

## Formen für Orthesen

# 3D-gedruckt, nicht gefräst

Die Passformen für Orthesen werden in der Regel gefräst. Das ist weder für den Patienten noch für den Hersteller optimal. Im Rahmen einer Fallstudie untersuchte Lehmann & Voss daher, ob der 3D-Druck eine Alternative darstellt – sowohl aus ökologischer als auch ökonomischer Sicht.



3D-gedruckte Laminierformen zur Fertigung von CFK-Orthesen © Adviva

Orthopädische Hilfsmittel wie Orthesen (**Bild 1**) sind stets patientenbezogen und müssen daher individuell gefertigt werden. Es gilt, die jeweils optimale Passform zu erzeugen, welche die besonderen ergonomischen Anforderungen erfüllt. Bei der Modellierung der 3D-gescannten Strukturen des Patienten fließt daher auch das Know-how des Orthopädietechnikers beziehungsweise des spezialisierten Biomechanikers ein, um ein oberflächenoptimiertes Modell zu erzeugen. Das Ganze verfolgt letztlich ein Ziel: die Erstellung kosten- und handhabungsoptimierter Laminierformen (Laminierformen oder Laminierwerkzeuge), zur Fertigung hochentwickelter Orthesen aus CFK-Laminaten (carbonfaserverstärkter Kunststoff).

Ein Verfahren zur Herstellung solcher Werkzeuge ist das Fräsen aus Halbzeugen, in der Regel Blockware aus Werkzeugbauschäumen (**Bild 2**). Das Verfahren ist in der Praxis etabliert und seit vielen Jahren bewährt. Es hat aber auch einige Nachteile, die sich ökonomisch sowie ökologisch bemerkbar machen. So bestehen die Werkzeugbauschäume meist aus duroplastischem Polyurethan (PUR). Dessen Zerspanung ist zwar unkritisch, allerdings entstehen dabei große Mengen feiner Stäube. Sie führen zu erheblichem Reinigungsaufwand in Räumlichkeiten und Filteranlagen. Die leichten Stäube führen unter Umständen, beispielsweise durch Verschleppung in die CFK-Prepregverarbeitung, zu Qualitätseinbußen durch Fremd-

materialeinschluss an den laminierten Bauteilen.

Hinzu kommt: Die zu zerspanenden Formblöcke müssen zur Vorbereitung des Fräsprozesses zugeschnitten werden. Dabei entsteht, neben weiteren Staubanteilen, auch Blockabschnitt. Beim Staub, bei den Blockabschnitten sowie letzten Endes bei der zu entsorgenden Laminierform handelt es sich um Sonderabfälle. Das bedeutet, der Hersteller muss sie (nach Ablauf der gesetzlich vorgeschriebenen Verwahrzeit) der getrennten und teuren Reststoffentsorgung zuführen.

### *PET-Filament statt PUR-Schaum*

Der 3D-Druck mittels Filament eröffnet die Möglichkeit, die Prozess- und Fertigungskette deutlich zu entzerren. Durch das generative Verfahren entstehen im Prinzip keine Produktionsabfälle- und Reststoffanteile. Denn der Materialeinsatz beschränkt sich ausschließlich auf das zu fertigende Werkzeug. Kontaminationen der Umgebung sind ebenfalls nahezu ausgeschlossen. Zusatzkosten infolge Qualitätsminderung oder aber durch aufwendige Reinigung der Arbeitsumgebung entfallen.

Was sich in der Theorie gut anhört, muss in der Praxis ebenfalls überzeugen. Das sahen auch der Materialhersteller Lehmann & Voss und der Orthesenhersteller Adviva so. Für eine gemeinsame Fallstudie untersuchten sie den Herstellungsprozess der Passform mittels 3D-Druck. Als Werkstoff wurde Luvocom 3F PET CF 9780 BK (**Bild 3**), ein kohlefaserverstärktes Filament auf Basis von Polyethylenterephthalat (PET), ausgewählt. Der Werkstoff zeichnet sich durch hohe Festigkeit und Temperatur- und Chemikalienbeständigkeit aus.



**Bild 1.** Die „Power-Spring“-Spiralorthese unterstützt die natürliche Bewegung und trägt dazu bei, dass der Patient die selbst gesteckten Ziele schneller und besser erreicht.

© Adviva

Die Festigkeit und auch die Oberflächenhärte des Formwerkzeugs aus diesem Material bedingen einen weiteren Vorteil: Das Bauteil ist handhabungsfreundlich, da unempfindlich gegenüber Beschädigungen. Dies begünstigt einen ungestörten Laminierprozess, wirkt sich aber auch positiv auf den Transport und die Lagerung des Artikels aus. Verfahrensbedingte Anforderungen wie die erforderliche Wärmeformbeständigkeit und Feuchtefreiheit für den Aushärtprozess im Ofen-Vakuumverfahren erfüllen die gedruckten Laminierformen uneingeschränkt.

Da bereits in der Konstruktion des Modells auf minimalen Materialeinsatz geachtet wird – unterstützt durch die hohen Festigkeiten des gewählten 3D-Druckmaterials – kann mit geringem

Infill (Stützstruktur im Bauteil) gearbeitet werden. Dadurch fällt ein noch geringeres Materialvolumen als Reststoff an. Da es sich bei dem PET-Filament um einen thermoplastischen Kunststoff handelt, kann dieser getrennt gesammelt und dem Recycling zugeführt werden. Nachdem die Bauteile vermahlen sind, lassen sich aus ihnen, beispielsweise über das Spritzgießen, neue technische Teile herstellen. Etabliert sich das Verfahren, kann in dieser Anwendung ein sortenreiner Materialrücklauf organisiert werden und dem Recycling steht nichts im Weg.

### Optimierung der Bauteilmechanik

Neben dem Werkstoff stand für die Fallstudie auch die Bauteilmechanik im Fokus. Um die Leistung im Betrieb zu überprüfen und die Druckeinstellungen für die Form zu optimieren, kam SmartSlice für Ultimaker Cura, ein von Teton Simulation entwickeltes Software-Plugin, zum Einsatz. SmartSlice verwendet experimentelle Materialdaten, um die strukturelle Leistung von gedruckten FFF-Teilen (Fused Filament Fabrication) zu analysieren, und berücksichtigt Variablen wie Ausrichtung des Teilebaus, Materialanisotropie, Belastung und Einschränkungen sowie Druckeinstellungen wie Füllichte, Füllmuster und Schalendicke. Hauptzweck des Plugins ist es, sicherzustellen, dass das gedruckte Teil die Leistungsanforderungen erfüllt und gleichzeitig Druckzeit und Materialverbrauch minimiert werden.

Der SmartSlice-Workflow begann mit der Auswahl des Werkstoffs (Luvocom 3F PET CF 9780 BK) aus der Materialdatenbank und der Definition der Leistungsanforderungen und Anwendungsfälle. Da die gefrästen Schaumformen »



**Bild 3.** Das Filament Luvocom 3F PET CF 9780 eignet sich für leichte, aber gleichzeitig belastbare Bauteile. © Lehvoss

## Info

### Text

**Dipl.-Ing. Eric Folz** ist Market Development Manager im Geschäftsbereich Customized Polymer Materials bei der Lehmann & Voss & Co. KG.

**Steffan Rensinghoff** ist Abteilungsleiter CAD/CAM bei der Adviva GmbH.

### Im Profil

Die Lehvoss Gruppe unter der Führung von Lehmann & Voss ist eine Unternehmenseinheit, die chemische und mineralische Spezialitäten für diverse Abnehmerindustrien entwickelt, produziert und vermarktet. Das Unternehmen wurde 1894 als Handelshaus in Hamburg gegründet. In seiner rund 125-jährigen Geschichte hat sich der inhabergeführte Konzern zu einer leistungsstarken globalen Organisation entwickelt – mit langjährigen Verbindungen zu namhaften Lieferanten und mit eigenen Produktionsstandorten in Europa, den USA und Asien.

[www.luvocom.de](http://www.luvocom.de)

### Digitalversion

Ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/onlinearchiv](http://www.kunststoffe.de/onlinearchiv)

### English Version

Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)



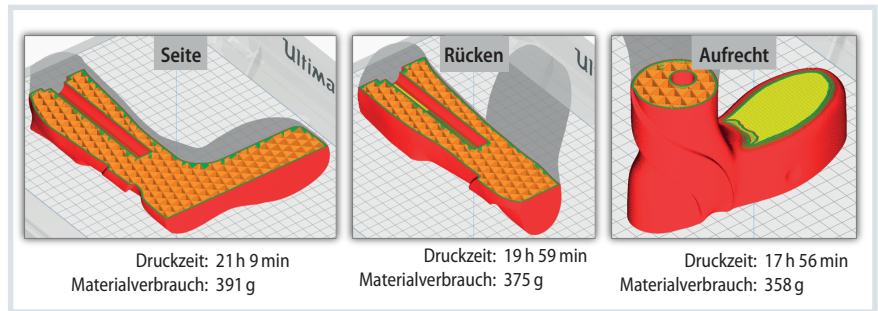
**Bild 2.** Im Lager für duroplastische Werkzeugbauschäume © Adviva



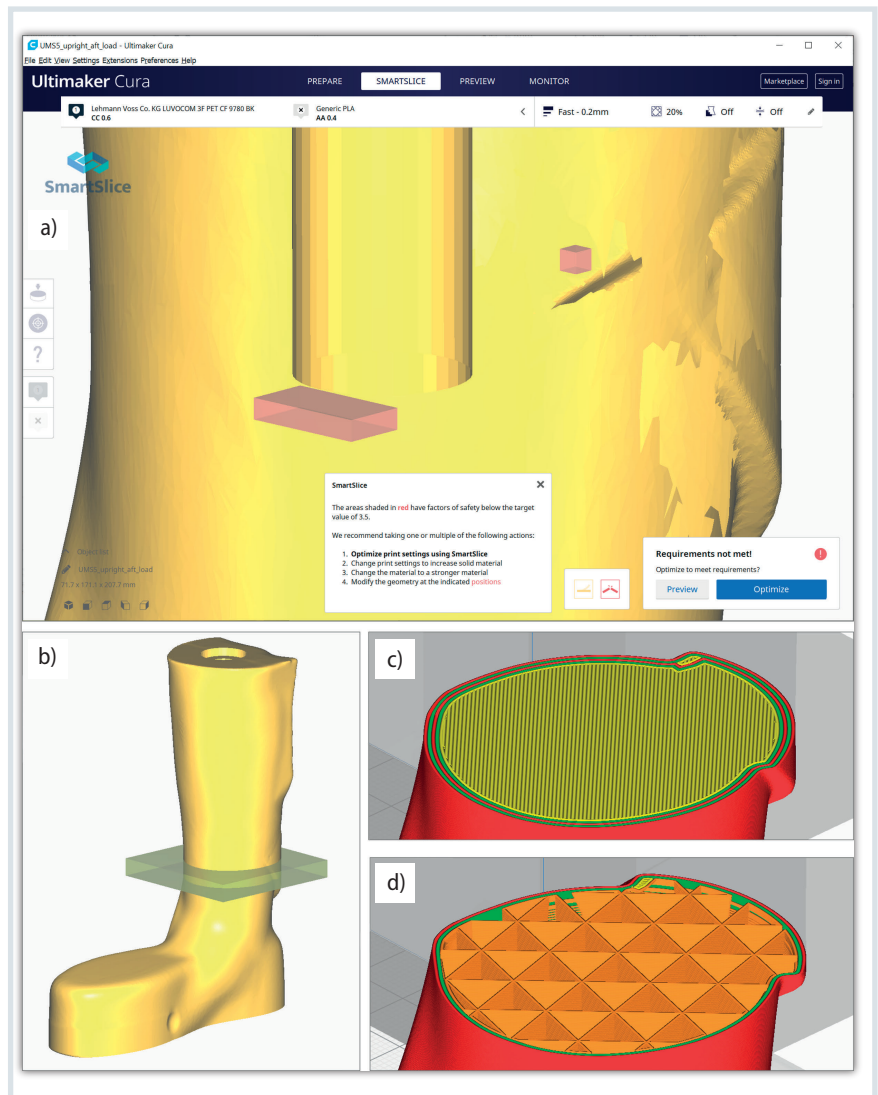
empfindlich gegenüber Oberflächenbeschädigungen sind, besteht eine wichtige Anforderung an das gedruckte Teil darin, dass es während der Handhabung unversehrt bleibt. Um dies zu gewährleisten, wurde ein Sicherheitsfaktor von 3,5 definiert. Das Teil muss also dem 3,5-fachen der angenommenen Belastung standhalten, bevor es sich dauerhaft verformt oder nachgibt. In Bezug auf Lasten und Einschränkungen wurde im Simulationsprozess die Oberfläche, an welcher das Einspannhilfsmittel befestigt ist, fixiert und es wurden drei verschiedene Lasten auf den Oberflächen der Form angebracht.

Als nächstes wurde untersucht, welche Build-Orientierung die beste Leistung bei Verwendung der geringsten Materialmenge bietet. In dieser Phase wurde das Standarddruckprofil für CF 9780 verwendet. Wie in **Bild 4** gezeigt, wurden drei Bauausrichtungen berücksichtigt: Seite, Rücken und aufrecht. SmartSlice berechnete einen Mindestsicherheitsfaktor von mehr als 3,5 für jede Build-Ausrichtung. Dies heißt, dass alle Teile die Festigkeitsanforderungen überschreiten. Das wiederum bedeutet, dass die Teile überdimensioniert sind.

Endergebnis für diese Phase: Die aufrechte Ausrichtung eignet sich am besten, da sie nur wenig Druckzeit und Material benötigt. Daher wurde auch nur sie weiter untersucht, um nochmals Zeit und Kunststoff einzusparen. Insbesondere wurde eine Validierung mit zwei Wänden und 20 % Füllungsdichte (Infill), den empfohlenen Mindestwerten für diese zwei Parameter, durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, dass zwei der drei Simulationen einen Mindestsicherheitsfaktor von weniger als 3,5 aufwiesen. Regionen, in denen der Sicherheitsfaktor niedrig war, wurden in SmartSlice aufgezeichnet (**Bild 5a**). Es stellte sich außerdem heraus, dass der Bereich nahe dem Ende des Einspannstabs das Potenzial hatte, nachzugeben, weshalb dort ein Modifikatornetz (**Bild 5b**) eingefügt wurde, um Material hinzuzufügen und das Teil lokal zu verstärken. Wie in den **Bildern 5c und 5d** gezeigt, wird das Teil nur in den Schichten, die sich innerhalb des Modifikatornetzes befinden, voll gedruckt (100 % Infill). Außerhalb des Modifikatornetzes beträgt die Füllungsdichte 20 %. Nach einer weiteren Validierungsrunde erfüllte das Teil schließlich die Festigkeitsanforderun-



**Bild 4.** Form in drei verschiedenen Bau-Ausrichtungen mit Ergebnissen aus jeder SmartSlice-Validierungsstudie © Teton Simulation



**Bild 5.** (a) Bereiche (rot), in denen der berechnete Sicherheitsfaktor geringer als die Anforderung von 3,5 ist, (b) Modifikatornetz, (c) Schnittansicht, die die Schicht im Modifikatornetz zeigt, und (d) Schnittansicht, die die Schicht außerhalb des Modifikatornetzes zeigt. © Teton Simulation

gen und verwendete eine minimale Menge an Material und Druckzeit.

Insgesamt wurde das Teil etwa eine Stunde in SmartSlice validiert und hinsichtlich Druckzeit und Materialverbrauch optimiert. Im Vergleich zum Standarddruckprofil und dem Wissen,

dass Adviva etwa 100 Formen pro Monat druckt, spart das Unternehmen unterm Strich 50 Tage Druckzeit und 13,2 kg Material pro Jahr. Eine eingesparte Druckzeit von 50 Tagen entspricht einer Steigerung des Maschinendurchsatzes um 70 zusätzliche Formen pro Jahr. ■