



Carbonfaser 3D-Druck

Ratgeber

Der Aufschwung der Carbonfaser

Obwohl es den 3D-Druck mit Carbonfasern schon seit fast einem Jahrzehnt gibt, hat er erst in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Heute stürzen sich viele etablierte 3D-Drucker-Hersteller darauf, aus dem Begriff "3D-Druck mit Carbonfasern" Kapital zu schlagen, aber nicht alle Carbonfasern sind gleich.

Dieser Ratgeber beleuchtet die Grundlagen des 3D-Druckbereichs mit Carbonfasern, definiert die verschiedenen Sorten, untersucht die Herausforderungen, Vorteile, Überlegungen zur Implementierung und vieles mehr. Innerhalb des Carbonfaser-3D-Drucks werden wir einen tiefen Einblick in die Vorteile der Carbon Fiber Reinforcement (CFR, Carbonfaser-Verstärkung) von Markforged vornehmen.

Carbonfaser Grundlagen

Was sind Carbonfasern?

Carbonfasern bestehen aus Kohlenstoffatomen, die in langen, dünnen kristallinen Strukturen mit einem Durchmesser von 5-10 Mikrometern aufgebaut sind. Diese Fasern können einzeln oder in Strängen verwendet werden, die aus mehreren tausend gebündelten Einzelfasern bestehen.

In der modernen Fertigung werden Carbonfasern fast immer mit anderen Materialien kombiniert, um einen Verbundwerkstoff zu bilden.

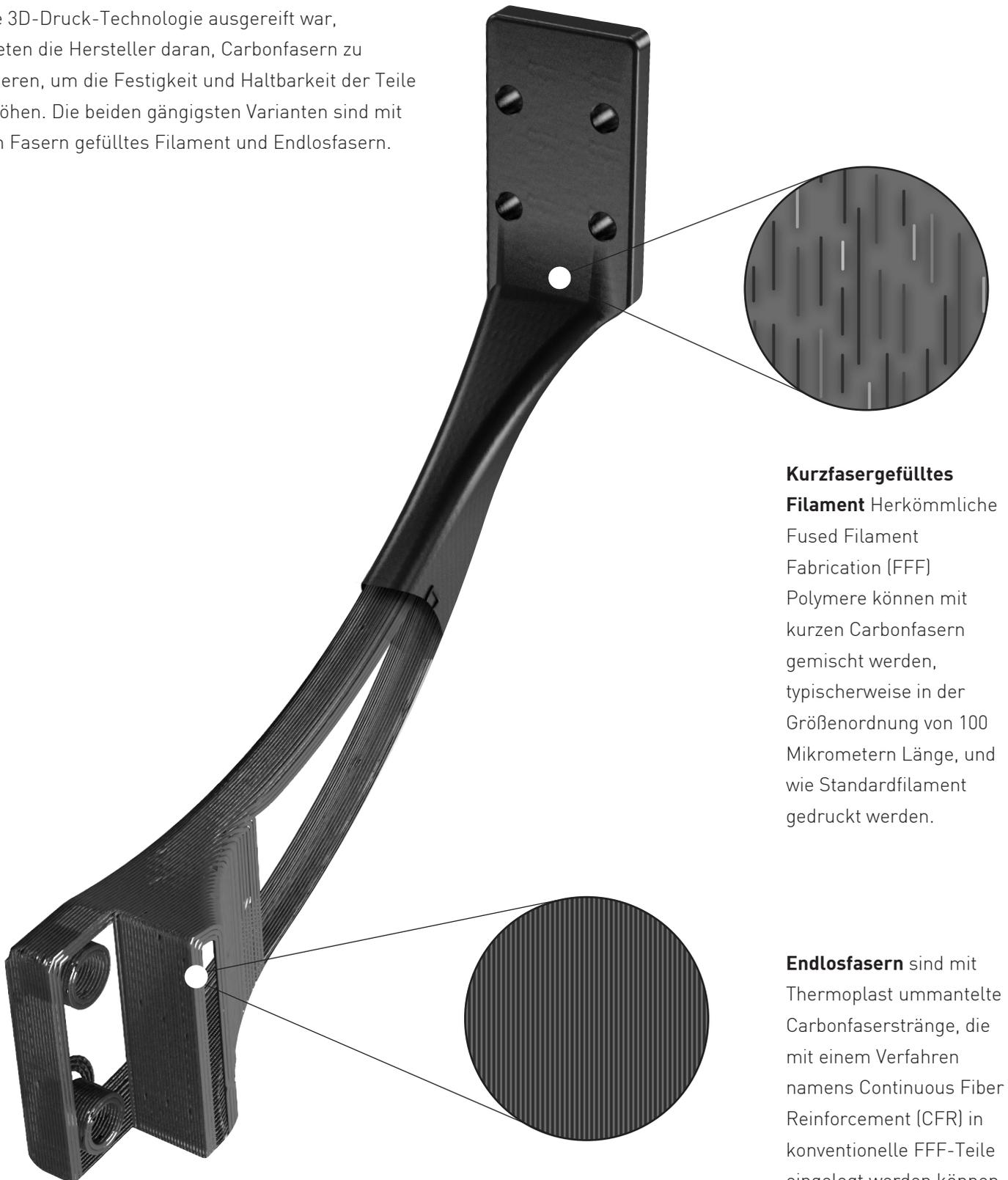
Wenn sie mit einer thermoplastischen oder duroplastischen Harzmatrix verbunden sind, können Carbonfaserstränge verschiedene Formen für den Einsatz in technischen Anwendungen annehmen. Am häufigsten werden sie um Spindeln gewickelt, um Rohre zu formen, durch Matrizen für Pultrusion gezogen oder zu Bändern und Geweben verwoben. Durch diese Kombination entstehen starke, kundenspezifische Geometrien, die in der Luft- und Raumfahrt, der Automobilindustrie, dem Militär und anderen Branchen eingesetzt werden können.

Die Kombination aus den verbesserten mechanischen Eigenschaften von Carbonfasern und ihrer Beständigkeit gegen Hitze und Chemikalien machen sie ideal für die moderne Fertigung. Die Carbonfaser weist eine hohe Steifigkeit und Zugfestigkeit bei einer weitaus geringeren relativen Dichte als Stahl und Aluminium auf. Aufgrund des sehr guten Verhältnisses von Festigkeit zu Gewicht wird die Carbonfaser häufig in der Luft- und Raumfahrt sowie in der Automobilindustrie eingesetzt.



Die Carbonfaser im 3D-Druck

Als die 3D-Druck-Technologie ausgereift war, arbeiteten die Hersteller daran, Carbonfasern zu integrieren, um die Festigkeit und Haltbarkeit der Teile zu erhöhen. Die beiden gängigsten Varianten sind mit kurzen Fasern gefülltes Filament und Endlosfasern.



Kurzfasergefülltes Filament Herkömmliche Fused Filament Fabrication (FFF) Polymere können mit kurzen Carbonfasern gemischt werden, typischerweise in der Größenordnung von 100 Mikrometern Länge, und wie Standardfilament gedruckt werden.

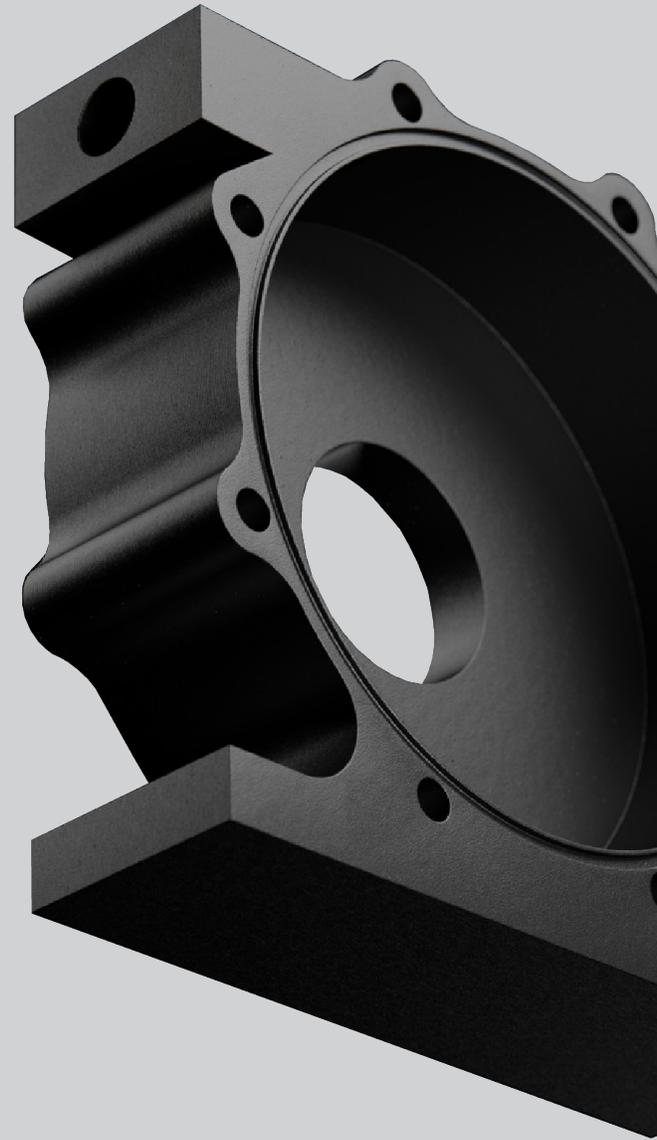
Endlosfasern sind mit Thermoplast ummantelte Carbonfaserstränge, die mit einem Verfahren namens Continuous Fiber Reinforcement (CFR) in konventionelle FFF-Teile eingelegt werden können.

Kurzfasergefüllte Filamente

Hintergrund

Kurzfaser-Füllstoffe, wie z.B. Glasfasern und Carbonfasern, werden seit Jahrzehnten in der Spritzgießindustrie eingesetzt, um die Materialeigenschaften von Thermoplasten zu verbessern. Um diese gefüllten Filamente herzustellen, mischen die Hersteller polymeres Ausgangsmaterial mit Füllstoffen und formen diese zu Granulat. Diese Pellets werden durch eine Extrusionslinie geleitet, die sie weiter mischt, verbindet und zu einem Filament verstreckt. Das Filament wird dann aufgespult und verwendet. In der 3D-Druckindustrie ist die häufigste Anwendung dieses Prozesses kurzes, mit Carbonfasern gefülltes Filament, das entweder Nylon oder ABS-Kunststoff als Basismaterial verwendet.

Wichtig zu beachten ist auch, dass nicht alle Füllstoffe Fasern zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften sind; tatsächlich werden einige verwendet, um die Fließfähigkeit oder das ästhetische Erscheinungsbild zu verbessern oder sogar um die Kosten zu senken.





Mit dem richtigen Carbonfasergehalt können kurzfasergefüllte Filamente eine unvergleichliche Oberflächen-güte erreichen.

Kurze, mit Carbonfasern gefüllte Filamente bestehen typischerweise aus 5-35 % Carbonfasern nach Gewicht, die gleichmäßig verteilt sind. Bei diesen Fasern handelt es sich um kurze Fasern, die entweder gemahlen oder aus Fasersträngen zerkleinert werden und einen Durchmesser von 5-10 Mikron und eine Länge von 50-250 Mikron aufweisen.

Die Fließeigenschaften des Materials beim Extrusionsprozess, sowohl bei der Filamentherstellung als auch beim Druck, richten den Faserfüllstoff in Druckrichtung aus. Das bedeutet, dass sich die Verbesserungen der Zug- und Biegefestigkeit an der Außenhülle des Teils auszurichten.

Größte Vorteile

- + **Geringfügige Erhöhung der Festigkeit/Steifigkeit** Dies führt direkt zu stärkeren, steiferen Teilen.
- + **Verbesserte thermische Stabilität**
Die Carbonfaser hat einen niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten und kann dazu beitragen, die Verformung während des Druckprozesses zu reduzieren. Zusätzlich hilft sie gedruckten Teilen, sich in hohen Temperaturen nicht zu verformen.
- + **Höhere Genauigkeit der gedruckten Teile**
Die kombinierte Erhöhung der mechanischen und thermischen Stabilität bedeutet, dass mit Carbonfasern gefüllte Teile eine höhere Maßgenauigkeit erreichen als ihre ungefüllten Gegenstücke.

Herausforderungen

Kurze Carbonfasern bieten erhebliche Vorteile, die mit ihrem Volumenanteil skalieren. Daher fragen Sie sich vielleicht, warum nicht alle kommerziellen Filamente mit der maximal möglichen Menge an Carbonfasern gefüllt sind. Der Grund dafür ist, dass Carbonfasern eine Reihe von Herausforderungen sowohl für den Materialherstellungsprozess als auch für den Druckprozess darstellen, unter anderem:

- **Die Gleichmäßigkeit des Filaments kann negativ beeinflusst werden**, wenn das Volumen des steifen Füllmaterials über einen bestimmten Punkt hinaus ansteigt, was zu einer schlechten Oberflächenbeschaffenheit und Qualitätsmängeln beim Drucken führen kann.
- **Mit Carbonfasern gefüllte Filamente sind abrasiv** und können Druckerextrusionskomponenten, die für herkömmliche ungefüllte FFF-Filamente ausgelegt sind, schnell verschleifen. Dies kann durch gehärtete Komponenten und routinemäßige Wartung gemildert werden, erhöht aber die Gerätekosten.
- **Ein zu hoher Faseranteil kann auch den Materialfluss behindern** und das Risiko einer Verstopfung der Düse erhöhen, wodurch eine Maschine bis zur Wartung unbrauchbar wird.

Viele Filamenthersteller ignorieren diese Nachteile und fügen ihren gefüllten Filamenten so viele kurze Carbonfasern wie physikalisch möglich hinzu. Die resultierenden Teile gewinnen an Festigkeit auf Kosten der Oberflächengüte und Maschinenzuverlässigkeit. Die Carbon Endlosfaser-Verstärkung (CFR) von Markforged ermöglicht es uns, unser gefülltes Filament Onyx so zu gestalten, dass diese Fehlerquellen minimiert werden. Während die meisten Hersteller von gefülltem Filament ihr Material auf Kosten der Druckbarkeit auf Festigkeit optimieren, haben wir Onyx auf Maßhaltigkeit, Oberflächengüte und Zuverlässigkeit des Druckers optimiert. Aufgrund der Festigkeit und Steifigkeit der in der CFR-Technologie verwendeten Endlosfasern, die weiter unten vorgestellt werden, sind wir in der Lage, dies zu tun, ohne die Festigkeit des Endteils zu beeinträchtigen. Das Ergebnis sind eine höhere Genauigkeit der Teile, eine höhere Steifigkeit und Festigkeit der Masse, eine ästhetischere Oberflächenbeschaffenheit und insgesamt zuverlässige Druckergebnisse.

Endlosfasern

Hintergrund

Carbon Endlosfasern sind lange, mit Thermoplast beschichtete Carbonfaserstränge. Diese Faserstränge werden dann mit der CFR-Technologie in thermoplastische FFF-Teile eingelegt. Bei diesem Verfahren wird die thermoplastische Beschichtung thermisch mit dem Teil verschmolzen, indem das Material durch eine beheizte Düse extrudiert wird. Die Fasern können in einer Vielzahl von 2D-Orientierungen innerhalb jeder Schicht des 3D-Druckteils verlegt werden.

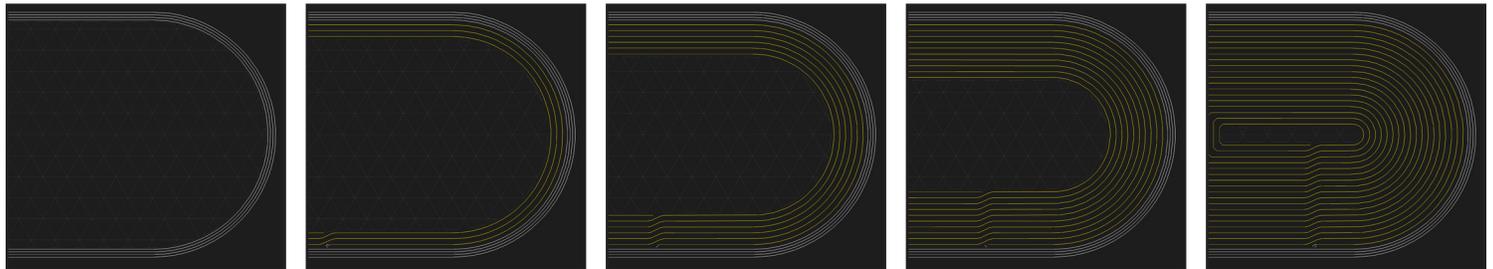
Die Festigkeit von Teilen, die mit Carbon Endlosfasern verstärkt sind, ist mit der von Teilen vergleichbar, die durch konventionelle Verbundstoffschichten hergestellt wurden. Bei gefüllten Filamenten führen die Diskontinuitäten zwischen kurzen Fasern dazu, dass mechanische Belastungen durch das Matrixpolymer übertragen werden, was den damit verbundenen Anstieg der mechanischen Eigenschaften auf einen geringeren Wert begrenzt. In CFK-Bauteilen werden Zug- und Biegebelastungen auf lange Faserstränge mit minimaler Belastung des Matrixpolymers aufgebracht, was zu erhöhten mechanischen Volumeneigenschaften führt. Teile können auf viele verschiedene Arten verstärkt werden, um sie für unterschiedliche Belastungsbedingungen zu optimieren.

Die Technologie der Endlosfaser-Verstärkung geht über Carbonfasern hinaus und umfasst Materialien wie Endlos-Glasfaser, Kevlar® und hochfeste Hochtemperatur-Glasfaser.



Dynamischer Endlosfasergehalt

Mit der CFR-Technologie kann ein Anwender die Menge der Fasern im Bauteil auf zwei Arten dynamisch steuern - indem er zum einen die Menge der Fasern in einer Schicht ändert und zum anderen festlegt, wie viele Schichten verstärkt werden. Diese Steuerung ermöglicht es Ingenieuren, Bauteile genau so stabil zu drucken, wie sie sie benötigen.

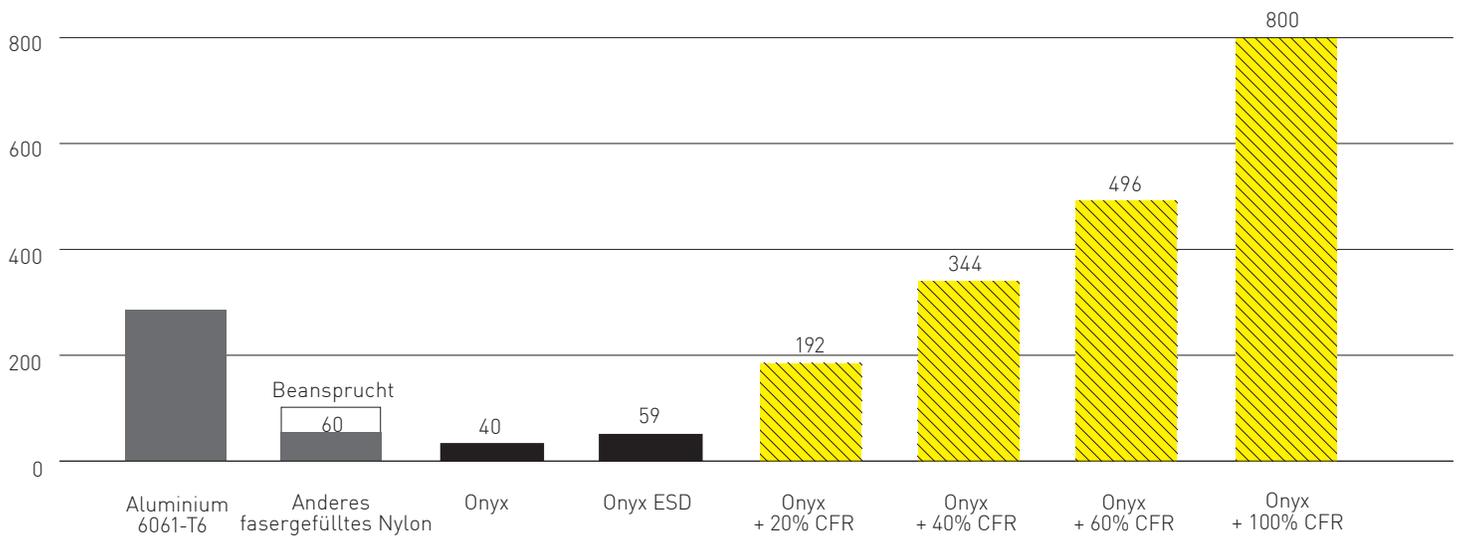


Onyx

Onyx
+ 20% CFROnyx
+ 40% CFROnyx
+ 60% CFROnyx
+ 100% CFR

Zugfestigkeit (MPa)

Konditioniert nach ASTM D638 Spezifikationen



Größte Vorteile

Endlosfasern ermöglichen eine schrittweise Verbesserung der Teileigenschaften im Gegensatz zu den kontinuierlichen Verbesserungen, die durch gefüllte Filamente erreicht werden. Zu den Vorteilen von Endlosfasern gehören:

- + **Mit einer ähnlichen Festigkeit wie Aluminium** kann ein endlosfaserverstärktes Teil maschinell bearbeitete Komponenten in der Anwendung ersetzen.
- + **Erhöhte Steifigkeit, Schlagzähigkeit, Hitzebeständigkeit und Haltbarkeit** sind durch eine Reihe spezieller Endlosfaser-Verstärkungsmaterialien wie Kevlar® und Glasfaser möglich.
- + **Endlosfasern ergänzen gefüllte Filamente.** Markforged verwendet beispielsweise Carbon Kurzfasern in Onyx, um die Genauigkeit und Oberflächengüte von gedruckten Teilen zu verbessern, und Carbon-Endlosfasern für eine zehnfache Steigerung der Festigkeit und Steifigkeit.

Implementierung von Endlosfasern

Im Gegensatz zu gefüllten Filamenten werden Endlosfasern von den Anwendern durch ein zusätzliches Verfahren namens "Continuous Fiber Reinforcement" (CFR) implementiert. Die CFR-Technologie ermöglicht dem Anwender Flexibilität bei der Implementierung von Endlosfasern in seine Teile; dabei hat er mehr Kontrolle darüber, wie viel Carbonfaser in die Teile eingebracht wird. Es ist zwar möglich, Teile wahllos mit Endlosfasern zu füllen, aber die besten Ergebnisse werden mit einer strategischen Platzierung der Faserstränge auf der Grundlage der Belastungsbedingungen erzielt. Ein optimiertes Teil liefert das gleiche Ergebnis mit weniger Material, was auch die Zeit und Kosten für die Herstellung reduziert.

Steuerung ist ein wesentlicher Vorteil, wenn man Endlosfasern in Betracht zieht. Diese Steuerung kann auf zwei wichtige Arten erfolgen:

1. Legen Sie fest, ob Endlosfasern innerhalb jeder Schicht des Teils platziert werden sollen oder nicht.
2. Bestimmen Sie eine Verstärkungsstrategie für jede verstärkte Schicht

Beispiele für Endlosfasertechniken, die häufig für Bauteile verwendet werden:

Sandwich-Verteilung

Wie ein herkömmliches Verbundwerkstoff-Layoutteil, fügt sie Endlosfasern an der Ober- und Unterseite hinzu. Unter den meisten Biegebelastungsbedingungen sind die Spannungskonzentrationen an der Oberfläche eines Teils am höchsten. Sandwich-Paneele werden verwendet, um den Kräften in der Z-Richtung zu widerstehen.

Schale

Wie eine Sandwich-Verteilung, aber mit Endlosfaser-schlaufen in den Wänden jeder Schicht. Bei der Schalenverstärkung werden Endlosfasern am Umfang jeder Lage platziert, um Belastungen entlang der XY-Ebene zu widerstehen.

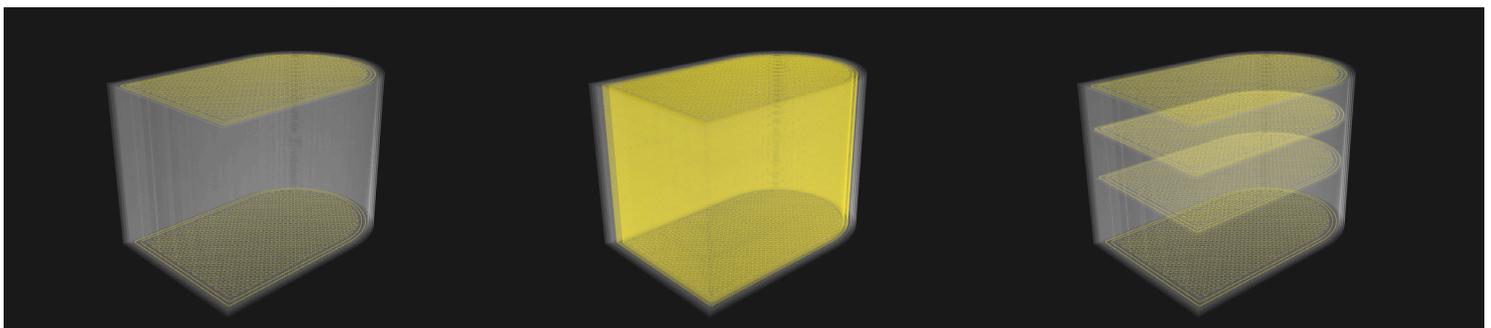
Streifen

Sandwich-Verteilung mit zusätzlichen "Streifen" aus Endlosfasern in Schlüsselbereichen des Teils. Streifen können in hohen Sandwich-Paneeelen verwendet werden, um die Lasten zu verteilen, was das Risiko der Knickung reduziert.

Sandwich-Verteilung

Schale

Streifen



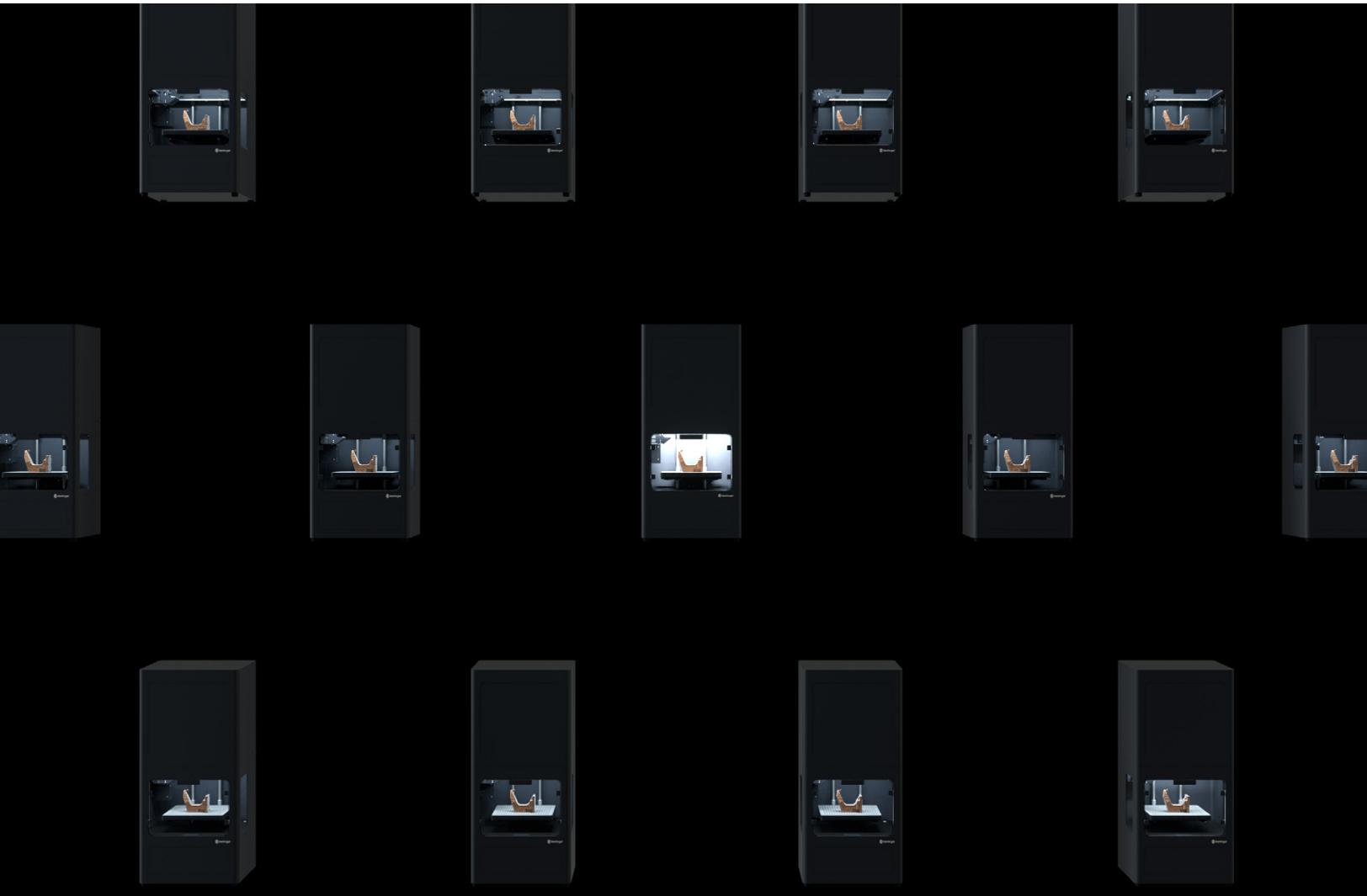
Fazit

Jetzt, da Sie mit den Grundlagen, den wichtigsten Definitionen, Vorteilen und Überlegungen vertraut sind, ist Ihr Unternehmen bestens vorbereitet, wenn es um die Entscheidung geht, in die richtige 3D-Druck-Technologie mit der Carbonfaser zu investieren.

Eine Partnerschaft mit einem führenden Unternehmen im Bereich der Endlosfaser-3D-Druck-Technologie kann Ihnen helfen, sich an die sich entwickelnden Geschäftsanforderungen anzupassen, die den 3D-Druck beinhalten. Carbon-Endlosfaser ist Markforged's einzigartiges, hochfestes Material - wenn es in ein Verbundwerkstoff-Basismaterial wie Onyx eingelegt wird, können Teile gefertigt werden, die so stark sind wie 6061-T6-Aluminium. Es ist extrem steif und fest und kann von Markforged 3D-Druckern automatisch in einer Vielzahl von Geometrien eingelegt werden.

Die Digitale Schmiede von Markforged ist die intuitive Additive Manufacturing-Plattform für moderne Hersteller, die die Leistung und Geschwindigkeit der agilen Softwareentwicklung in die industrielle Fertigung bringt. Sie besteht aus Hardware, Software und Materialien, die nahtlos auf einer einheitlichen Plattform zusammenarbeiten.

Sie wurde speziell für die Integration in Ihr bestehendes Fertigungs-Ökosystem entwickelt und beseitigt die Barrieren zwischen Design und Funktionsbauteil. Wer die Digitale Schmiede einsetzt, profitiert sofort von massiven Zeit- und Kosteneinsparungen bei Bauteilen. Mit zunehmender Akzeptanz kann die Plattform Wettbewerbsvorteile bringen, indem sie Ihren gesamten Betrieb agiler und effizienter macht.



Markforged transformiert die Fertigung mit Metall- und Carbonfaser-3D-Druckern, die Teile herstellen können, die robust genug für die Fertigung sind. Ingenieure, Designer und Fertigungsexperten auf der ganzen Welt verlassen sich bei der Herstellung von Werkzeugen, Vorrichtungen, Funktionsprototypen und hochwertigen Endprodukten auf die Metall- und Verbundwerkstoffdrucker von Markforged.

Markforged wurde 2013 gegründet und hat seinen Sitz in Watertown, Massachusetts. Das Unternehmen beschäftigt weltweit etwa 300 Mitarbeiter und verfügt über 137 Millionen US-Dollar an strategischem und Risikokapital. Markforged wurde kürzlich von Forbes in die Liste der Next Billion-Dollar Startups aufgenommen und in der Deloitte Fast 500 Liste 2019 als das am zweitschnellsten wachsende Hardware-Unternehmen in den USA gelistet.