



(10) **DE 10 2021 110 907 A1** 2021.11.04

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2021 110 907.8**

(22) Anmeldetag: **28.04.2021**

(43) Offenlegungstag: **04.11.2021**

(51) Int Cl.: **B29C 64/165 (2017.01)**

B33Y 10/00 (2015.01)

B33Y 70/00 (2020.01)

(66) Innere Priorität:

10 2020 111 845.7 30.04.2020

(71) Anmelder:

**Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden
e.V., 01069 Dresden, DE**

(74) Vertreter:

**Rauschenbach Patentanwälte
Partnerschaftsgesellschaft mbB, 01187 Dresden,
DE**

(72) Erfinder:

**Uhlig, Kai, 01109 Dresden, DE; Konze, Simon,
01127 Dresden, DE; Spickenheuer, Axel, 01307
Dresden, DE; Bittrich, Lars, 01307 Dresden, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

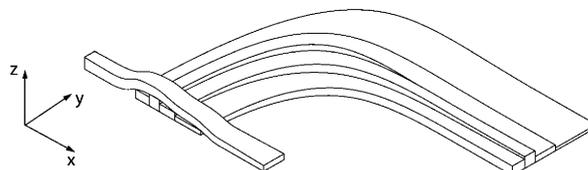
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung von Bauteilen aus Faser-Kunststoff-Verbunden und Bauteile aus Faser-Kunststoff-Verbunden**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Polymerchemie und betrifft ein Verfahren, welches beispielsweise für die Herstellung von Bauteilen der Orthopädietechnik eingesetzt werden kann.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist die Angabe eines kostengünstigen Verfahrens, mit dem lastfallangepasste Faserorientierungen in Bauteilen realisiert werden.

Die Aufgabe wird gelöst mit einem Verfahren, bei dem auf einem Substrat mittels 3D-Druck mindestens ein strangförmiges Kunststofffilament mit Faserverstärkung abgelegt wird, wobei die kontinuierliche Ablage innerhalb einer Einzelschicht in allen drei Raumrichtungen und hinsichtlich der Höhe und/oder Breite der strangförmigen Kunststofffilamente über ihre Länge frei wählbar ist, und/oder die Ablage in z-Richtung über die maximale Dicke der bereits abgelegten strangförmiger Kunststofffilamente kontinuierlich durchgeführt wird, wobei die kontinuierliche Ablage durch stufenlose Nachführung des Druckkopfes der 3D-Druckvorrichtung jeweils in normaler Richtung zur lokal vorhandenen Ablagefläche abhängig von der Oberflächengeometrie der jeweiligen Ablagefläche durchgeführt wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf die Gebiete der Polymerchemie und der Verfahrenstechnik und betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Bauteilen aus Faser-Kunststoff-Verbunden, welches beispielsweise für die Herstellung von Bauteilen der Orthopädietechnik, der Sportgerätetechnik oder für statisch und/oder dynamisch belastete Bauteile im Maschinenbau eingesetzt werden kann.

[0002] In vielen Bereichen der Technik werden heute bereits Faser-Kunststoff-Verbunde (FKV) eingesetzt. Ein Faser-Kunststoff-Verbund ist ein Werkstoff, bestehend aus Verstärkungsfasern und einer Kunststoffmatrix. Die Matrix umgibt die Fasern, die durch adhäsive Wechselwirkungen an den Kunststoff gebunden sind.

Faser-Kunststoff-Verbunde weisen in der Regel hohe spezifische Steifigkeiten und Festigkeiten auf. Dies macht sie zu geeigneten Werkstoffen in Leichtbauanwendungen. Aus Faser-Kunststoff-Verbunden werden überwiegend flächige Strukturen hergestellt.

[0003] Die mechanischen Eigenschaften von Faser-Kunststoff-Verbunden können über eine Vielzahl von Parametern eingestellt werden. Neben der Anwendung verschiedener Faser- und Kunststoffmaterialien können beispielsweise der Faserwinkel, der Faservolumenanteil, die Schichtreihenfolge und vieles mehr variiert werden (Wikipedia, Stichwort Faser-Kunststoff-Verbund).

[0004] In der konventionellen Faserverbundtechnik werden hauptsächlich flächige Faserhalbzeuge, wie Gewebe oder Gelege angewandt, die schichtweise übereinandergelegt werden, um eine gewisse Bauteildicke zu erzielen. Dabei ist die Faserorientierung innerhalb einer Schicht stets konstant. Diese Herangehensweise führt dazu, dass die Fasern nicht an allen Stellen des Bauteils belastungsgerecht orientiert sind und somit ein größerer Teil des möglichen Leichtbaupotenzials ungenutzt bleibt (C. Cherif, 2011, Textile Werkstoffe für den Leichtbau, Berlin, Springer; H. Schürmann, 2007, Konstruieren mit Faser-Kunststoff-Verbunden, 2. bearb. u. erw. Aufl. edition, London, Springer.).

[0005] Um Faser-Kunststoff-Verbunde mit einer sogenannten variabelaxialen Faserverstärkung herzustellen, wird heutzutage das Tailored Fiber Placement (TFP)-Verfahren angewandt. Bei diesem Verfahren werden sogenannte Rovings, worunter Verstärkungsfaserbündel aus einer Vielzahl parallel angeordneter Filamente verstanden werden, mittels eines Nähfadens im Zick-Zack-Stich auf einem flächigen Trägermaterial fixiert. Auf diese Weise können beliebige, auch sehr stark gekrümmte, Faserverläufe realisiert werden (K. Gliesche und D. Feltin, 1995, Technische Textilien/Technical Textiles, 38:209).

[0006] Basierend auf Ergebnissen von Finite Elemente Analysen (FEA) können Stickmusterdaten abgeleitet werden, die dann mittels des TFP-Verfahrens in eine textile Struktur, die sogenannte Preform, umgesetzt werden (A. Spickenheuer, 2014, Ph.D. thesis, Technische Universität Dresden, Fakultät Maschinenwesen). Anschließend erfolgt die Weiterverarbeitung dieser textilen Preform zu einem konsolidierten Bauteil mit den bekannten Verarbeitungstechnologien, wie dem Resin Transfer Molding (RTM) Verfahren und dem Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI) Verfahren, (www.hightex-dresden.de - Erläuterungen zur TFP-Technologie). Mit beiden Verfahren wird die textile Preform mit duromeren Matrixsystemen infiltriert und ausgehärtet. Die so hergestellten Bauteile weisen eine sehr hohe massenspezifische Steifigkeit und Festigkeit bei gleichzeitig sehr ressourcenschonendem Materialeinsatz auf.

[0007] Das TFP-Verfahren wurde für die Verarbeitung von trockenen, textilen Halbzeugen in Kombination mit duromeren Matrices entwickelt. Mit dem TFP-Verfahren lassen sich allerdings auch thermoplastische Materialien in Faserform verarbeiten. Die Konsolidierung, d. h. die Herstellung des Bauteils muss nachgelagert z. B. in einer Vakuumpresse erfolgen.

[0008] Alternativ wird auch das Verfahren Fused Deposition Modeling (FDM, deutsch: Schmelzschichtung), auch Fused Filament Fabrication (FFF) genannt, zur Herstellung von Bauteilen aus Faser-Kunststoff-Verbunden eingesetzt. Dieses Fertigungsverfahren ist aus dem Bereich des Rapid Prototyping bekannt, bei dem ein Bauteil schichtweise aus einem Thermoplast oder einem faserverstärkten Thermoplast aufgebaut wird. Das FDM- oder FFF-Verfahren gehört somit zu den 3D-Druckverfahren.

Im Gegensatz zum TFP-Verfahren, welches nur die Herstellung eines textilen Vorformlings ermöglicht, aus dem dann mit Hilfe einer Form ein Bauteil gefertigt wird, ermöglicht das FDM Verfahren die direkte Bauteilherstellung ohne weitere Hilfsmittel/Werkzeuge.

[0009] Beim FDM-Verfahren wird ein thermoplastisches Filament, ein faserverstärktes Thermoplastfilament oder ein Wachs in einer Heizeinheit aufgeschmolzen und durch eine Düse extrudiert. Das Material wird dann kontinuierlich jeweils zeilenweise auf eine Arbeitsebene aufgebracht, wobei das temporär verflüssigte Material somit in Schichten quasi „gestapelt“ auf einem Träger abgeschieden wird. Durch paralleles Verschieben der Arbeitsebene nach oben, entsteht so schichtweise das Bauteil (Wikipedia, Stichwort „Fused Deposition Modeling“).

[0010] Nachteilig bei diesen Lösungen ist, dass die Schichtdicken zwar in Höhenrichtung des Bauteils abschnittsweise verschieden eingestellt werden können, aber die Schichtdicke innerhalb einer Einzel-

schicht stets konstant bleiben muss. Kreuzungsstellen von endlosfaserverstärkten Materialsträngen sind somit innerhalb einer Schicht nicht realisierbar oder würden dazu führen, dass am Kreuzungspunkt ein Materialüberschuss entsteht, der nur seitlich innerhalb derselben Ebene entweichen kann.

[0011] Aufgrund dieser Bedingungen ist es nicht möglich, lastfallangepasste Faserstrukturen herzustellen, wie sie beispielsweise in der Natur im Baum oder Knochen zu finden sind oder wie sie aus Topologieoptimierungsverfahren resultieren.

Solche Strukturen erfordern in Zonen erhöhter Spannung eine spannungsäquivalente Faserkonzentration und damit eine lokal angepasste Orientierung mit entsprechender Erhöhung der Materialdicke.

[0012] Verfügbare Endlosfaser-3D-Drucker schneiden die Endlosfasern vor den Stellen, an denen eine Überschneidung mit anderen Fasern erfolgen würde, beispielsweise an einer Kreuzung der Fasern innerhalb einer Schicht, ab und setzen nach der Kreuzung die Fasern erneut an, wie dies beispielsweise bei kommerziell erhältlichen Druckern erfolgt. Eine weitere verbreitete Variante beim Endlosfaser-3D-Drucken ist, dass die Fasern vor dem eigentlichen Kreuzungspunkt seitlich weggeführt werden.

In beiden Fällen führt dies zu einer reduzierten Festigkeit und/oder Steifigkeit der Bauteilstruktur an der Kreuzung.

Mit den bekannten 3D-Druckern ist eine frei wählbare Orientierung der Faserverstärkung nicht möglich.

[0013] Derzeit wird eine nachweisbare Verstärkung von Bauteilen nur erreicht, indem die Verstärkungsfasern entlang der Bauteilkontur mittels FDM abgelegt werden. Bauteilinnere Füllflächen können zwar auch mit Endlosfaserverstärkung ausgeführt werden, jedoch nur in geordneten Rasterstrukturen und somit nicht beanspruchungsrecht.

[0014] Für die Weiterentwicklung von Faser-Kunststoff-Verbunden und damit der Erweiterung ihres Einsatzbereichs sind 3D-Druckverfahren notwendig, die während der Herstellung innerhalb des Bauteils zu einer frei definierbaren und ortsgenauen Einbettung der Fasern im Bauteil führen. Damit können die mechanischen Eigenschaften verbessert und gleichzeitig der Materialeinsatz und die Bauteilmasse weiter reduziert werden.

[0015] Die derzeit bekannten Lösungen des Standes der Technik von 3D-Druckverfahren erlauben keine direkte Herstellung von Bauteilen aus Faser-Kunststoff-Verbunden mit lastfallangepasster Faserorientierung und ressourceneffizienter Werkstoffnutzung.

[0016] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist die Angabe eines kostengünstigen Verfahrens zur Herstellung von hochperformanten Bauteilen aus Fa-

ser-Kunststoff-Verbunden, mit dem lastfallangepasste Faserorientierungen, sowie kontinuierliche Faserläufe und somit eine ressourceneffiziente Werkstoffnutzung in den Bauteilen realisiert wird.

[0017] Die Aufgabe wird durch die in den Ansprüchen angegebene Erfindung gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche, wobei die Erfindung auch Kombinationen der einzelnen Ansprüche im Sinne einer und-Verknüpfung mit einschließt, solange sie sich nicht gegenseitig ausschließen.

[0018] Mit den erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung von Bauteilen aus Faser-Kunststoff-Verbunden wird auf einem Substrat mittels 3D-Druck mindestens ein strangförmiges vernetz- und/oder aushärtbares und/oder vernetzendes und/oder aushärtendes Kunststofffilament mit Faserverstärkung abgelegt, wobei die Ablage des strangförmigen Kunststofffilamentes mit Faserverstärkung in Abhängigkeit vom herzustellenden Bauteil realisiert wird und innerhalb einer Einzelschicht in allen drei Raumrichtungen frei wählbar ist, und wobei die kontinuierliche Ablage der strangförmigen Kunststofffilamente mit oder ohne Faserverstärkung innerhalb einer Einzelschicht hinsichtlich der Höhe und/oder Breite der strangförmigen Kunststofffilamente über ihre Länge frei wählbar ist, und/oder wobei die Ablage des strangförmigen Kunststofffilamentes innerhalb einer Einzelschicht auch in z-Richtung über die maximale Dicke eines oder mehrerer bereits abgelegter strangförmiger Kunststofffilamente mit oder ohne Faserverstärkung hinaus im Wesentlichen kontinuierlich in im Wesentlichen tangentialer Richtung zur jeweils vorhandenen Ablagefläche durchgeführt wird, wobei die kontinuierliche Ablage der einzelnen strangförmigen Kunststofffilamente mit oder ohne Faserverstärkung in frei wählbaren Abmessungen hinsichtlich Höhe und/oder Breite und in frei wählbaren Positionen innerhalb einer Einzelschicht durch eine stufenlose Nachführung des Druckkopfes der 3D-Druckvorrichtung jeweils in normaler Richtung zur lokal vorhandenen Ablagefläche in allen drei Raumrichtungen, aber insbesondere in z-Richtung, realisiert wird, abhängig von der Oberflächengeometrie der jeweiligen Ablagefläche der abzulegenden Einzelschicht.

[0019] Vorteilhafterweise wird als Substrat ein beheiztes oder unbeheiztes Druckbett oder eine Druckplattform oder eine Bauplattform mit ebener oder einfach oder mehrfach gekrümmter Oberfläche oder ein Heizbett eines 3D-Druckers eingesetzt.

[0020] Weiterhin vorteilhafterweise werden als Faserverstärkung Glasfasern, Kohlenstofffasern, Aramidfasern, und/oder Basaltfasern, in Kurz- oder Langfaser- oder Endlosfaserbündelform eingesetzt.

[0021] Ebenfalls vorteilhafterweise werden als Kunststoffmaterial der Kunststofffilamente Thermoplaste und/oder Duromere und/oder Elastomere und/oder thermoplastische Elastomere eingesetzt.

[0022] Und auch vorteilhafterweise wird, sofern noch keine oder keine vollständige Vernetzung und/oder Aushärtung des Kunststoffmaterials während der Ablage erfolgt ist, das Kunststoffmaterial danach mindestens teilweise vernetzt und/oder ausgehärtet.

[0023] Vorteilhaft ist es auch, wenn die Ablage des strangförmigen Kunststofffilamentes mit Faserverstärkung in Abhängigkeit von der Beanspruchung des herzustellenden Bauteils realisiert wird, wobei noch vorteilhafterweise die Beanspruchung des herzustellenden Bauteils gemäß dem Lastfall des Bauteils entsprechend den Ergebnissen von Krafftfluss- und Spannungsberechnungen, die vorteilhafterweise durch die Finite-Elemente-Methode ermittelt worden sind, realisiert wird.

[0024] Weiterhin vorteilhaft ist es, wenn die kontinuierliche Ablage der strangförmigen Kunststofffilamente mit oder ohne Faserverstärkung innerhalb einer Einzelschicht hinsichtlich ihrer Höhe und/oder Breite über ihre Länge kontinuierlich oder diskontinuierlich veränderbar ist, wodurch die Ablage der strangförmigen Kunststofffilamente in Abhängigkeit von positionsgenauen Beanspruchungen des herzustellenden Bauteils realisiert wird.

[0025] Ebenfalls vorteilhaft ist es, wenn die kontinuierliche Ablage des strangförmigen Kunststofffilamentes innerhalb einer Einzelschicht in allen drei Raumrichtungen frei wählbar ist, wobei die Ablage der strangförmigen Kunststofffilamente mit mindestens einer teilweisen oder vollständigen Bedeckung eines Abschnittes eines oder mehrerer bereits abgelegten strangförmigen Kunststofffilamentes durch einen Abschnitt des gleichen oder eines anderen strangförmigen Kunststofffilamentes realisiert wird.

[0026] Und auch vorteilhaft ist es, wenn die Ablage des strangförmigen Kunststofffilamentes in z-Richtung über die maximale Dicke eines oder mehrerer bereits abgelegter strangförmiger Kunststofffilamente hinaus realisiert wird, wobei die jeweils örtlich und zeitlich vorhandene lokale Dickenverteilung der abgelegten strangförmigen Kunststofffilamente unmittelbar vor Ablage eines in im Wesentlichen tangentialer Richtung zur jeweils vorhandenen Ablagefläche abzulegenden strangförmigen Kunststofffilamentes ermittelt oder vor dessen Ablage berechnet wird, wobei noch vorteilhafterweise zur Ermittlung der lokalen Dickenverteilung eine integrierte, vorgelagerte, vorteilhafterweise optische, Vermessung der lokalen Dicke der bereits abgelegten strangförmigen Kunststofffilamente durchgeführt wird, und/oder wobei noch vorteilhafterweise die Berechnung der loka-

len Dickenverteilung in Abhängigkeit von den Materialien und der beanspruchungsgerechten Form des herzustellenden Bauteils durchgeführt wird.

[0027] Von Vorteil ist es auch, wenn die Ablage des mindestens einen strangförmigen Kunststofffilamentes in allen drei Raumrichtungen kontinuierlich, insbesondere auch in z-Richtung und hinsichtlich der Ablage in im Wesentlichen tangentialer Richtung zur jeweils vorhandenen Ablagefläche durchgeführt wird.

[0028] Ebenfalls von Vorteil ist es, wenn als Ablagefläche die Substratoberfläche und/oder die Oberfläche bereits abgelegter strangförmiger Kunststofffilamente einer anderen oder der gleichen Einzelschicht angesehen wird.

[0029] Weiterhin von Vorteil ist es, wenn zur Realisierung einer Ablage eines strangförmigen Kunststofffilamentes in allen drei Raumrichtungen die translatorischen und rotatorischen Freiheitsgrade des Druckkopfs eines 3D-Druckers jeweils in allen drei Raumrichtungen in Bezug auf die Substratoberfläche oder in Bezug auf eine bereits abgelegte Einzelschicht oder in Bezug auf die aktuell abzulegende Einzelschicht geführt wird.

[0030] Und auch von Vorteil ist es, wenn die stufenlose Nachführung des Druckkopfes der 3D-Druckvorrichtung innerhalb einer Einzelschicht jeweils in normaler Richtung zur jeweils vorhandenen Ablagefläche in allen drei Raumrichtungen in Bezug auf die Substratoberfläche oder in Bezug auf eine bereits abgelegte Einzelschicht oder in Bezug auf die aktuell abzulegende Einzelschicht geführt wird.

[0031] Die erfindungsgemäßen Bauteile aus Faser-Kunststoff-Verbunden, die mittels 3D-Druck hergestellt sind, sind aus mindestens zwei übereinander angeordneten Einzelschichten oder Bereichen, die mindestens teilweise aus strangförmigen Kunststofffilamenten mit Faserverstärkung gebildet, wobei die strangförmigen Kunststofffilamente mit Faserverstärkung im Wesentlichen beanspruchungsgerecht gemäß dem Lastfall des Faser-Kunststoff-Verbund-Bauteils abgelegt sind und innerhalb des Bauteils und/oder innerhalb einer Einzelschicht oder Bereiches und/oder innerhalb eines strangförmigen Kunststofffilamentes variable Abmessungen in allen drei Raumrichtungen vorhanden sind und der Kunststoff mindestens teilweise vernetzt und/oder ausgehärtet ist.

[0032] Vorteilhafterweise sind innerhalb des Bauteils und/oder innerhalb einer Einzelschicht oder Bereiches und/oder innerhalb eines strangförmigen Kunststofffilamentes variable Abmessungen insbesondere in z-Richtung vorhanden, wobei noch vorteilhafterweise die Bauteile aus Faser-Kunststoff-Verbunden, bestehend aus Einzelschichten oder Berei-

chen, verschiedene Thermoplastfilamente mit oder ohne einzelschicht- oder bereichsweise angeordneten Zusätzen von Verstärkungsfasern, Glasfasern, Kohlenstofffasern, elektrisch und/oder thermisch leitendem Material, elektrisch und/oder thermisch isolierendem Material aufweisen.

[0033] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wird es erstmals möglich, ein kostengünstiges Verfahren zur Herstellung von hochperformanten Bauteilen aus Faser-Kunststoff-Verbunden anzugeben, mit dem lastfallangepasste Faserorientierungen sowie kontinuierliche Faserverläufe und somit eine ressourceneffiziente Werkstoffnutzung in den Bauteilen realisiert wird.

[0034] Erreicht wird dies durch ein Verfahren zur Herstellung von Bauteilen aus Faser-Kunststoff-Verbunden, bei dem mindestens ein strangförmiges vernetz- und/oder aushärtbares und/oder vernetzendes und/oder aushärtendes Kunststofffilament mit Faserverstärkung, im Wesentlichen beanspruchungsgerecht gemäß dem Lastfall des Bauteils mittels 3D-Druck abgelegt wird.

[0035] Als Substrat wird vorteilhafterweise ein beheiztes oder unbeheiztes Druckbett, eine Druckplattform, eine Bauplattform mit ebener oder einfach oder mehrfach gekrümmter Oberfläche oder ein Heizbett von 3D-Druckern eingesetzt.

[0036] Besonders vorteilhaft ist erfindungsgemäß, dass das Ablegen des strangförmigen Kunststofffilamentes mit Faserverstärkung gemäß dem Lastfall des Faser-Kunststoff-Verbund-Bauteils entsprechend den Ergebnissen von Kraftfluss- und Spannungsberechnungen, die vorteilhafterweise durch die Finite-Elemente-Methode ermittelt worden sind, realisiert wird.

[0037] Vorteilhafterweise werden die Ergebnisse der Finite-Elemente-Analyse vollautomatisch bei der Herstellung der erfindungsgemäßen Bauteile eingesetzt, um mechanisch belastbare und lastfallangepasste Bauteile mit möglichst geringem Materialeinsatz herzustellen, um eine möglichst ressourceneffiziente Werkstoffnutzung zu realisieren.

[0038] Als Kunststoffmaterialien können vorteilhafterweise sowohl klassische Thermoplaste, Duromere, Elastomere und/oder thermoplastische Elastomere eingesetzt werden. Die eingesetzten Kunststoffmaterialien können während oder unmittelbar nach der Ablage teilweise oder vollständig vernetzen und/oder aushärten. Sofern noch keine oder keine vollständige Vernetzung und/oder Aushärtung des Kunststoffmaterials während oder unmittelbar nach der Ablage erfolgt ist, kann das Kunststoffmaterial nachfolgend mindestens teilweise vernetzt und/oder ausgehärtet werden.

[0039] Zu beachten ist, dass im Rahmen der vorliegenden Erfindung die Kunststofffilamente mit oder ohne Faserverstärkung ein Halbzeug sind, das dem Druckkopf eines 3D-Drucker zugeführt wird. Das Kunststofffilament wird dann durch die Düse des Druckers, der das Filament über die Schmelztemperatur erhitzt hat, als Strang ausgetragen.

[0040] Diese Kunststoffmaterialien werden mit Verstärkungsfasern, wie Glasfasern, Kohlenstofffasern, Aramidfasern und/oder Basaltfasern, in Kurz- oder Langfaser- oder Endlosfaserbündelform kombiniert und in dem 3D-Druckkopf über die Schmelztemperatur erhitzt und als Strang auf dem Substrat, wie einem Druckbett eines 3D-Druckers, abgelegt. Durch die Verstärkungsfasern werden die mechanischen Eigenschaften des Verbundbauteils, wie beispielsweise Elastizitätsmodul und Festigkeit in Ablagerichtung im Vergleich zu einem Bauteil aus reinem Kunststoff, wie einem Thermoplast, signifikant gesteigert.

[0041] Die Positionierung der Kunststoffmaterialien insbesondere mit Faserverstärkung, dies heißt, der Ablageort und der Ablagewinkel, und die Orientierung der Kunststofffilamente mit Faserverstärkung erfolgt vorteilhafterweise gemäß den Ergebnissen von Finite-Elemente-Analysen, die beispielsweise dem Ziel, ein steifigkeitsoptimiertes Bauteil herzustellen, dienen können.

[0042] Diese Verfahrensschritte sind nach dem Stand der Technik an sich bekannt.

[0043] Neu und erfindungswesentlich für die vorliegende Erfindung ist aber, dass strangförmige Kunststofffilamente mit Faserverstärkung im Wesentlichen beanspruchungsgerecht gemäß dem Lastfall des Bauteils mittels 3D-Druck abgelegt werden und die kontinuierliche Ablage innerhalb einer Einzelschicht und/oder hinsichtlich der Abmessungen der strangförmigen Kunststofffilamente in allen drei Raumrichtungen frei wählbar durchgeführt wird, wobei die kontinuierliche Ablage der strangförmigen Kunststofffilamente mit oder ohne Faserverstärkung innerhalb einer Einzelschicht hinsichtlich der Höhe und/oder Breite der strangförmigen Kunststofffilamente über ihre Länge frei wählbar durchgeführt wird, insbesondere auch in z-Richtung über die maximale Dicke der jeweiligen Ablagefläche der abzulegenden Einzelschicht eines oder mehrerer bereits abgelegter strangförmiger Kunststofffilamente mit oder ohne Faserverstärkung hinaus im Wesentlichen kontinuierlich in im Wesentlichen tangentialer Richtung zur jeweils vorhandenen Ablagefläche durchgeführt wird.

[0044] Dies heißt, dass die Ablage der strangförmigen Kunststofffilamente nur in jeweils einer Raumrichtung, aber auch in jeweils in zwei oder drei Raumrichtungen translatorisch und rotatorisch gleichzeitig frei wählbar durchgeführt werden kann. Dabei ist von

Bedeutung, dass die Ablage im Wesentlichen kontinuierlich realisiert wird, also eine fortlaufende Ablage eines Strangs in den gewünschten Raumrichtungen erfolgen kann.

[0045] Weiterhin ist es für die vorliegende Erfindung von Bedeutung, dass bei dem erfindungsgemäßen Verfahren mindestens ein strangförmiges vernetz- und/oder aushärtbares und/oder vernetzendes und/oder aushärtendes Kunststoff filament mit Faserverstärkung abgelegt wird. Es können schicht- und/oder bereichsweise strangförmige vernetz- und/oder aushärtbare und/oder vernetzende und/oder aushärtende Kunststoff filamente auch ohne Faserverstärkung abgelegt werden, jedoch ist insbesondere die Ablage von Kunststoff filamenten mit Faserverstärkung in den Einzelschichten und übereinander erfindungsgemäß von besonderer Bedeutung. Alle Angaben von Kunststoff filamenten in der vorliegenden Erfindung, bei denen keine Angabe der Faserverstärkung vorhanden ist, beziehen sich auf Kunststoff filamente mit Faserverstärkung, wobei schicht- und/oder bereichsweise auch Kunststoff filamente ohne Faserverstärkung vorhanden sein können.

Ebenso enthält das erfindungsgemäße Bauteil auch mindestens strangförmige Kunststoff filamente mit Faserverstärkung.

[0046] Von ebenfalls besonderer Bedeutung ist, dass die kontinuierliche Ablage der strangförmigen Kunststoff filamente hinsichtlich ihrer Höhe und/oder Breite über ihre Länge frei wählbar ist. Dies bedeutet, dass innerhalb einer Einzelschicht ein Strang eines strangförmigen Kunststoff filamentes mit oder ohne Faserverstärkung sowohl in seiner Höhe als auch in seiner Breite unterschiedliche Abmessungen über seine Länge aufweisen kann. Beispielsweise können die Stränge höher/dicker und schmaler werden oder dünner und breiter. Dies kann realisiert werden, indem der Abstand der Düse des 3D-Druckers zur Substratoberfläche variiert wird.

[0047] Die Bereiche unterschiedlicher Höhe und/oder Breite der Stränge der strangförmigen Kunststoff filamente können über die Länge der abgelegten strangförmigen Kunststoff filamente verändert werden, so dass innerhalb eines abgelegten Stranges eines strangförmigen Kunststoff filamentes unterschiedliche Querschnittsformen eines Stranges bei gleicher Querschnittsfläche vorliegen können.

[0048] Durch diese Verfahrensvariante des erfindungsgemäßen Verfahrens kann neben der bereits gut realisierbaren beanspruchungsgerechten Ablage von strangförmigen Kunststoff filamenten in Abhängigkeit von der Beanspruchung des herzustellenden Bauteils durch querschnittsvariable Ablage der strangförmigen Kunststoff filamente an den Bauteilbereichen mit höherer Beanspruchung z.B. eine lokal konzentriertere Ablage von strangförmigen Kunst-

stoff filamenten mit Faserverstärkung und damit ein lokale Aufdickung der Struktur unter Beibehaltung einer kontinuierlichen Strangablage realisiert werden, was eine beanspruchungsgerechtere Positionierung der Faserverstärkung darstellt.

[0049] Weiterhin ist erfindungsgemäß von Bedeutung, dass die kontinuierliche Ablage der strangförmigen Kunststoff filamente innerhalb einer Einzelschicht auch in z-Richtung über die maximale Dicke eines oder mehrerer bereits abgelegter strangförmiger Kunststoff filamente mit oder ohne Faserverstärkung hinaus im Wesentlichen kontinuierlich in im Wesentlichen tangentialer Richtung zur jeweils vorhandenen Ablagefläche durchgeführt wird, indem der Druckkopf in Normalenrichtung zur lokal vorhandenen Ablagefläche nachgeführt wird.

Dies heißt, dass der Strang in Abhängigkeit von der Oberflächengeometrie der jeweiligen Ablagefläche in im Wesentlichen tangentialer Richtung abgelegt wird. Die jeweilige Ablagefläche kann ein Substrat oder eine oder mehrere bereits vorher abgelegte Einzelschichten sein.

Unter einer Einzelschicht soll erfindungsgemäß eine Schicht verstanden werden, die in allen drei Raumrichtungen unterschiedlich ausgebildet sein kann. Dies bedeutet, dass eine erfindungsgemäße Einzelschicht in Länge und Breite nicht vollflächig ausgefüllt sein muss, sondern auch nur durch einen oder mehrere Stränge der strangförmigen Kunststoff filamente mit oder ohne Faserverstärkung gebildet worden sein kann. Ebenso kann bei der erfindungsgemäß abgelegten Einzelschicht die Oberflächengeometrie ungleich sein, so dass die Oberfläche uneben oder „gebirgsähnlich“ ausgebildet sein kann.

[0050] Wenn die Oberflächengeometrie des Substrates oder bereits abgelegter Einzelschichten, die die Ablagefläche für die nächste Einzelschicht bilden, uneben ist, dann wird erfindungsgemäß immer die Ablagefläche, auf den der jeweilige Strang abgelegt werden soll, für die Ermittlung der im Wesentlichen tangentialen Richtung und der stufenlosen Druckkopfnachführung in normaler Richtung zur lokal vorhandenen Ablagefläche herangezogen. Wenn beispielsweise bereits strangförmige Kunststoff filamente auf einem Substrat abgelegt sind, dann sind ebene und unterschiedlich schräge Oberflächengeometrien der Ablageflächen vorhanden. Erfindungsgemäß wird durch die translatorischen und rotatorischen Freiheitsgrade des Druckkopfs eines 3D-Druckers somit nicht nur die im Wesentlichen tangentiale Ablage von strangförmigen Kunststoff filamenten in allen drei Raumrichtungen ermöglicht, sondern gleichzeitig auch eine immer im Wesentlichen tangentiale Ablage des Stranges in Bezug auf die jeweilige Oberflächengeometrie der Ablagefläche.

[0051] Ebenso kann mit Hilfe einer integrierten, vorgelagerten, vorteilhafterweise optischen, Vermes-

sung der lokalen Dicke der bereits vorher abgelegten Schicht oder strangförmigen Kunststofffilamente die senkrecht zur Substratoberfläche orientierte Z-Achse des Druckkopfes für die Ablage der folgenden Schicht der strangförmigen Kunststofffilamente lokal entsprechend der Vermessung in ihrer Höheneinstellung gegenüber der bereits abgelegten Schicht und auch in normaler Richtung verändert werden, um an jeder Stelle den idealen Abstand und Richtung des Druckkopfes zur Substratoberfläche sicherzustellen, um die definierte Querschnittsform des Strangs bei der Ablage zu erzeugen.

Basierend auf einer softwaretechnischen Berechnung der einzelnen Schichtdicken kann vorteilhafterweise ein Maschinencode erzeugt werden und entsprechend dem Maschinencode kann die Z-Achse des Druckkopfes senkrecht und/oder in normaler Richtung zur Substratoberfläche oder zur Oberfläche vorher abgelegter Einzelschichten während des Drucks kontinuierlich entsprechend der berechneten lokalen Schichtdickenhöhe verändert werden.

[0052] Der wesentliche Inhalt der erfindungsgemäßen Verfahrensweise ist einerseits eine kontinuierliche Ablage der Kunststofffilamente mit Faserverstärkung in einer Schichtebene, wodurch auch bereits vorhandene abgelegte Kunststofffilamente aus vorher abgelegten Schichten ohne Unterbrechungen überfahren und weitere Kunststofffilamente darauf abgelegt werden. Daher muss an diesen „Kreuzungen“ die senkrecht zur Substratoberfläche orientierte Z-Achse des Druckkopfes in ihrer Höheneinstellung und in ihrer Normalenrichtung gegenüber der abgelegten Schicht, vorteilhafterweise kontinuierlich, verändert werden. Ebenso ist eine Schwenkung des Druckkopfes dann vorteilhaft, da beim Überfahren von bereits abgelegten Schichten die Ablage des Stranges immer möglichst in normaler Richtung zu der Ablagefläche erfolgen muss.

[0053] Kreuzungsstellen werden also erfindungsgemäß realisiert, indem das neu abzulegende Kunststofffilament in kontinuierlicher Art und Weise wie eine Brücke mit direktem Kontakt auf die darunterliegenden Kunststofffilamente oder das Druckbett aufgedruckt werden.

[0054] Der weitere wesentliche Inhalt der erfindungsgemäßen Verfahrensweise besteht darin, dass bei der kontinuierlichen Ablage der strangförmigen Kunststofffilamente über ihre Länge auch die Querschnittshöhe und -breite veränderbar und frei wählbar und kontinuierlich oder diskontinuierlich veränderbar realisiert werden kann.

[0055] Auf die erfindungsgemäße Art und Weise werden im erfindungsgemäßen Bauteil Bereiche realisiert, die in der Dicke und Breite um ein Vielfaches zu benachbarten Bereichen variieren können.

Weiter wird mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erreicht, dass ein Schneiden der Fasern unnötig ist und die Bauteilstruktur des erfindungsgemäßen Bauteils nicht geschwächt wird. Somit bleibt eine kontinuierliche Ablage der Kunststofffilamente erhalten, wodurch die Eigenschaften des fertigen Faser-Kunststoff-Verbund-Bauteils verbessert werden.

[0056] Durch das erfindungsgemäße Verfahren ist die reproduzierbare und kostengünstige Herstellung eines Bauteils aus Faser-Kunststoff-Verbunden mit kontinuierlicher Ablage der Stränge und insbesondere der Ablage von Strängen mit Faserverstärkung ohne Schnitt der Stränge und insbesondere der Verstärkungsfasern innerhalb einer Ablage-Einzelschicht und durch Realisierung variabler Querschnitte der abgelegten Stränge beanspruchungsrecht möglich.

[0057] Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird es erstmals möglich, die Schichtdicken innerhalb einer Einzelschicht zu variieren. Damit ist auch eine partielle Orientierung der Verstärkungsfasern in Dickenrichtung bei der Ablage mehrerer Schichten möglich.

[0058] Vorteilhafterweise ist erfindungsgemäß die Fertigung von Bauteilen mit variabelaxialer Faserverstärkung in einer Kunststoffmatrix realisierbar.

[0059] Erfindungsgemäß sind stark lastfalloptimierte Bauteile aus Faser-Kunststoff-Verbunden, die bisher grundsätzlich nur mittels TFP-Verfahren herstellbar waren, auch mittels 3D-Druck-Verfahren, insbesondere mittels FDM-Verfahren, realisierbar. Besonders vorteilhaft ist am erfindungsgemäßen Verfahren, dass die hergestellten Bauteile aus Faser-Kunststoff-Verbunden nach dem erfolgten 3D-Druckprozess bereits vollständig konsolidiert vorliegen können, wenn beispielsweise als Kunststoffe Thermoplaste oder thermoplastische Elastomere eingesetzt werden.

[0060] Ebenso ist es vorteilhafterweise möglich, die erfindungsgemäß hergestellten Bauteile aus Faser-Kunststoff-Verbunden nachzupressen, um die Oberfläche der Bauteile zu bearbeiten oder zu glätten, sowie um die Fasern nochmals zu kompaktieren, um so höhere Faservolumenanteile zu erzielen.

[0061] Durch die erfindungsgemäße Lösung wird eine Ressourceneffizienz realisiert, die mit den Lösungen des Standes der Technik nicht erreichbar ist, da zur Ermöglichung einer Kreuzungsstelle ohne die erfindungsgemäße Lösung freie Stellen der vorherigen Druckschicht zunächst mit Thermoplast gefüllt/bedruckt werden müssen, um in der folgenden Schicht wieder auf einer ebenen Fläche weiterdrucken zu können. Dadurch wird ein deutlich höherer Einsatz an Thermoplastflächen/-volumina benö-

tigt, der außerdem auch nicht oder nur geringfügig zur Verbesserung des mechanischen Verhaltens des Bauteils beiträgt.

[0062] Erst durch die erfindungsgemäße Lösung bezüglich des Herstellungsverfahrens und der Bauteile können für das mechanische Bauteilverhalten unbenötigte Thermoplastflächen/-volumina eingespart und Ressourcen effektiver genutzt werden.

[0063] Das erfindungsgemäße Verfahren ist auch automatisierbar, vorteilhafterweise lassen sich die Verfahrensschritte vollautomatisch und/oder in einer Maschine durchführen.

[0064] Ein besonderer Vorteil der erfindungsgemäßen Bauteile besteht darin, dass eine variabelaxiale Faserorientierung basierend auf Verstärkungsfasern in der Kunststoffmatrix überhaupt herstellbar und beanspruchungsgerecht herstellbar ist.

[0065] Die erfindungsgemäßen Bauteile weisen insbesondere eine verbesserte Steifigkeit und Festigkeit gegenüber vergleichbaren 3D-Druck-Bauteilen des Standes der Technik auf.

[0066] Die Bauteile aus Faser-Kunststoff-Verbunden sind beispielsweise in Orthesen, bei Sportgeräten oder statisch und/oder dynamisch belasteten Bauteilen einsetzbar.

[0067] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wird durch die stufenlose Nachführung des Druckkopfs in Dicken-/z-Richtung und Normalenrichtung erfindungsgemäß erreicht, dass unter anderem

- die Faserverstärkung an Kreuzungsstellen nicht unterbrochen werden muss. Je nach gewählter Faserablagestrategie sind Festigkeitssteigerungen der Struktur weit über 50% möglich.
- die Querschnittsformen abgelegter Stränge mit oder ohne Faserverstärkung in Höhe und Breite über die Länge variabel gestaltet werden können, was zu belastungsgerechteren Strukturen führt.
- mit einer geringeren Menge der teuren Verstärkungsfaserkomponenten dieselbe Bauteilsteifigkeit und -festigkeit erzielt werden kann, wie nach dem Stand der Technik bisher möglich.
- mit einer gleichen Menge an teuren Verstärkungsfaserkomponenten eine höhere Bauteilsteifigkeit und -festigkeit erzielt werden kann, wie nach dem Stand der Technik bisher möglich.
- es nicht notwendig ist, die vorige Schicht an Kreuzungsstellen mit thermoplastischem Material aufzufüllen, was notwendig wäre, um Kreuzungsstellen mittels der bekannten Verfahren mit konstanter Schichtdicke herstellen zu können.

nen. Dieses nach dem Stand der Technik zur Auffüllung notwendige thermoplastische Material wird nur im Herstellprozess als Stütze benötigt und trägt nicht maßgeblich zum Tragverhalten der Struktur nach dem Stand der Technik bei. Es kann damit für erfindungsgemäß hergestellte Bauteile thermoplastisches Material insgesamt eingespart werden, da dieses Material lediglich die Bauteilmasse erhöht, was dem Ziel einer konsequenten Leichtbauweise entgegensteht.

[0068] Nachfolgend wird die Erfindung an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert. Dabei zeigt:

Fig. 1 ein erfindungsgemäßes Bauteil als generische Mitchell Struktur mit Darstellung der inneren Bauteilbeanspruchung (Bild a), Realisierung von Verstärkungsfaserverläufen mit etablierten Verfahren (Bild b) und Realisierung der Verstärkungsfaserverläufe mit dem erfindungsgemäßen Verfahren (Bild c).

Fig. 2 einen Ausschnitt eines erfindungsgemäßen Bauteils mit gekrümmter Ablage mehrerer strangförmiger Kunststofffilamente mit Faserverstärkung in unterschiedlicher Querschnittshöhe und -breite über die Länge der Kunststofffilamentstränge, sowie einen weiteren Strang, der über die bereits abgelegten Stränge abgelegt ist und der einen variablen Querschnitt und eine auf Basis des lokal vorhandenen Dickenprofils der bereits abgelegten Stränge angepasste Ablagehöhe in isometrischer Ansicht zeigt

Fig. 2 a Ansicht von **Fig. 2** in x-y-Darstellung

Fig. 2 b Ansicht von **Fig. 2** in x-z-Darstellung

Fig. 2 c Ansicht von **Fig. 2** in y-z-Darstellung

Beispiel 1

[0069] In **Fig. 1** ist die Draufsicht einer sogenannten Mitchell Struktur dargestellt. Dabei handelt es sich um eine generische strebenartige Struktur, deren linke Kante fest eingespannt ist und deren Spitze rechts mit einer Kraft nach unten belastet wird.

[0070] Das Bild 1a verdeutlicht, welche Belastungen in den jeweiligen Streben vorherrschen. Die Streben sind entweder auf Zug oder Druck beansprucht, weshalb, im Falle einer Faserverstärkung, diese so ausgelegt werden sollte, dass die hochbeanspruchbare Faserlängsrichtung sich an den jeweiligen Strebenkonturen orientiert.

[0071] Hergestellt wird die gezeigte Mitchell Struktur im 3D-Druckverfahren mit Endlosfaserbündeln aus Kohlenstofffasern und PETG als thermoplastisches Matrixmaterial. Durch Aufschmelzen des Thermoplasts bei 240°C im Druckkopf, gehen die beiden Materialien einen Verbund ein und ergeben so bei

der Ablage durch den Druckkopf ein strangförmiges Kunststofffilament mit Faserverstärkung. Das Bauteil mit den äußeren Abmessungen 14 cm Breite und 24 cm Länge wird auf einem ebenen, auf 80°C beheiztes Druckbett und einer Druckgeschwindigkeit von 30 mm/s aufgebaut.

[0072] Im Bild 1b ist dargestellt, wie die Faserorientierungen im Druckprozess nach dem aktuellen Stand der Technik realisiert werden. Die Höhenkoordinate des Druckkopfs ist innerhalb einer Druckschicht stets konstant. Aus diesem Grund kann, mit Ausnahme der Außenkontur des Bauteils, keine Kreuzungsstelle derart realisiert werden, dass die Ströben einen durchgehenden Faserverlauf aufweisen, was sich drastisch auf Steifigkeit und Festigkeit der Struktur auswirkt. In betreffenden Stellen sind die Fasern bei gegebener Belastung dadurch zum Teil auf Querkzug belastet, bei denen die Festigkeit des Faserverbunds einen Bruchteil von der in Faserlängsrichtung aufweist. Des Weiteren ist ersichtlich, dass die endlosfaserverstärkten Stränge im Bereich von Bauteilinnenkonturen nur so realisierbar sind, dass sich an einer Stelle der Konturumrandung ein Faserschnitt befindet, welcher die Struktur mechanisch weiter schwächt.

[0073] Bild 1c zeigt die Realisierung des Verstärkungsfaserverlaufs mit dem erfindungsgemäßen Verfahren. Durch die Nachführung des Druckkopfs in Dicken-/z-Richtung über bereits zuvor abgelegte Stränge wird es ermöglicht die Verstärkung mit Endlosfasern auch über Kreuzungsstellen hinaus kontinuierlich auszuführen, was bei Einbringung derselben Fasermenge wie nach dem Stand der Technik gemäß Bild 1b zu einer Festigkeitssteigerung von 50% führt.

[0074] Alternativ ist es auch möglich, im Vergleich zur Lösung nach dem Stand der Technik gemäß Bild 1b, unter Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß Bild 1c, eine geringere Fasermenge einzusetzen, um vergleichbare Bauteilsteifigkeit und -festigkeit zu erzielen, wie mit der Lösung nach dem Stand der Technik gemäß Bild 1b.

[0075] Durch die erfindungsgemäße Strangablage, entstehen bereichsweise im Bauteil gemäß Bild 1c unterschiedliche Dicken, die charakteristisch für das erfindungsgemäße Verfahren sind. Dadurch sind auch erfindungsgemäß nahezu keine Schnitte der Fasern notwendig, was ein weiterer Grund für die Erhöhung der mechanischen Kennwerte darstellt.

Beispiel 2

[0076] In Fig. 2 ist schematisch ein Ausschnitt eines Bauteils dargestellt, aus dem hervorgeht, wie die Ablage von strangförmigen Kunststofffilamenten mit Faserverstärkung mit variablen Ablagequerschnitten erfolgt ist. Die Schnitte an den Strangenden in Fig. 2

sind gesetzt, um die jeweiligen Querschnitte der Stränge sichtbar zu machen. Die Herstellung ist aber kontinuierlich ohne Schnitte der Stränge durchgeführt worden. Als Kunststoff ist der Thermoplast PETG vorhanden und als Verstärkungsfasern kommen Kohlenstofffasern zum Einsatz.

In der x-y-Ansicht der Struktur (Fig. 2a) ist zu sehen, wie die Breiten der fünf abgelegten Stränge über ihre Länge verändert vorliegen. Das Ausgangsmaterial der strangförmigen Kunststofffilamente mit Faserverstärkung, welches aus dem Druckkopf austritt, besitzt eine Querschnittsfläche von 1,5 mm². Durch Variation der Ablagehöhe durch kontinuierliche Änderung der Höhe des Druckkopfes über der Ablagefläche wird die Ablagebreite der einzelnen Stränge beeinflusst. Die Querschnittsänderung ist nachfolgend exemplarisch am oberen Strang der x-y-Ansicht von Fig. 2a erläutert. Auf der rechten Seite weist der Strang eine Höhe von 0,3 mm und eine Breite von 5 mm auf. Nach unten links hin verändert sich dieser Querschnitt kontinuierlich auf 1 mm Höhe und 1,5 mm Breite. Dabei entspricht die Querschnittsfläche des Strangs über die Ablagelänge stets 1,5 mm². Die kontinuierliche Nachführung des Druckkopfes in Dickenrichtung und damit Normalenrichtung bei der Strangablage führt demnach zu einer lokalen Aufdickung oder Verdünnung der jeweiligen Einzelstränge und, im Falle benachbarter und übereinander liegender Stränge, zur Aufdickung oder Verdünnung der lokalen Bauteildicke, so dass das Bauteil gezielt lokal durch eine Aufdickung versteift wird. Eine Variation der Querschnitte ist auch bei den anderen abgebildeten Strängen zu sehen. Die Querschnittsänderung erfolgt ohne Schnitte der faserverstärkten Stränge. Nach Fertigstellung der ersten Einzelschicht, in Fig. 2 in Form der 4 Einzelstränge, wird der erste Strang der nächsten Schicht abgelegt. Dabei wird die aktuell vorliegende lokale maximale Höhe der bereits abgelegten Stränge der ersten Einzelschicht vermessen und für die Ablage der nächsten Schicht berücksichtigt. So wird durch kontinuierliche translatorische und rotatorische Nachführung des Druckkopfs in allen 3 Raumachsen in jeweils Normalenrichtung zur jeweiligen Ablagefläche neben der zuvor beschriebenen Querschnittsänderung des abgelegten Strangs außerdem auch eine Art Brücke tangential auf die anderen Stränge gelegt. Eine Faserablage auf diese erfindungsgemäße Art ermöglicht im Vergleich zum Stand der Technik die Fertigung beanspruchungsgerechterer Strukturen, da lokale Aufdickungen oder Verdünnungen möglich sind, ohne dabei Stränge und insbesondere Verstärkungsfasern durchtrennen zu müssen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Bauteilen aus Faser-Kunststoff-Verbunden, bei dem auf einem Substrat mittels 3D-Druck mindestens ein strangförmiges vernetz- und/oder aushärtbares und/oder ver-

netzendes und/oder aushärtendes Kunststofffilament mit Faserverstärkung abgelegt wird, wobei die Ablage des strangförmigen Kunststofffilamentes mit Faserverstärkung in Abhängigkeit vom herzustellenden Bauteil realisiert wird und innerhalb einer Einzelschicht in allen drei Raumrichtungen frei wählbar ist, und wobei die kontinuierliche Ablage der strangförmigen Kunststofffilamente mit oder ohne Faserverstärkung innerhalb einer Einzelschicht hinsichtlich der Höhe und/oder Breite der strangförmigen Kunststofffilamente über ihre Länge frei wählbar ist, und/oder wobei die Ablage des strangförmigen Kunststofffilamentes innerhalb einer Einzelschicht auch in z-Richtung über die maximale Dicke eines oder mehrerer bereits abgelegter strangförmiger Kunststofffilamente mit oder ohne Faserverstärkung hinaus im Wesentlichen kontinuierlich in im Wesentlichen tangentialer Richtung zur jeweils vorhandenen Ablagefläche durchgeführt wird, wobei die kontinuierliche Ablage der einzelnen strangförmigen Kunststofffilamente mit oder ohne Faserverstärkung in frei wählbaren Abmessungen hinsichtlich Höhe und/oder Breite und in frei wählbaren Positionen innerhalb einer Einzelschicht durch eine stufenlose Nachführung des Druckkopfes der 3D-Druckvorrichtung jeweils in normaler Richtung zur lokal vorhandenen Ablagefläche in allen drei Raumrichtungen, aber insbesondere in z-Richtung, realisiert wird, abhängig von der Oberflächengeometrie der jeweiligen Ablagefläche der abzulegenden Einzelschicht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem als Substrat ein beheiztes oder unbeheiztes Druckbett oder eine Druckplattform oder eine Bauplattform mit ebener oder einfach oder mehrfach gekrümmter Oberfläche oder ein Heizbett eines 3D-Druckers eingesetzt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem als Faserverstärkung Glasfasern, Kohlenstofffasern, Aramidfasern, und/oder Basaltfasern, in Kurz- oder Langfaser- oder Endlosfaserbündelform eingesetzt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem als Kunststoffmaterial der Kunststofffilamente Thermoplaste und/oder Duomere und/oder Elastomere und/oder thermoplastische Elastomere eingesetzt werden.

5. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem sofern noch keine oder keine vollständige Vernetzung und/oder Aushärtung des Kunststoffmaterials während der Ablage erfolgt ist, das Kunststoffmaterial danach mindestens teilweise vernetzt und/oder ausgehärtet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Ablage des strangförmigen Kunststofffilamentes mit Faserverstärkung in Abhängigkeit von der Beanspruchung des herzustellenden Bauteils realisiert wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem die Beanspruchung des herzustellenden Bauteils gemäß dem Lastfall des Bauteils entsprechend den Ergebnissen von Krafftfluss- und Spannungsberechnungen, die vorteilhafterweise durch die Finite-Elemente-Methode ermittelt worden sind, realisiert wird.

8. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die kontinuierliche Ablage der strangförmigen Kunststofffilamente mit oder ohne Faserverstärkung innerhalb einer Einzelschicht hinsichtlich ihrer Höhe und/oder Breite über ihre Länge kontinuierlich oder diskontinuierlich veränderbar ist, wodurch die Ablage der strangförmigen Kunststofffilamente in Abhängigkeit von positionsgenauen Beanspruchungen des herzustellenden Bauteils realisiert wird.

9. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die kontinuierliche Ablage des strangförmigen Kunststofffilamentes innerhalb einer Einzelschicht in allen drei Raumrichtungen frei wählbar ist, wobei die Ablage der strangförmigen Kunststofffilamente mit mindestens einer teilweisen oder vollständigen Bedeckung eines Abschnittes eines oder mehrerer bereits abgelegten strangförmigen Kunststofffilamentes durch einen Abschnitt des gleichen oder eines anderen strangförmigen Kunststofffilamentes realisiert wird.

10. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Ablage des strangförmigen Kunststofffilamentes in z-Richtung über die maximale Dicke eines oder mehrerer bereits abgelegter strangförmiger Kunststofffilamente hinaus realisiert wird, wobei die jeweils örtlich und zeitlich vorhandene lokale Dickenverteilung der abgelegten strangförmigen Kunststofffilamente unmittelbar vor Ablage eines in im Wesentlichen tangentialer Richtung zur jeweils vorhandenen Ablagefläche abzulegenden strangförmigen Kunststofffilamentes ermittelt oder vor dessen Ablage berechnet wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem zur Ermittlung der lokalen Dickenverteilung eine integrierte, vorgelagerte, vorteilhafterweise optische, Vermessung der lokalen Dicke der bereits abgelegten strangförmigen Kunststofffilamente durchgeführt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem die Berechnung der lokalen Dickenverteilung in Abhängigkeit von den Materialien und der beanspruchungsgeordneten Form des herzustellenden Bauteils durchgeführt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Ablage des mindestens einen strangförmigen Kunststofffilamentes in allen drei Raumrichtungen kontinuierlich, insbesondere auch in z-Richtung und hinsichtlich der Ablage in im Wesentlichen tangentialer Richtung zur jeweils vorhandenen Ablagefläche durchgeführt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem als Ablagefläche die Substratoberfläche und/oder die Oberfläche bereits abgelegter strangförmiger Kunststofffilamente einer anderen oder der gleichen Einzelschicht angesehen wird.

15. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem zur Realisierung einer Ablage eines strangförmigen Kunststofffilamentes in allen drei Raumrichtungen die translatorischen und rotatorischen Freiheitsgrade des Druckkopfs eines 3D-Druckers jeweils in allen drei Raumrichtungen in Bezug auf die Substratoberfläche oder in Bezug auf eine bereits abgelegte Einzelschicht oder in Bezug auf die aktuell abzulegende Einzelschicht geführt wird.

16. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die stufenlose Nachführung des Druckkopfes der 3D-Druckvorrichtung innerhalb einer Einzelschicht jeweils in normaler Richtung zur jeweils vorhandenen Ablagefläche in allen drei Raumrichtungen in Bezug auf die Substratoberfläche oder in Bezug auf eine bereits abgelegte Einzelschicht oder in Bezug auf die aktuell abzulegende Einzelschicht geführt wird.

17. Bauteile aus Faser-Kunststoff-Verbunden, die mittels 3D-Druck hergestellt sind, aus mindestens zwei übereinander angeordneten Einzelschichten oder Bereichen, die mindestens teilweise aus strangförmigen Kunststofffilamenten mit Faserverstärkung gebildet sind, bei dem die strangförmigen Kunststofffilamente mit Faserverstärkung im Wesentlichen beanspruchungsgerecht gemäß dem Lastfall des Faser-Kunststoff-Verbund-Bauteils abgelegt sind und innerhalb des Bauteils und/oder innerhalb einer Einzelschicht oder Bereiches und/oder innerhalb eines strangförmigen Kunststofffilamentes variable Abmessungen in allen drei Raumrichtungen vorhanden sind und der Kunststoff mindestens teilweise vernetzt und/oder ausgehärtet ist.

18. Bauteile nach Anspruch 17, bei dem innerhalb des Bauteils und/oder innerhalb einer Einzelschicht oder Bereiches und/oder innerhalb eines strangförmigen Kunststofffilamentes variable Abmessungen insbesondere in z-Richtung vorhanden sind.

19. Bauteile nach Anspruch 18, bestehend aus Einzelschichten oder Bereichen, die verschiedene Thermoplastfilamente mit oder ohne einzelschicht- oder bereichsweise angeordneten Zusätzen von Verstärkungsfasern, Glasfasern, Kohlenstofffasern, elektrisch und/oder thermisch leitendem Material, elektrisch und/oder thermisch isolierendem Material aufweisen.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

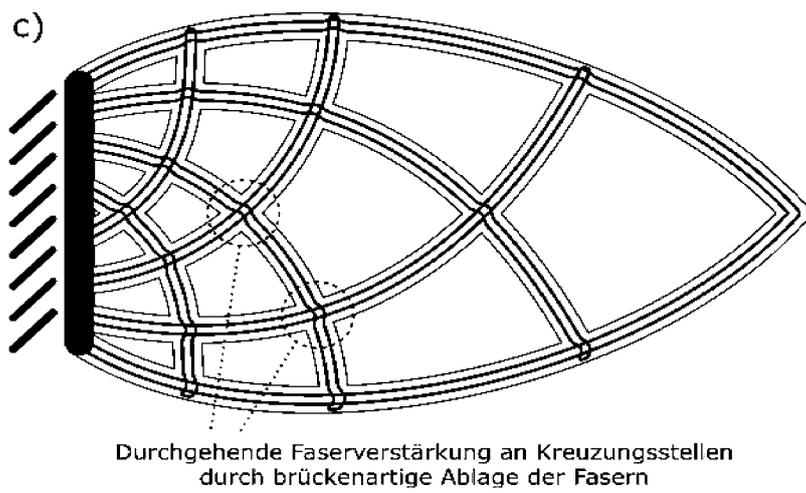
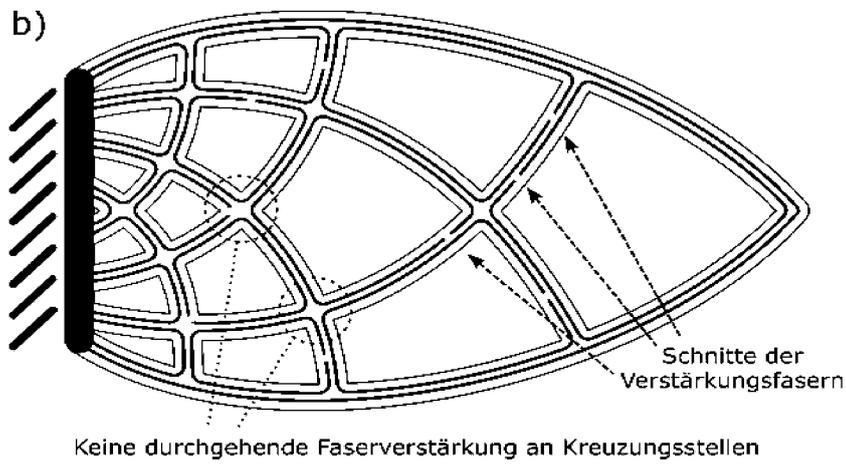
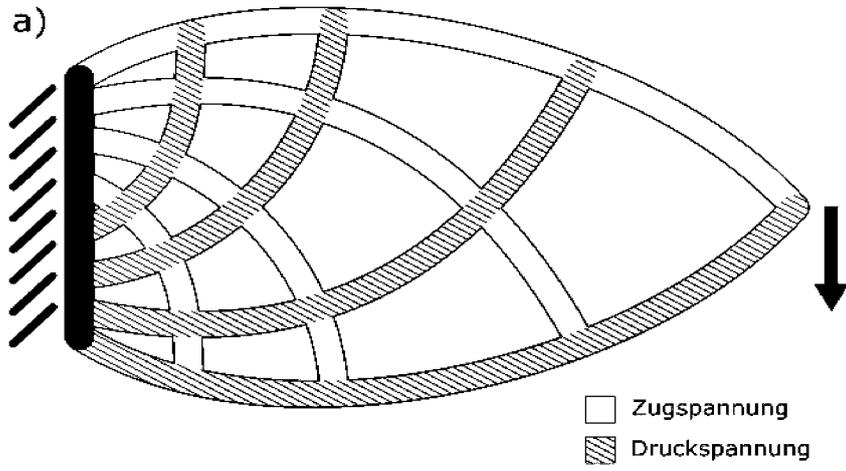


Fig. 1

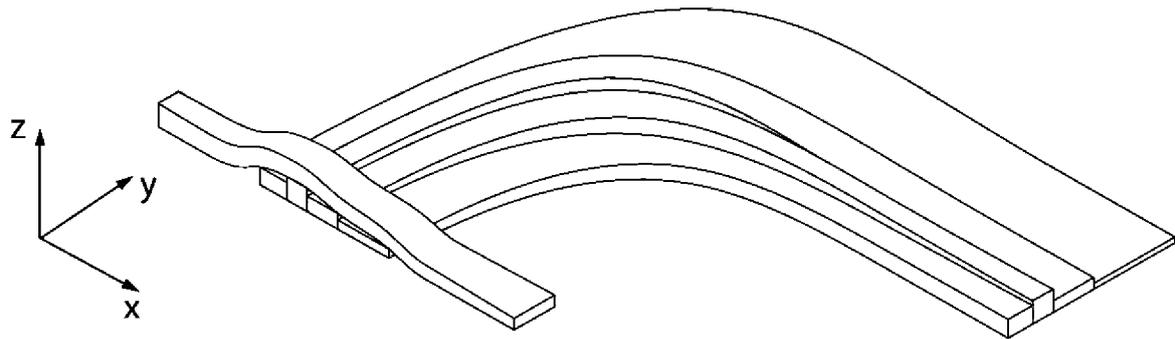


Fig. 2

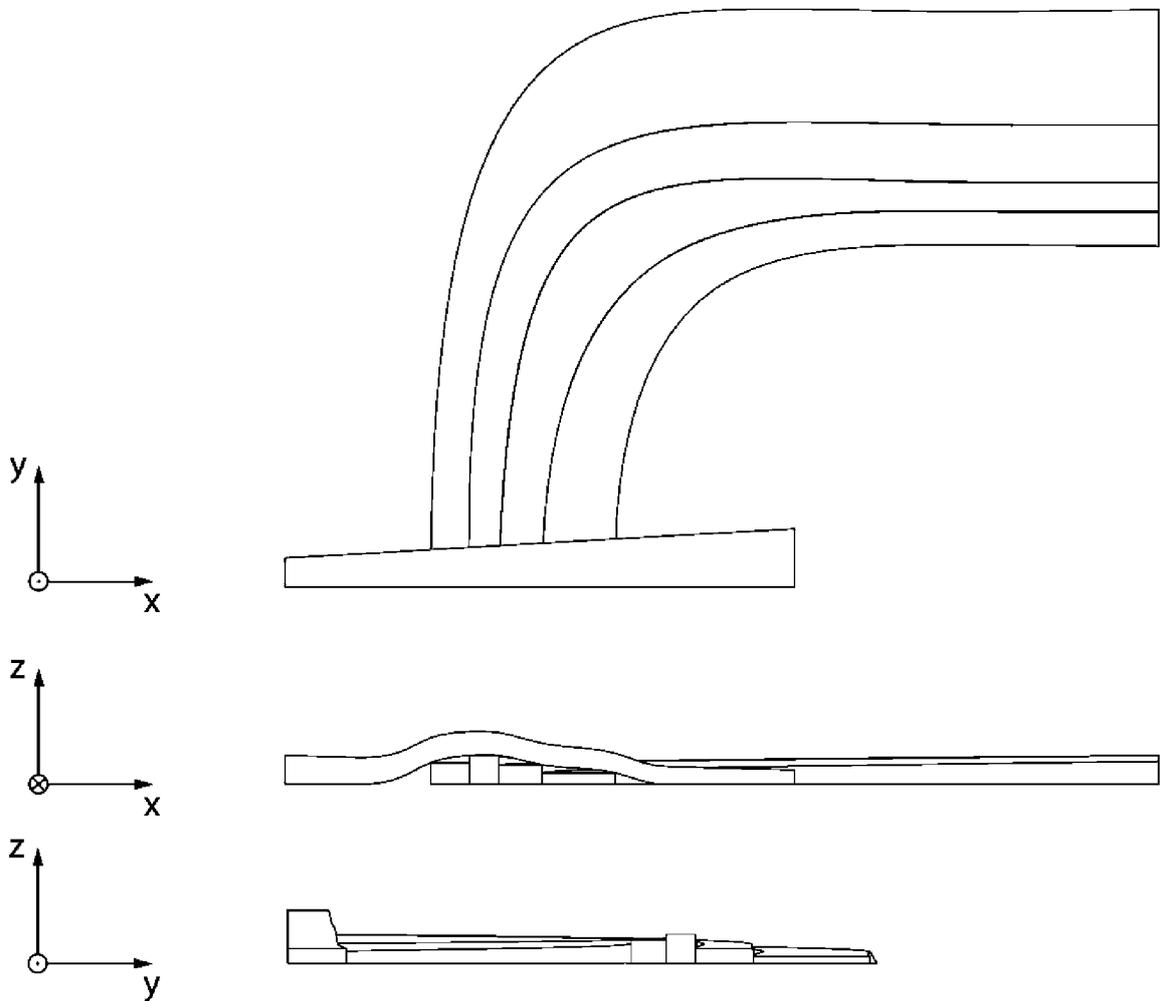


Fig. 2a – 2c