffs mit dem vorgefertigten Bauteil erreicht werden, so dass Verbindungselemente, wie beispielsweise Schweißnähte, entfallen.

25

Die Auftragseinheit kann in einer weiteren Ausführungsform einen Extrudierkopf aufweisen, so dass der Matrixwerkstoff mittels Extrusion aufgetragen werden kann. Beim Extrudieren können komplexe Formen strangweise aufgetragen werden. Vorteilhaft ist weiterhin, dass auch spröde Matrixwerkstoffe, die fest oder dickflüssig sind, extrudiert werden können, da diese unter Druck durch eine Düse oder ein sogenanntes Mundstück gepresst werden.

30 Alternativ kann der Matrixwerkstoff auch tröpfchenweise aufgebracht werden. Vorteilhaft ist, dass beim tröpfchenweise Aufbringen keine hohen Drücke nötig sind, jedoch können feste und sehr dickflüssige Matrixwerkstoffe nur

35

schwer tröpfchenweise aufgebracht werden.

In einer weiteren möglichen Ausführungsform können die Auftragseinheit und/oder der Legekopf unabhängig voneinander bewegbar sein. Dies hat den Vorteil, dass das Faserelement unabhängig von einem Verfahrensweg der Auftragseinheit auf das herzustellende Faserverbundbauteil aufgebracht werden kann. Vorzugsweise sind die Auftragseinheit und/oder der Legekopf auf einer Mehrachsgeometrie angebracht, wobei die Mehrachsgeometrie vorzugsweise 3, besonders vorzugsweise 6 Achsen aufweist.

In einer weiteren Ausführungsform kann das Faserelement vor dem Auftragen auf den Matrixwerkstoff mit einer Flüssigkeit, beispielsweise einem Epoxidharz-Klebstoff, vorimprägniert werden. Bevorzugt kann die Flüssigkeit ein Klebstoff sein, so dass das Faserelement auf den Matrixwerkstoff geklebt werden kann. Zusätzlich oder alternativ kann das Faserelement in den Matrixwerkstoff eingebettet werden, bevor dieser vollständig ausgehärtet ist, sodass das Faserelement teilweise oder vollständig von Matrixwerkstoff umschlossen ist. So kann das Bauteil auch in Bereichen, in denen Bauteilbelastungen im Inneren des Bauteils auftreten, verstärkt werden. Bevorzugt kann das aufgetragene Faserelement eine Länge von mindestens 0,5 mm, vorzugsweise mindestens 1 mm, insbesondere vorzugsweise mindestens 10 mm, besitzen und zumindest eine Glas- und oder Kohlefaser enthalten. Glas- und Kohlefasern besitzen typischerweise hohe Zug-Elastizitätsmodule größer als 70 GPa, sodass sie hohen Zugbelastungen standhalten können.

In einer besonders bevorzugten Form können die Kurzfasern, die in den Matrixwerkstoff eingebettet werden, eine Länge von maximal 100 mm aufweisen. Die Länge der eingebetteten Kurzfasern kann während des Auftragens variiert werden.

In einer weiteren Ausführung können die Kurzfasern dem Matrixwerkstoff in der Auftragseinheit beigemischt werden. Besonders vorteilhaft ist beispielsweise ein Extrudiermischkopf, in dem die Verfahrensschritte Kurzfasern einbetten und Matrixwerkstoff auftragen gleichzeitig durchgeführt werden können. Somit kann beispielsweise eine im Wesentlichen homogene Faservertei-

lung erreicht werden. Eine homogene Faserverteilung ist vorteilhaft, um eine im Wesentlichen homogene Stabilität und Bauteilqualität zu erreichen.

5 Kurzfasern können in einer oder mehreren Schichten Matrixwerkstoff eingebettet sein. In Bereichen, in denen Kurzfasern in den Matrixwerkstoff eingebettet werden, wird die Bauteilelastizität sowie die Zugfestigkeit wie oben erläutern erhöht. Vorteilhaft bei dieser Ausführungsform ist, dass Kurzfasern in Bereichen eingebettet werden können, in denen Bauteilbelastungen auftreten. So kann das herzustellende Bauteil hinsichtlich Gewicht und Materialverbrauch genau auf spätere Belastungen angepasst werden. Somit müssen keine Kurzfasern in Schichten eingebettet werden, in denen keine Verstärkung notwendig ist.

15 Für den gezielten Einsatz von Kurzfasern im Bauteil können Kurzfasern zwischen zwei Schichten Matrixwerkstoff aufgetragen werden. Die Kurzfasern können auch zwischen Faserelement und Matrixwerkstoff aufgetragen werden. In einer weiteren Ausführungsform können die Kurzfasern mit einer Flüssigkeit vorimprägniert werden, beispielsweise mit einem Klebstoff.

20 In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform können die Kurzfasern gerichtet in den Matrixwerkstoff eingebettet werden, d.h. eine Längsachse der Kurzfasern weist eine vor dem Auftrag festgelegte Richtung auf, vorzugsweise entspricht diese Richtung der Richtung der Zugbelastungen des Faserverbundbauteils. Mittels eines Kurzfaserverlegekopfes oder einer anderen Auftrags-
25 einheit können die Kurzfasern mit ihrer Längsachse entlang dem Verfahrensweg der Auftragseinheit des Matrixwerkstoffes in den Matrixwerkstoff eingebettet werden. Die Kurzfasern weisen entlang ihrer Längsachse den höchsten Zug-Elastizitätsmodul auf. Diese Ausführungsform hat den Vorteil, dass die Kurzfasern in Zugbelastungsrichtung ausgerichtet werden können und das Bauteil
30 somit höheren Zugbelastungen standhält, als bei ungeordneter Einbettung der Kurzfasern.

35 Für eine im Wesentlichen homogene Faserverteilung kann ein Volumen der im Matrixwerkstoff enthaltenen Kurzfasern gegenüber einem Gesamtmatrixvolumen mindestens 10 Vol.-%, vorzugsweise mindestens 30 Vol.-%, insbesondere vorzugsweise mindestens 35 Vol.-% und/oder maximal 80 Vol.-%,

5 vorzugsweise maximal 70 Vol.-%, insbesondere vorzugsweise maximal 60 Vol.-%, betragen, wobei das Gesamtmatrixvolumen eine Summe des Volumens der eingebetteten Kurzfasern und eines Volumens des Matrixwerkstoffes ist. Ein hoher Anteil an Kurzfasern im Matrixwerkstoff hat den Vorteil, dass das Matrixwerkstoff-Kurzfasergemisch eine erhöhte Elastizität aufweisen und damit höheren Zugbelastungen standhalten kann. Es kann auch vorgesehen sein, dass der Volumenanteil der Kurzfasern am Gesamtmatrixvolumen während dem Auftrag von Matrixwerkstoff schichtweise variiert wird, sodass das Faserverbundbauteil vorzugsweise Bereiche mit unterschiedlichen Kurzfaservolumenanteilen aufweist. Diese Ausführung hat den Vorteil, dass das herzustellende Faserverbundbauteil hinsichtlich Gewicht und Materialverbrauch genau auf spätere Belastungen angepasst werden kann.

15 Der Verfahrensschritt II kann vor dem Verfahrensschritt III ausgeführt werden und/oder der Verfahrensschritt III vor Verfahrensschritt II ausgeführt werden. In Abhängigkeit der Anforderung an das Faserverbundbauteil kann das Faserelement in den Matrixwerkstoff eingebettet werden oder nach dem Aushärten gezielt auf Matrixschichten aufgebracht werden. Dies hat den Vorteil, dass das Faserelement auch in innenliegende Schichten des Faserverbundbauteils eingebettet werden kann. So kann das Faserelement auch Zugbelastungen aufnehmen, die im Inneren des Faserverbundbauteils auftreten.

25 Gegenstand der Anmeldung ist auch ein Faserverbundbauteil, welches den in dieser Anmeldung geschilderten Aufbau hat und vorzugsweise mit dem anmeldungsgemäßen Verfahren hergestellt worden ist. Weiterbildungen ergeben sich auch aus der Beschreibung des Ausführungsbeispiels.

30 Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung werden nachfolgend anhand der Figuren erläutert.

Es zeigen:

35 Fig. 1 ein Flussdiagramm mit Verfahrensschritten eines Verfahrens zum Herstellen eines dreidimensionalen, vielschichtigen Faserverbundbauteils,

- Fig. 2 eine perspektivische Darstellung einer Auftragseinheit während eines Auftragens von Matrixwerkstoff,
- 5 Fig. 3 eine schematische Darstellung einer Auftragseinheit während eines Auftragens von Matrixwerkstoff,
- Fig. 4 einen Schichtaufbau des Faserverbundteils in einem Ausschnitt eines Bauteilquerschnitts,
- 10 Fig. 5 einen Schichtaufbau des Faserverbundbauteils mit imprägnierten Faserelementen in einem Ausschnitt eines Bauteilquerschnitts,
- Fig. 6 einen Schichtaufbau des Faserverbundteils mit gerichteten Kurzfasern zwischen zwei Matrixschichten,
- 15 Fig. 7a und 7b verschiedene Draufsichten auf ein Faserverbundbauteil mit Faserelement,
- 20 Fig. 8 eine schematische Darstellung einer Herstellung eines Rotorblatts,
- Fig. 9 einen Längsschnitt des Rotorblatts und
- Fig. 10 einen Querschnitt des Rotorblatts.
- 25
- In Fig. 1 ist ein Flussdiagramm mit vier Schritten eines Verfahrens zum Herstellen eines dreidimensionalen vielschichtigen Faserverbundbauteils dargestellt. Die Verfahrensschritte lauten:
- 30
- Auftragen 1 von Matrixwerkstoff,
 - Einbetten 2 von Kurzfasern,
 - Auftragen 3 eines Faserelements und
 - Aushärten 4.
- 35 Pfeile, von denen einer beispielhaft mit dem Bezugszeichen 5 versehen ist, zeigen verschiedene Ausführungsreihenfolgen. Das Verfahren kann mit Ver-

fahrensschritt 1, 2 oder 3 begonnen werden. In einer beispielhaften Ausführung wird zunächst in einer Auftragseinheit, bspw. einem Extrudiermischkopf Matrixwerkstoff mit Kurzfasern vermengt. In dem Ausführungsbeispiel handelt es sich bei dem Matrixwerkstoff um duroplastischen Polyurethan, der Matrixwerkstoff kann jedoch auch ein anderer duroplastischer Matrixwerkstoff, beispielsweise Epoxidharz oder Formaldehydharz, sein. Die Kurzfasern sind im gezeigten Beispiel aus Glasfaser. Die Kurzfasern können auch anderen Werkstoffes sein, beispielsweise aus Kohlefaser oder Naturfaser, wie beispielsweise Holzfaser. Der Matrixwerkstoff ist im gezeigten Beispiel thixotrop. Die Kurzfasern und der Matrixwerkstoff sind in jeweils einem Materialspeicher gelagert. Der Matrixwerkstoff wird in dem Materialspeicher durchrührt, sodass die Viskosität des Matrixwerkstoffes aufgrund seiner Thixotropie verringert wird. In dem Extrudiermischkopf werden dem Matrixwerkstoff die Kurzfasern vor einem Auftragen, vor dem Ausfließen aus einer Auftragsdüse beigemischt. Das Matrix-Kurzfasern-Gemisch wird in einer ersten Schicht durch den Extrudierkopf, beispielsweise durch die Auftragsdüse, auf einen Objektträger aufgetragen, d.h. der Extrudiermischkopf fährt eine Kontur des Objektträgers ab und extrudiert einen Matrix-Kurzfasern-Gemisch-Strang auf den Objektträger. Der Matrix-Kurzfasern-Gemisch-Strang weist bei einem Auftragen vorzugsweise mindestens eine Länge auf, welche der doppelten Breite entspricht. Das Matrix-Fasern-Gemisch wird nach dem Auftragen einer vollständigen Schicht beispielsweise durch Erwärmung ausgehärtet. Nach dem Aushärten wird ein weiterer Strang des Matrix-Fasern-Gemisches auf den ersten Strang aufgetragen. Anschließend wird ein Faserelement mittels eines Legkopfes auf die zweite Matrixschicht aufgelegt, sodass das Faserelement, beispielsweise ein Glasfasertape, zumindest teilweise von noch nicht vollständig ausgehärtetem Matrix-Fasern-Gemisch umschlossen wird. Es folgt ein Aushärtvorgang des Matrixwerkstoffes, beispielsweise durch Erhitzen. Die Verfahrensschritte können in beliebiger Reihenfolge kombiniert und wiederholt werden. Das Matrix-Fasern-Gemisch kann strangweise, aber auch tröpfchenweise aufgetragen werden. Der Objektträger kann beispielsweise eine Platte sein, die das zu fertigende Faserverbundteil während des Herstellprozesses stützt, jedoch nicht Teil des Bauteils ist. Der Objektträger kann auch Teil des Faserverbundbauteils sein, beispielsweise in Form eines vorgefertigten Bauteilkerns, beispielsweise eines additiv vorgefertigten Bauteilkerns aus duromerem Schaum.

Fig. 2 illustriert den Verfahrensschritt Auftragen 1 von Matrixwerkstoff 8. Ein Die Auftragseinheit 6 besitzt eine Öffnung 7, durch die Matrixwerkstoff 8 tröpfchenweise ausgegeben wird. Nach Verlassen der Öffnung 7 ist der Matrixwerkstoff noch in einem zähflüssigen Zustand. Tropfen 9 werden nebeneinander aufgebracht, sodass sich diese verbinden und Matrixschichten 10 entstehen. Nach dem Auftrag einer Matrixschicht 10 härtet der Matrixwerkstoff 8, beispielsweise durch Erhitzen, aus. Die Matrixschichten 10 bilden einen Teil eines Bauteils 11. Das Bauteil 11 ist innen hohl. Alternativ kann der Matrixwerkstoff 8 strangweise aufgetragen werden. Der Matrixwerkstoff 8 kann beispielsweise ein thixotroper Werkstoff, beispielsweise duroplastischer Polyurethan sein.

Fig. 3 zeigt eine Auftragseinheit beim Auftragen einer Schicht. Wiederkehrende Merkmale sind in dieser und den folgenden Abbildungen mit den gleichen Bezugszeichen versehen. Ein Teil einer Auftragseinheit 6 hat eine Öffnung 7, durch die Matrixwerkstoff 8 tröpfchenweise ausgegeben wird. Der Matrixwerkstoff 8 wird auf einen Objektträger 12 aufgetragen. In dem gezeigten Beispiel ist der Objektträger 12 nicht Teil des Bauteils 11. In anderen Ausführungen kann der Objektträger 12 Teil des Bauteils 11 sein. Tropfen 9 werden nebeneinander mit einem Abstand von beispielsweise 1 mm aufgebracht und verbinden sich anschließend auf dem Objektträger mit den angrenzend angeordneten Tropfen zu einer Matrixschicht 10 aufgrund ihres flüssigen Zustandes. Zusätzlich oder alternativ kann der Matrixwerkstoff 8 strangweise auf den Objektträger 12 aufgetragen werden. In dem gezeigten Beispiel ist die Auftragseinheit 6 als Düse 13 ausgebildet. Die Auftragseinheit 6 kann in weiteren Ausführungsformen als Extrudierkopf und/oder als Extrudiermischkopf ausgebildet sein. In dem Extrudiermischkopf werden dem Matrixwerkstoff vor dem Auftragen Kurzfasern beigemischt.

In Fig. 4 ist ein Ausschnitt eines Bauteilquerschnitts dargestellt. Der Bauteilquerschnitt zeigt fünf Matrixschichten 14 -18. In einer zuerst aufgetragenen Schicht 14 ist ein Faserelement 19 in den Matrixwerkstoff 8 eingebettet. In dem Beispiel ist das Faserelement 19 vollständig von Matrixwerkstoff 8 umschlossen. In einer anderen Ausführungsform kann das Faserelement 18 nur teilweise von Matrixwerkstoff 8 umschlossen sein. Das Faserelement 18 ist im

gezeigten Beispiel 6 cm lang. In den fünf Schichten 14 bis 18 sind Kurzfasern - eine davon ist beispielhaft mit dem Bezugszeichen 20 versehen- in den Matrixwerkstoff 8 eingebettet. Die Kurzfasern 20 sind ungeordnet, d.h. in zufälliger Richtungsverteilung, in den Matrixschichten 14 bis 18 eingebettet. In einem anderen Ausführungsbeispiel können die Kurzfasern 20 auch gerichtet und/oder geordnet in den Matrixwerkstoff 8 eingebettet werden, beispielsweise in dem diese mit ihrer Längsachse entlang des Fahrweges der Auftragseinheit liegen. Die im Matrixwerkstoff enthaltenen Kurzfasern haben einen Anteil von beispielsweise Vol.-30 % an einem Gesamtmatrixvolumen, wobei das Gesamtmatrixvolumen die Summe von Matrixwerkstoffvolumen und Kurzfaservolumen ist. Diese Materialmischung, beispielsweise duroplastisches Polyesterharz mit Kurzglasfaser, bewirkt beispielsweise eine hohe Elastizität, beispielsweise ein Zug-Elastizitätsmodul von 14 GPa, bei gleichzeitig hoher Biegefestigkeit, beispielsweise 120 MPa, eines herzustellenden Faserverbundbauteils.

In Fig. 5 ist ein Ausschnitt eines Bauteilquerschnitts dargestellt. Der Bauteilquerschnitt zeigt fünf Matrixschichten 21 bis 25. Auf der ersten Schicht 21 sind zwei Faserelemente 19 aufgebracht. Die Faserelemente 19 sind von einer Flüssigkeit umschlossen, in diesem Ausführungsbeispiel von einem Klebstoff 26, beispielsweise einem Epoxidharz. In anderen Ausführungsbeispielen kann es sich bei der Flüssigkeit um eine andere Flüssigkeit handeln. In der zweiten Schicht 22 und in der dritten Schicht 23 sind Kurzfasern 20 in den Matrixwerkstoff 8 eingebettet. In der ersten Schicht 21 und der vierten Schicht 24 und fünften Schicht 25 sind keine Kurzfasern 20 oder Faserelemente 19 eingebettet.

In Fig. 6 ist ein Ausschnitt eines Faserverbundbauteils dargestellt, der einen dreischichtigen Auftrag von Matrixwerkstoff 8 und Kurzfasern 20 illustriert. Gerichtete Kurzfasern 20 bilden eine mittlere Schicht. Bei dem Matrixwerkstoff 8 kann es sich beispielsweise um duromeren Polyurethan handeln. Die Kurzfasern können beispielsweise Glasfasern, insbesondere E-Glasfasern, sein. Eine Auftragseinheit 6, beispielsweise ein Extrudier-Legekopf trägt eine Schicht Matrixwerkstoff 8 auf einen Objektträger 12, beispielsweise eine Stahlplatte, auf. Im gezeigten Beispiel wird der Matrixwerkstoff in einem nächsten Verfahrensschritt, beispielsweise durch Erwärmen, ausgehärtet. Daraufhin legt die Auftragseinheit 6 in dem gezeigten Beispiel auf die erste

Schicht Matrixwerkstoff 8 eine Vielzahl von Kurzfasern 20, beispielsweise Glasfasern, insbesondere E-Glasfasern. Die Kurzfasern 20 werden gerichtet, entlang ihrer Längsachsen parallel und entlang ihrer Längsachse in Richtung einer Zugbelastungsrichtung des Faserverbundbauteils zeigend, auf die erste Matrixschicht gelegt. Der Zug-Elastizitätsmodul der E-Glasfaser beträgt beispielsweise 70 GPa. In einem weiteren Verfahrensschritt wird durch die Auftragseinheit 6 eine zweite Schicht Matrixwerkstoff 8 auf die Kurzfasern 20 aufgetragen und ausgehärtet. Der Matrixwerkstoff 8 der zweiten Matrixschicht umschließt im gezeigten Beispiel die aufgetragenen Kurzfasern 20. Im gezeigten Beispiel wird die zweite Schicht Matrixwerkstoff 8 anschließend ausgehärtet und fixiert so die Kurzfasern beim Aushärten in ihrer gerichteten Position.

In einer anderen Ausführung kann auch ohne den Verfahrensschritt des Aushärtens auf die aufgetragene Matrixschicht Kurzfasern 20 aufgetragen werden, sodass diese bereits in der zuerst aufgetragenen Matrixschicht eingebettet werden. Der Matrixwerkstoff kann in einer anderen Ausführung fester sein, sodass die zweite aufgetragene Schicht Matrixwerkstoff 8 auf den Kurzfasern verbleibt und die Kurzfasern nicht vollständig umschließt.

In Fig. 7a ist eine Aufsicht auf ein Faserverbundbauteil 27 dargestellt. Auf das Faserverbundteil 27 sind Faserelemente 19a, 19b und 19c aufgetragen. Die Faserelemente 19a und 19c sind geradlinig aufgetragen. Das Faserelement 19b ist mäanderförmig aufgebracht. Vier Faserelemente sind parallel in geraden Strängen aufgetragen. Die Faserelemente, beispielsweise Glasfaser, Kohlefaser oder Naturfaser, haben Zug-Elastizitätsmodule zwischen 70 und 400 GPa. Dies bewirkt eine hohe Elastizität des Faserverbundbauteils 27 in den Bereichen, in denen Faserelemente in Zugbelastungsrichtung aufgetragen sind. Durch einen Freiformauftrag, d.h. durch eine beliebig wählbare Form der Auftragsgeometrie, können, wie im Beispiel gezeigt, Zugbelastungen in verschiedenen Richtungen des Faserverbundbauteils 27 aufgenommen werden. Die Faserelemente 19a, 19b und 19c sind in verschiedenen Bereichen des Faserverbundbauteils aufgebracht.

In Fig. 7b ist eine weitere Aufsicht auf ein Faserverbundbauteil 27 mit einem Faserelement 19 dargestellt. Das Faserelement 19 ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel kurvenförmig auf den Matrixwerkstoff 8 aufgetragen. Das Fa-

serelement 19 überlappt sich nicht. In anderen Ausführungsbeispielen kann das Faserelement 19 auch sich selbst überlappend angeordnet sein. Das Faserelement 19 enthält beispielsweise Kohlefaser und/oder Glasfaser, kann aber auch andere Materialien wie beispielsweise Naturfasern wie z.B. Sisal, Kenaf, Hanf oder ähnliche Langfasern enthalten. Das Faserelement 19 weist beispielsweise eine Länge von 16 cm auf. Zudem sind eine Auftragseinheit 6 und ihr Verfahrensweg 28 dargestellt. Das Faserelement 19 wird durch einen Legekopf 29 aufgetragen. Ein Verfahrensweg des Legekopfes 29 entspricht der Form des aufgetragenen Faserelements 19 und entspricht nicht zwangsläufig dem Verfahrensweg 28 der Auftragseinheit 6 des Matrixwerkstoffs 8. Der Legekopf 29 und die Auftragseinheit 6 können gleichzeitig aktiv sein. Der Legekopf 29 und die Auftragseinheit 6 können parallel angeordnet sein. Der Legekopf 29 und die Auftragseinheit 6 können beispielsweise auf einer Mehrachsgeometrie angeordnet sein. Vorzugsweise enthält die Mehrachsgeometrie 3 Achsen, insbesondere vorzugsweise 6 Achsen. Der Legekopf 29 und die Auftragseinheit 6 können unabhängig voneinander auf der Mehrachsgeometrie verfahren.

Fig. 8 zeigt in schematischer Darstellung eine Herstellung eines Rotorblatts 30 einer Windkraftanlage. Das Rotorblatt ist ein im Bereich der Rotornabe i Wesentlichen kreisringförmiges, hohles Bauteil. Eine Auftragseinheit 6 trägt schichtweise Matrixwerkstoff 8 auf einen Objektträger 12 auf. In diesem Ausführungsbeispiel fährt die Auftragseinheit 6 eine kreisförmige Bahn ab, wobei die abgefahrenen Kreise konzentrisch mit dem Kreisring des Rotorblatts sind, und trägt Matrixwerkstoff 8 schichtweise auf. Mit zunehmender Schichtanzahl kann die Bahn jedoch auch die Geometrie eines Rotorblattquerschnittes annehmen, d.h. elliptisch oder stromlinienförmig werden. Im gezeigten Beispiel trägt ein Legekopf 29 ein Faserelement 19 bereichsweise auf bereits aufgetragene Matrixschichten des Kreisrings auf. Das Faserelement 19 wird mit einer Krümmung aufgetragen, die einer Krümmung des Kreisrings des Rotorblattes entspricht. Im gezeigten Beispiel wird der Matrixwerkstoff 8 nach dem Auftrag einer Schicht durch die Auftragseinheit, und nachdem das Faserelement 19 eingebettet wurde, ausgehärtet. Das Faserelement ist von Matrixwerkstoff 8 umschlossen, kann in einem weiteren Ausführungsbeispiel aber auch nur teilweise von Matrixwerkstoff 8 umschlossen sein. Durch die Aushärtung des Matrixwerkstoffes 8 nach Einbettung des Faserelementes ist kein zusätzlicher

Klebstoff zur Fixierung des Faserelementes 19 notwendig, da der Matrixwerkstoff 8 das Faserelement 19 beim Aushärten in der Matrixschicht fixiert. In diesem Ausführungsbeispiel ist der Objektträger 12 nicht Teil des Faserverbundbauteils. Der Matrixwerkstoff 8 kann mit Kurzfasern gemischt sein, die, beispielsweise vor dem Auftragen des Matrixwerkstoffes, in den Matrixwerkstoff eingebettet wurden. Die Kurzfasern können beispielsweise UMS-Kohlenstofffasern sein, die ein Zug-Elastizitätsmodul von 395 GPa aufweisen. Dies hat den Vorteil, dass eine Elastizität des Rotorblattes 30 in Bereichen der dem Matrixwerkstoff 8 zugemischten Kurzfasern 20 erhöht wird.

In Fig. 9 ist ein Längsschnitt eines Rotorblatts 30 einer Windkraftanlage dargestellt. Der Längsschnitt liegt in der xz-Ebene. Der Ausschnitt des Rotorblattes im Längsschnitt hat die Form eines extrudierten Halbkreisringes, der mit dem Kreisinneren nach oben (in y-Richtung) zeigt. Auf dem Rotorblatt 30 sind zwei trapezförmige Stabilisationsstege 31, beispielsweise aus duroplastischem Polyurethan, angebracht. Die Stabilisationsstege 31 liegen in ihrer Längsachse parallel zueinander und sind in ihrer Längsachse parallel zur Längsachse des Rotorblatts 30 angeordnet. Die Stabilisationsstege verstärken das Rotorblatt 30 und erhöhen eine Biege- und eine Torsionssteifigkeit. Für eine Erhöhung einer Zugfestigkeit sind im gezeigten Beispiel in verschiedenen Bereichen Faserelemente 19, beispielsweise aus E-Glasfaser, auf das Rotorblatt 30 aufgebracht. Im gezeigten Beispiel sind zwei Faserelemente 19 auf der inneren Mantelfläche des Rotorblattes auf jeweils einer Seite der Stabilisationsstege 31 aufgebracht. Ein weiteres Faserelement 19 ist beispielsweise auf der Schnittkante entlang der Längsachse des Rotorblattes entgegengesetzt der z-Richtung in den Matrixwerkstoff 8 eingebettet.

In Fig. 10 ist ein Querschnitt des Rotorblatts 30 der Windkraftanlage dargestellt. Der Querschnitt verläuft durch die xy-Ebene. In diesem Ausführungsbeispiel hat das Bauteil beispielsweise einen duromeren Schaumkern 32, beispielsweise aus duromerem Polyurethan-Schaum. In einem anderen Beispiel kann ein Faserverbundbauteil, in diesem Beispiel ein Rotorblatt 30, einen Bauteilkern aus anderem Material besitzen. Im gezeigten Beispiel dient der duromere Schaumkern 32 als Objektträger, sodass Matrixwerkstoff additiv um den Schaumkern 32 aufgetragen wird. Eine Auftragseinheit umfasst beispielsweise eine 6-Achsgeometrie, auf der beispielsweise ein Extrudiermischkopf

mit 6 Freiheitsgraden verfahren kann und ein Matrix-Kurzfasern-Gemisch 33, beispielsweise ein Epoxidharz-Glasfaser-Gemisch, schichtweise, der Kontur des duromeren Schaumkerns 32 folgend, auf den duromeren Schaumkern 32 aufträgt. Der Schaumkern 32 kann in einer anderen Ausführungsform auch additiv in dem gleichen Verfahren aufgetragen werden, wie das den Schaumkern 32 umschließende Matrix-Kurzfasern-Gemisch 33. Zudem ist ein Faserelement 19 auf das Matrix-Kurzfasern-Gemisch 33 aufgetragen. Das Faserelement 19, beispielsweise aus Kohlenstofffaser, insbesondere aus HT-Kohlenstofffaser, ist jeweils länglich und geradlinig ausgebildet. Der Zug-Elastizitätsmodul der HT-Faser beträgt etwa 230 GPa und verstärkt das Rotorblatt 30 hinsichtlich Zugbelastungen in Längsrichtung des aufgetragenen Faserelements 19. In einem anderen Ausführungsbeispiel können die Faserelemente 19 auch andere Formen aufweisen.

5

10

15

Die vorliegende Erfindung umfasst unter anderem auch folgende Aspekte:

1. Verfahren zum Herstellen eines dreidimensionalen, vielschichtigen Faserverbundbauteils (11), wobei das Verfahren die Schritte umfasst

20

I. Schichtweises Auftragen eines aushärtbaren Matrixwerkstoffes (8) auf einen Objektträger (12) in übereinander angeordneten Matrixschichten durch mindestens eine relativ zum Objektträger (12) bewegbare Auftragseinheit (6), wobei Matrixwerkstoff (8), der in einer Lage aufgetragen wurde, eine Matrixschicht bildet,

25

II. Zumindest bereichsweises, strangweises Auftragen mindestens eines Faserelementes (19) auf mindestens eine der Matrixschichten durch mindestens einen relativ zum Objektträger (12) bewegbaren Legkopf,

III. Aushärten des Matrixwerkstoffes (8),

30

dadurch gekennzeichnet, dass der Matrixwerkstoff (8) ein Duroplast ist und in den Duroplasten Kurzfasern (20) eingebettet werden, wobei die Kurzfasern (20) eine geringere Länge als das aufgetragene Faserelement (19) aufweisen.

2. Verfahren nach Aspekt 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Matrixwerkstoff thixotrop ist.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Aspekte, dadurch gekennzeichnet, dass der Matrixwerkstoff (8) ein duromerer Schaum ist.
- 5 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Aspekte, dadurch gekennzeichnet, dass der Matrixwerkstoff (8) abwechselnd schichtweise eine faserhaltige Matrix oder ein duromerer Schaum ist.
- 10 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Aspekte, dadurch gekennzeichnet, dass die Matrixschichten eine Dicke von minimal 0,05 mm und maximal 300 mm aufweisen.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Aspekte, dadurch gekennzeichnet, dass der Objektträger (12) Teil des Faserverbundbauteils (11) ist.
- 15 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Aspekte, dadurch gekennzeichnet, dass die Auftragseinheit (6) einen Extrudierkopf aufweist.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Aspekte, dadurch gekennzeichnet, dass die Auftragseinheit (6) und/oder der Legekopf (29) unabhängig voneinander bewegbar sind.
- 20 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Aspekte, dadurch gekennzeichnet, dass das Faserelement (19) mindestens eine Glas- und/oder Kohlefaser enthält.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Aspekte, dadurch gekennzeichnet, dass das aufgetragene Faserelement (19) eine Länge von mindestens 0,5 mm besitzt.
- 25 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Aspekte, dadurch gekennzeichnet, dass das Faserelement (19) vor dem Auftragen auf den Matrixwerkstoff (8) mit einer Flüssigkeit (26) vorimprägniert wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Aspekte, dadurch gekennzeichnet, dass das Faserelement (19) zumindest teilweise in den Matrixwerkstoff (8) eingebettet wird.
- 5 13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Aspekte, dadurch gekennzeichnet, dass die Kurzfasern (20), die in den Matrixwerkstoff eingebettet werden, eine Länge von minimal 0,5 mm und maximal 100 mm aufweisen.
- 10 14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Aspekte, dadurch gekennzeichnet, dass die Kurzfasern (20) dem Matrixwerkstoff (8) in der Auftragseinheit (6) beigemischt werden.
- 15 15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Aspekte, dadurch gekennzeichnet, dass Kurzfasern (20) in eine oder mehrere Schichten Matrixwerkstoff (8) eingebettet ist/sind.
- 20 16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Aspekte, dadurch gekennzeichnet, dass Kurzfasern (20) zwischen zwei Schichten Matrixwerkstoff (8) aufgetragen sind.
- 25 17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Aspekte, dadurch gekennzeichnet, dass die Kurzfasern (20), die in den Matrixwerkstoff (8) eingebettet werden, gerichtet in den Matrixwerkstoff (8) eingebettet werden und mit ihrer Längsachse entlang des Verfahrensweges (28) der Auftragseinheit des Matrixwerkstoffes liegen.
- 30 18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Aspekte, dadurch gekennzeichnet, dass ein Volumen der im Matrixwerkstoff (8) enthaltenen Kurzfasern (20) gegenüber einem Gesamtmatrixvolumen mindestens 10 % beträgt, wobei das Gesamtmatrixvolumen eine Summe des Volumens der eingebetteten Kurzfasern (20) und eines Volumens des Matrixwerkstoffes (8) ist.
19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Aspekte, dadurch gekennzeichnet, dass in mindestens zwei Schichten ein Volumen der im Matrixwerkstoff (8) enthaltenen Kurzfasern (20) gegenüber einem Gesamtmatrixvolumen unterschiedlich ist, wobei das Gesamtmatrixvolu-

men eine Summe des Volumens der eingebetteten Kurzfasern (20) und eines Volumens des Matrixwerkstoffes (8) ist.

- 5
20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Aspekte, dadurch gekennzeichnet, dass der Schritt II vor Schritt III ausgeführt wird und/oder der Schritt III vor Schritt II ausgeführt wird.
21. Bauteil hergestellt durch ein Verfahren nach einem der vorhergehenden Aspekte.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines dreidimensionalen, vielschichtigen Faserverbundbauteils (11), wobei das Verfahren die Schritte umfasst
 - 5 I. Schichtweises Auftragen eines aushärtbaren Matrixwerkstoffes (8) auf einen Objektträger (12) in übereinander angeordneten Matrixschichten durch mindestens eine relativ zum Objektträger (12) bewegbare Auftragseinheit (6), wobei Matrixwerkstoff (8), der in einer Lage aufgetragen wurde, eine Matrixschicht bildet,
 - 10 II. Zumindest bereichsweises, strangweises Auftragen mindestens eines Faserelementes (19) auf mindestens eine der Matrixschichten durch mindestens einen relativ zum Objektträger (12) bewegbaren Legekopf,
 - III. Aushärten des Matrixwerkstoffes (8),
15 wobei der Matrixwerkstoff (8) ein Duroplast ist und in den Duroplasten Kurzfasern (20) eingebettet werden, wobei die Kurzfasern (20) eine geringere Länge als das aufgetragene Faserelement (19) aufweisen,
dadurch gekennzeichnet,
20 dass abwechselnd schichtweise der faserhaltige Matrixwerkstoff und ein duromerer Schaum aufgetragen werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Matrixwerkstoff thixotrop ist.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Matrixwerkstoff (8) ein duromerer Schaum ist.
- 25 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Matrixschichten eine Dicke von minimal 0,05 mm und maximal 300 mm aufweisen.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Objektträger (12) Teil des Faserverbundbauteils (11) ist.
- 5 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Auftragseinheit (6) einen Extrudierkopf aufweist.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Auftragseinheit (6) und/oder der Legekopf (29) unabhängig voneinander bewegbar sind.
- 10 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Faserelement (19) mindestens eine Glas- und/oder Kohlefaser enthält.
- 15 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das aufgetragene Faserelement (19) eine Länge von mindestens 0,5 mm besitzt.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Faserelement (19) vor dem Auftragen auf den Matrixwerkstoff (8) mit einer Flüssigkeit (26) vorimprägniert wird.
- 20 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Faserelement (19) zumindest teilweise in den Matrixwerkstoff (8) eingebettet wird.
- 25 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kurzfasern (20), die in den Matrixwerkstoff eingebettet werden, eine Länge von minimal 0,5 mm und maximal 100 mm aufweisen.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kurzfasern (20) dem Matrixwerkstoff (8) in der Auftragseinheit (6) beigemischt werden.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Kurzfasern (20) in eine oder mehrere Schichten Matrixwerkstoff (8) eingebettet ist/sind.
- 5 15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Kurzfasern (20) zwischen zwei Schichten Matrixwerkstoff (8) aufgetragen sind.
- 10 16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kurzfasern (20), die in den Matrixwerkstoff (8) eingebettet werden, gerichtet in den Matrixwerkstoff (8) eingebettet werden und mit ihrer Längsachse entlang des Verfahrensweges (28) der Auftragseinheit des Matrixwerkstoffes liegen.
- 15 17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Volumen der im Matrixwerkstoff (8) enthaltenen Kurzfasern (20) gegenüber einem Gesamtmatrixvolumen mindestens 10 % beträgt, wobei das Gesamtmatrixvolumen eine Summe des Volumens der eingebetteten Kurzfasern (20) und eines Volumens des Matrixwerkstoffes (8) ist.
- 20 18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in mindestens zwei Schichten ein Volumen der im Matrixwerkstoff (8) enthaltenen Kurzfasern (20) gegenüber einem Gesamtmatrixvolumen unterschiedlich ist, wobei das Gesamtmatrixvolumen eine Summe des Volumens der eingebetteten Kurzfasern (20) und eines Volumens des Matrixwerkstoffes (8) ist.
- 25 19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Schritt II vor Schritt III ausgeführt wird und/oder der Schritt III vor Schritt II ausgeführt wird.
20. Bauteil hergestellt durch ein Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

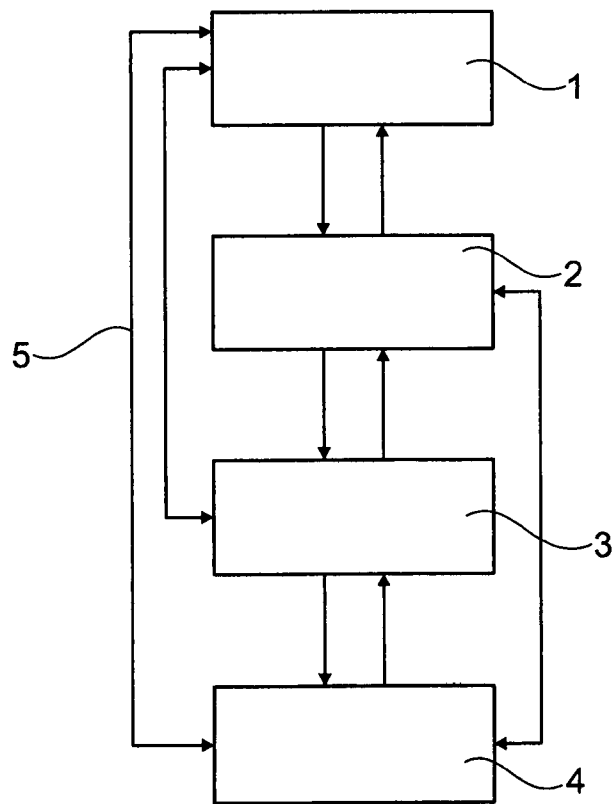


Fig. 1

2/4

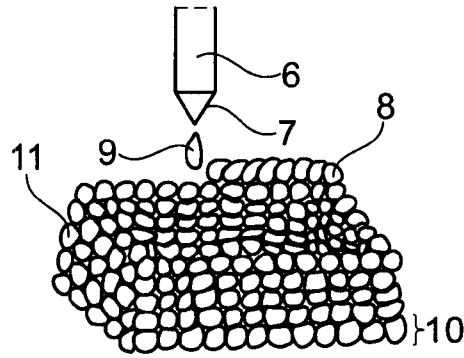


Fig. 2

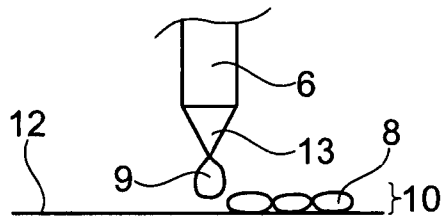


Fig. 3

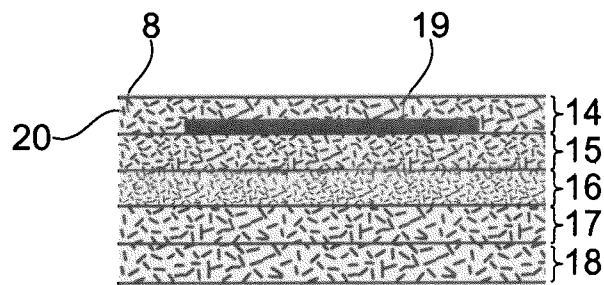


Fig. 4

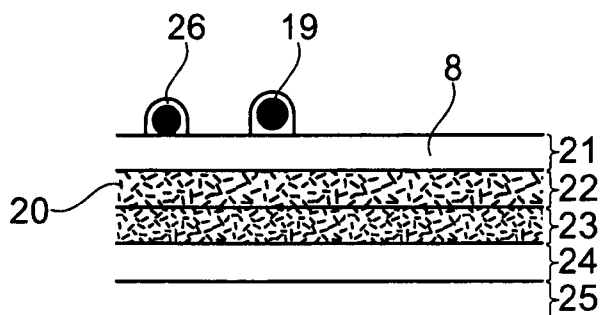


Fig. 5

3/4



Fig. 6

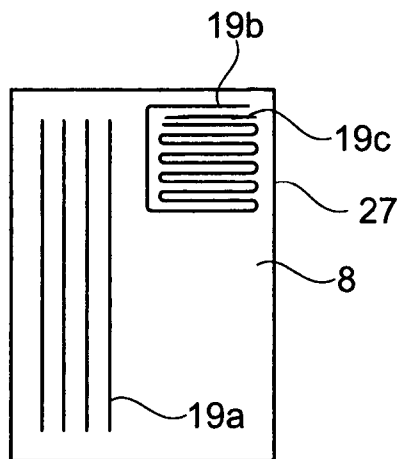


Fig. 7a

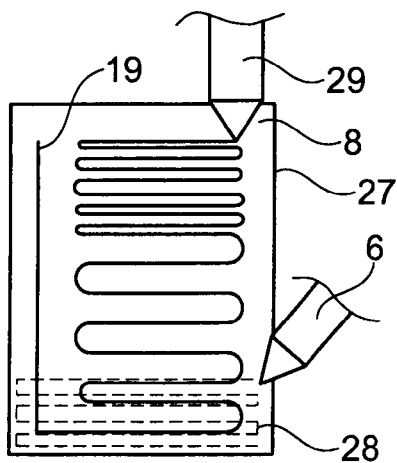


Fig. 7b

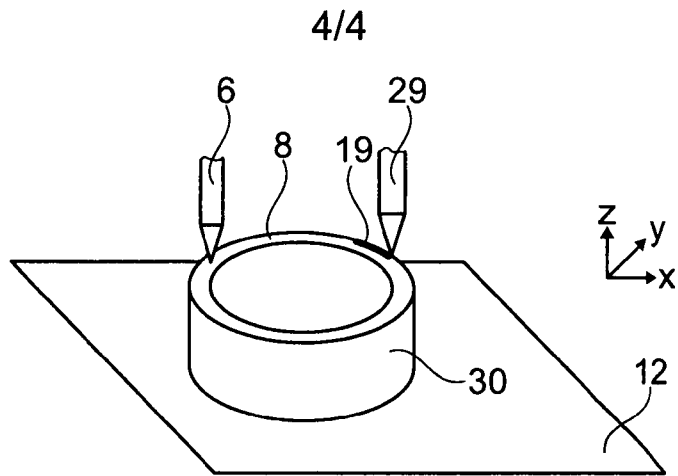


Fig. 8

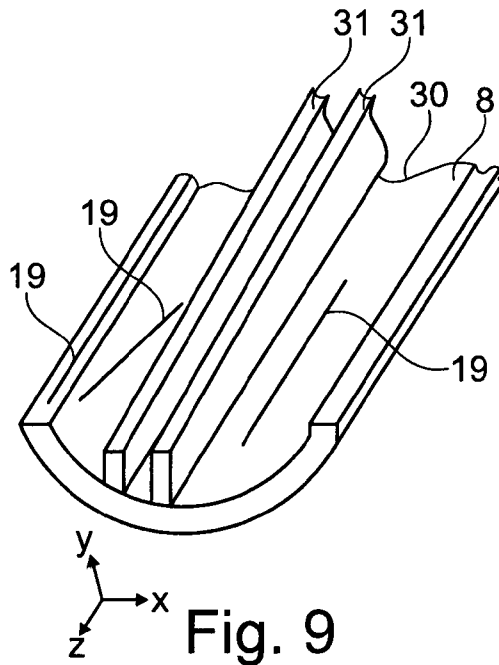


Fig. 9

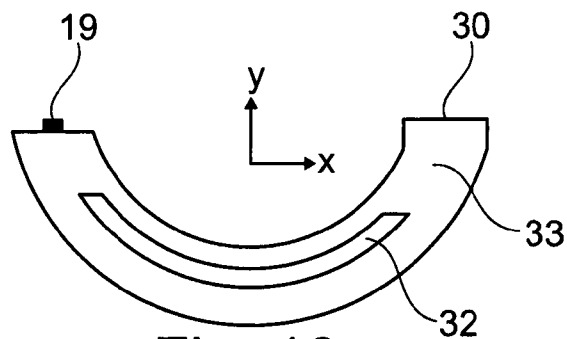


Fig. 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/069298

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. B29C64/106 B29C64/336 B33Y10/00 B33Y70/00
 ADD.
 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
 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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2016/019434 A1 (LAING O ROURKE AUSTRALIA PTY LTD [AU]) 11 February 2016 (2016-02-11) page 14, paragraph 2 page 8, paragraph 1 page 10, last paragraph -----	1-20
Y	WO 2014/153535 A2 (MARK GREGORY THOMAS [US]) 25 September 2014 (2014-09-25) paragraphs [0260], [0262] -----	1-20
Y	WO 2014/193505 A1 (UNITED TECHNOLOGIES CORP [US]) 4 December 2014 (2014-12-04) figure 2 -----	7

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 17 October 2017	Date of mailing of the international search report 30/10/2017
---	---

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Van Wallene, Allard
--	--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/069298

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2016019434 A1	11-02-2016	CN 106794624 A	31-05-2017
		EP 3186062 A1	05-07-2017
		JP 2017523068 A	17-08-2017
		US 2017225445 A1	10-08-2017
		WO 2016019434 A1	11-02-2016

WO 2014153535 A2	25-09-2014	AU 2014235848 A1	15-10-2015
		CA 2907492 A1	25-09-2014
		CN 105339154 A	17-02-2016
		CN 107187022 A	22-09-2017
		EP 2976205 A2	27-01-2016
		JP 2016518267 A	23-06-2016
		US 2014291886 A1	02-10-2014
		US 2017066187 A1	09-03-2017
		WO 2014153535 A2	25-09-2014

WO 2014193505 A1	04-12-2014	EP 3003694 A1	13-04-2016
		US 2016114532 A1	28-04-2016
		WO 2014193505 A1	04-12-2014

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/069298

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. B29C64/106 B29C64/336 B33Y10/00 B33Y70/00 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) B29C B33Y		
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		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	WO 2016/019434 A1 (LAING O ROURKE AUSTRALIA PTY LTD [AU]) 11. Februar 2016 (2016-02-11) Seite 14, Absatz 2 Seite 8, Absatz 1 Seite 10, letzter Absatz -----	1-20
Y	WO 2014/153535 A2 (MARK GREGORY THOMAS [US]) 25. September 2014 (2014-09-25) Absätze [0260], [0262] -----	1-20
Y	WO 2014/193505 A1 (UNITED TECHNOLOGIES CORP [US]) 4. Dezember 2014 (2014-12-04) Abbildung 2 -----	7
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> 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 17. Oktober 2017		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 30/10/2017
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Van Wallene, Allard

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/069298

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2016019434 A1	11-02-2016	CN 106794624 A EP 3186062 A1 JP 2017523068 A US 2017225445 A1 WO 2016019434 A1	31-05-2017 05-07-2017 17-08-2017 10-08-2017 11-02-2016

WO 2014153535 A2	25-09-2014	AU 2014235848 A1 CA 2907492 A1 CN 105339154 A CN 107187022 A EP 2976205 A2 JP 2016518267 A US 2014291886 A1 US 2017066187 A1 WO 2014153535 A2	15-10-2015 25-09-2014 17-02-2016 22-09-2017 27-01-2016 23-06-2016 02-10-2014 09-03-2017 25-09-2014

WO 2014193505 A1	04-12-2014	EP 3003694 A1 US 2016114532 A1 WO 2014193505 A1	13-04-2016 28-04-2016 04-12-2014
