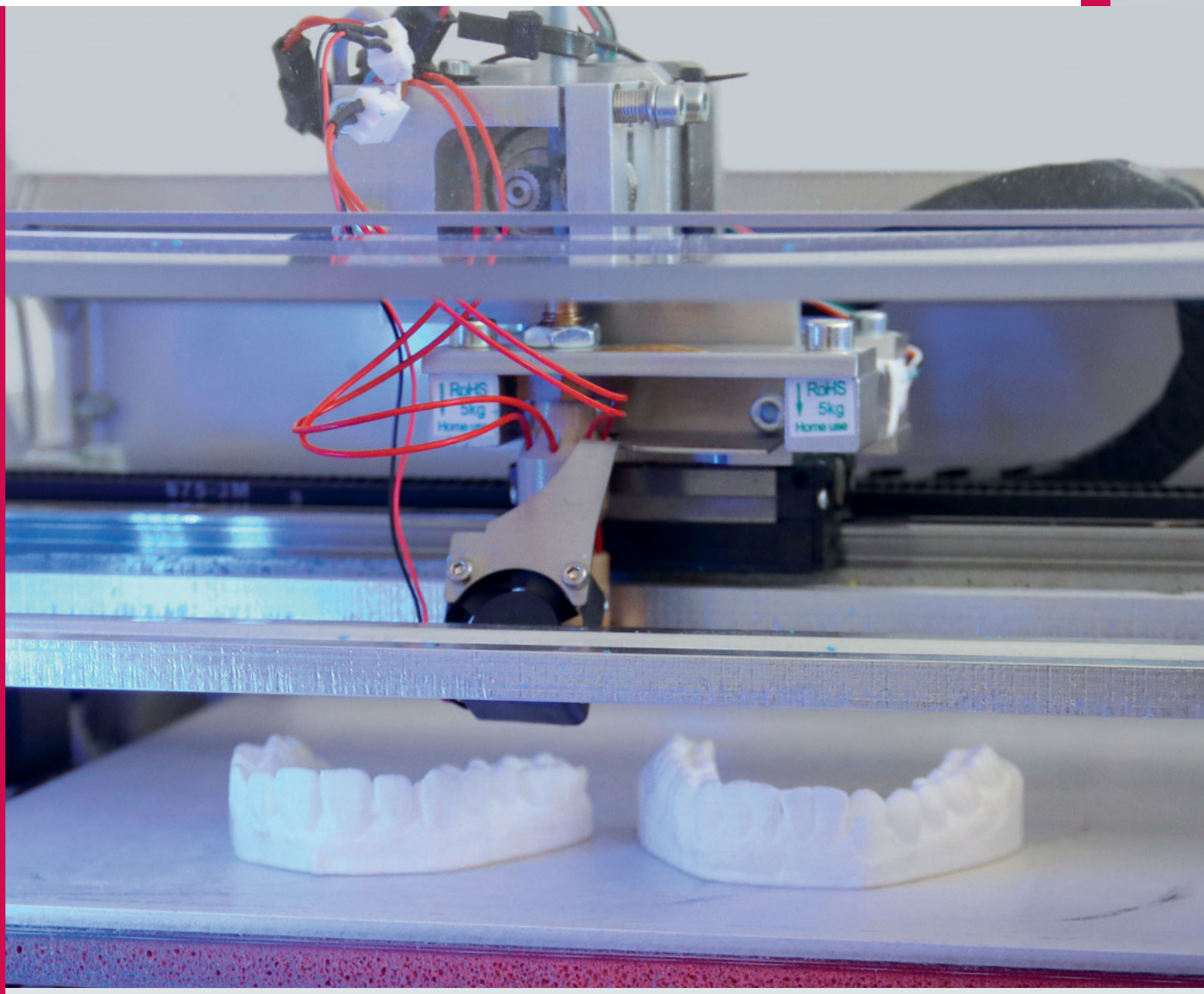
copyright by all rights reserved Quintessenz

Herstellung von Abformlöffeln und Modellen mit einem Filament-3-D-Drucker

Erfahrungen aus der Berufsschule für Zahntechniker

MARKUS LENSING



copyright by all rights reserved Quintessenz

Zusammenfassung
In vielen Labors hat sich das Stereolithografie-Verfahren etabliert. Dabei entstehen allerdings gesundheits- und umweltschädliche Abfallprodukte. Als Gegenpol dazu wird in diesem Beitrag der Umgang mit einem Filament-3-D-Drucker beschrieben, dessen Material biokompatibel ist, der mit Open-Source-Software betrieben werden kann und Dentallabors eine industrieunabhängige Fertigung verschiedener Objekte aus dem zahntechnischen Alltag ermöglicht.

Indizes
additive Fertigung, Filament-Drucker, Stereolithografie, Open-Source-Software, Biokompatibilität

Einleitung

Vor mehr als zehn Jahren hatte der Autor Gelegenheit, Zeit in den Bau eines 3-D-Druckers investieren zu können, der RapMan hieß[1]. Der Bausatz stammte aus Großbritannien. Nach der Fertigstellung wurde das Gerät an der damaligen Albrecht-Dürer-Schule in Düsseldorf im Unterricht für Auszubildende der Zahntechnik eingesetzt. Der Drucker bot die Möglichkeit, Kunststoffdraht aus Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer (ABS) zu schmelzen, den Kunststoff dann durch eine kleine Düse zu drücken und so Schicht für Schicht von den Schülern konstruierte Objekte herzustellen, die mit Scans der eigenen Gesichter kombiniert wurden (Abb. 1).

Zu dieser Zeit galt dieses Vorgehen als fortschrittlich und das Gerät als „cool". Für den Unterricht und die Vermittlung des Themas „Additive Fertigungstechniken" im digitalen Workflow war das von Vorteil. Dass der Fused Filament Fabrication (FFF)-Drucker einmal professionell angewendet werden würde, erschien damals aufgrund der Druckzeiten und der mangelhaften Oberflächenqualität einigermaßen unrealistisch. Inzwischen kann der RapMan als historisches Ausstellungsstück in einem Schaukasten im Foyer des 2018 neu erbauten Albrecht-Dürer-Berufskollegs betrachtet werden.

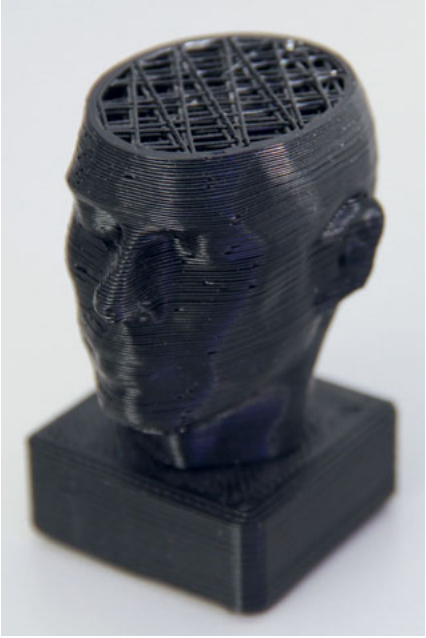


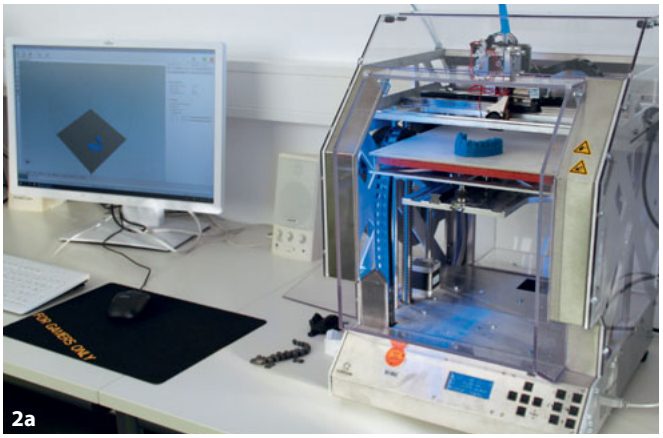
Abb. 1 Mit dem RapMan gedruckter Kopf.

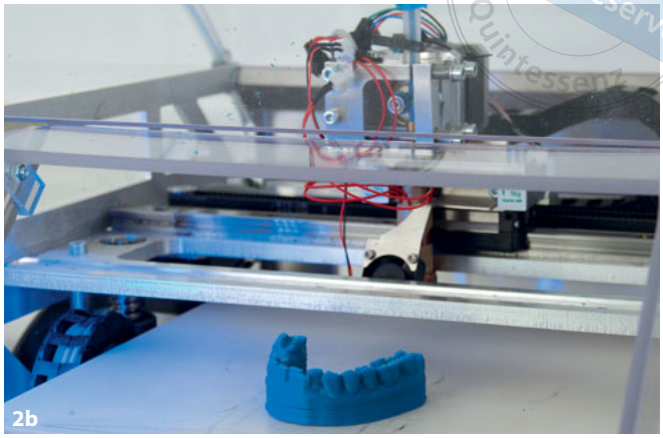
FFF-Verfahren

Die Namensgebung des additiven Fertigungsverfahrens ist recht unübersichtlich. Oft wird es als Fused Deposition Modeling (FDM) bezeichnet, was so viel wie Schmelzschichtung bedeutet. Leider ist dieser Begriff aber eine geschützte Marke der Fa. Stratasys. Daher ist die markenrechtsfreie Bezeichnung Fused Filament Fabrication (FFF) die bessere. Sie wurde von Mitgliedern des RepRap-Projektes begründet. Das Wort Filament ist aus dem spätlateinischen Wort Filamentum entstanden, was Fadenwerk bedeutet. Bezogen auf das FFF-Verfahren ist damit der als Draht aufgerollte thermoplastische Kunststoff gemeint, der als Werkstoff für die Fertigung dient. Der Werkstoff wird in einem sogenannten Extruder geschmolzen und durch eine kleine Öffnung an seiner Spitze als ein dünner Faden hinausgedrückt. Der Name leitet sich vom Fertigungsverfahren Extrusion ab, was wiederum vom lateinischen Wort extrudere kommt, das so viel wie hinausstoßen bedeutet.

Das klingt alles recht einfach, der Teufel steckt aber im Detail. Die Haftung des Objektes am Druckbett, die thermische Kontraktion des Kunststoffes (das sogenannte Warping) während der Schmelzschichtung, die Schichtdicke der einzelnen Schichten (Layer oder Slices genannt), die Dicke des extrudierten Fadens, die Temperatur im Extruder und die Fülldichte des Objektes sind nur einige wenige von vielen Parametern, die

copyright by all rights reserved Quintessenz





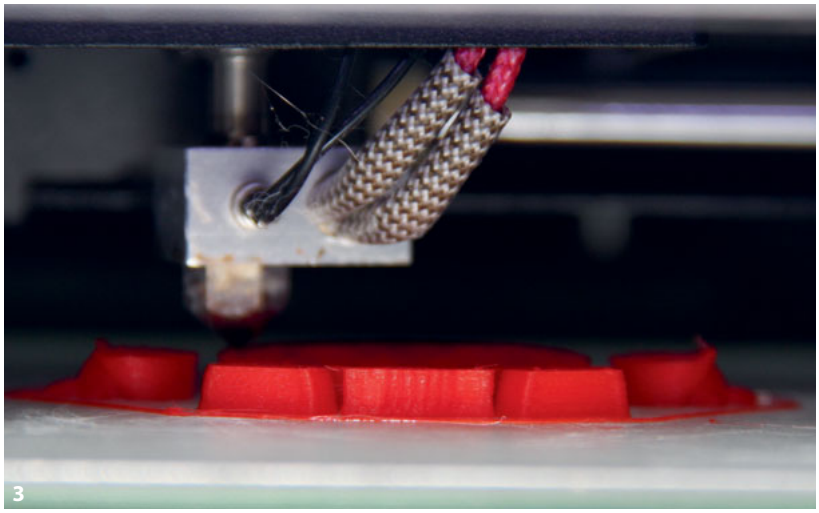


Abb. 2a und b Der RF1000 im Albrecht-Dürer-Berufskolleg und mit dem RF1000 gedrucktes Modell. **Abb. 3** Drucken mit dem RF100.

die Qualität des Druckergebnisses und die Druckzeit teilweise entscheidend beeinflussen.

Vor einigen Jahren griff dann der Förderverein des Bildungsgangs Zahntechnik des Albrecht-Dürer-Berufskollegs in die Tasche und spendierte einen deutlich schnelleren, stabileren und moderneren FFF-Drucker, den Renkforce RF1000 der Fa. Conrad Electronic (Abb. 2a und b).

Mit ihm wurde ein neuer Werkstoff eingeführt, und zwar das preiswertere und biokompatible Polyactid (PLA), umgangssprachlich auch Polymilchsäure genannt. Der Autor selbst kaufte sich ein paar Jahre später eine kleinere Version des Druckers, den RF100. Er hat eine kleinere Extruder-Düse (0,3 mm statt 0,5 mm) und kann damit noch deutlich feiner drucken, er ist allerdings langsamer (Abb. 3).

Konstruktion mit Open-Source-Software

Mit den Druckern gelingen ziemlich nette, lustige und recht genaue Objekte. Grundlage der Drucke ist die Open-Source-Software Blender (Blender Foundation, Amsterdam, Niederlande), die einen detaillierten Blick auf die Konstruktion von 3-D-Objekten erlaubt und einfache bis komplexe Konstruktionen ermöglicht. „Open Souce" meint Software, deren Quelltext frei und öffentlich zur Verfügung steht und meist kostenlos genutzt und auch geändert werden kann. Mit „Blenderfordental" (www.blenderfordental.com) bieten zwei Australier mittlerweile kostengünstige AddOns an für die Software, zur Konstruktion von Modellen, Abformlöffeln und Bohrschablonen. Als CAM-Software kommen Slic3r (https://slic3r.org) und Cura (Fa. Ultimaker, Utrecht, Niederlande) zum Einsatz, beides ebenfalls Open-Source-Produkte. Beide Produkte liefern mittlerweile ziemlich perfekte Steuerungscodes (G-Code) für die passenden FFF-Drucker und ermöglichen detaillierte Einstellungen über sehr viele Parameter.

So stand irgendwann die Idee im Raum, dass diese Qualität doch ausreichen müsste, um z. B. individuelle Abformlöffel, Basen für Bissnahmen und Registrate oder sogar Situationsmodelle im professionellen Laboralltag herstellen und verwenden zu können. Aber weder in der Fachpresse noch in Gesprächen mit vielen Azubis ergaben sich Anhaltspunkte dafür. Im Unterricht wurde weiterhin experimentiert mit der Konstruktion beispielsweise eines individuellen Abformlöffels mit Blender, der dann mit dem RF1000 gefertigt wurde (Abb. 4).

copyright by all rights reserved Quintessenz

Möglichkeiten der FFF-Fertigung

2017 begann Amir Zare seine Ausbildung im Dentallabor Fehling Zahntechnik in Remscheid. Sein Ausbilder Rainer Fehling förderte den jungen engagierten Mann, der als Migrant aus Iran nach Deutschland gekommen war. Im dritten Ausbildungsjahr druckte Amir Zare gelenkige Tierfiguren auf dem laboreigenen FFF-Drucker und brachte sie mit in den Unterricht, in dem diese bzw. die Plattform www.thingiverse.com zuvor besprochen worden waren (Abb. 5).

Amir Zare berichtete von Bösing Dental in Bingen, die sich auf die FFF-Fertigung mit Bio-Kunststoff spezialisiert hatten. Der Autor dieses Beitrags besuchte daraufhin Zare und seinen Ausbilder in Remscheid und lernte die Herstellung von zahntechnischen Produkten mit dem 3-D-Filament-Dentaldrucker Pro2 der Fa. Denseo (Aschaffenburg) kennen. Dazu gehörten Implantat-Abformlöffel, Modelle mit herausnehmbaren Stümpfen und ein aus einem DVT segmentierter Oberkiefer (Abb. 6 bis 11). Für die Segmentierung von Objekten lässt sich die Open-Source-Software 3D-Slicer

4

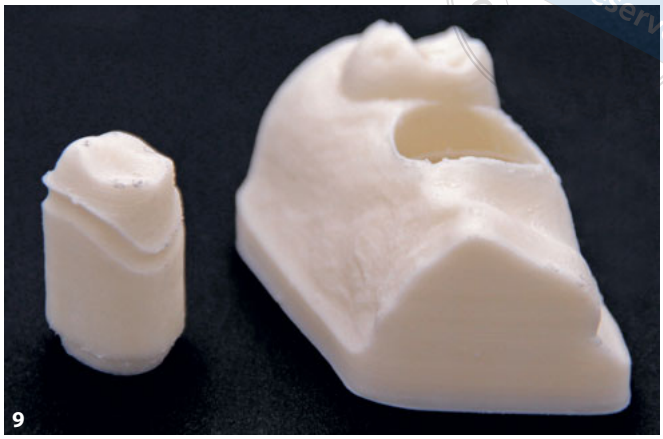
5

6

7

Abb. 4 Abformlöffel, mit Blender konstruiert und im RF1000 gedruckt. **Abb. 5** Bewegliches Objekt und Modell, vom Autor auf dem privaten RF100 gedruckt. **Abb. 6** Implantatlöffel. **Abb. 7** Gedruckter konfektionierter Abformlöffel.

copyright by all rights reserved



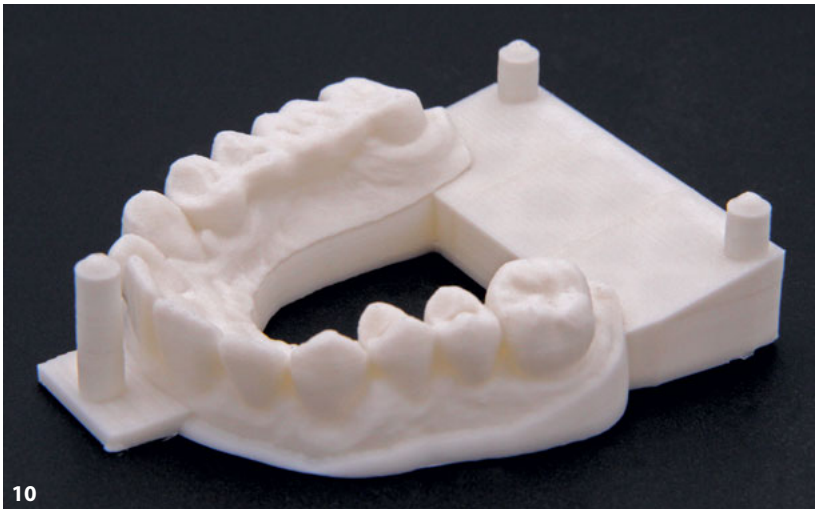


Abb. 8 Modellsegment. **Abb. 9** Modellsegment mit Stumpf. **Abb. 10** Vollständiges Modell. **Abb. 11** Segmentierter Oberkiefer aus einem DVT.

(www.slicer.org) einsetzen. Damit kann ein Backward Planning unterstützt werden. Die Oberflächenqualität der Objekte war beeindruckend. Die Kunden nahmen nach Angaben von Rainer Fehling die individuellen Löffel mit Namensgravur und verschiedenen Griffformen sehr positiv auf. Amir Zare sorgte dann noch für das Logo des Labors im Löffel, nachdem in der Schule besprochen worden war, wie mit der Software Blender die Gravur eines Logos in jedes beliebige Objekt möglich gemacht werden kann (Abb. 12).

Vorteile des FFF-Verfahrens

In vielen Labors hat sich das deutlich genauere Stereolithografie-Verfahren etabliert. Die Photopolymerisate für die Stereolithografie-Drucker sowie die Drucker selbst sind allerdings relativ teuer, sie müssen nach jedem Druck mit Isopropyl-Alkohol aufwendig gesäubert und in speziellen Polymerisationsgeräten nachpolymerisiert werden. Dabei muss der Arbeits- und Gesundheitschutz genau befolgt werden, da die unpolymerisierten Mono- bzw. Oligomere gesundheitsschädlich sind. Die gefertigten Objekte müssen nach der Verwendung thermisch entsorgt werden, da sie nicht kompostierbar sind. Es entstehen Unmengen von

copyright by all rights reserved Quintessenz

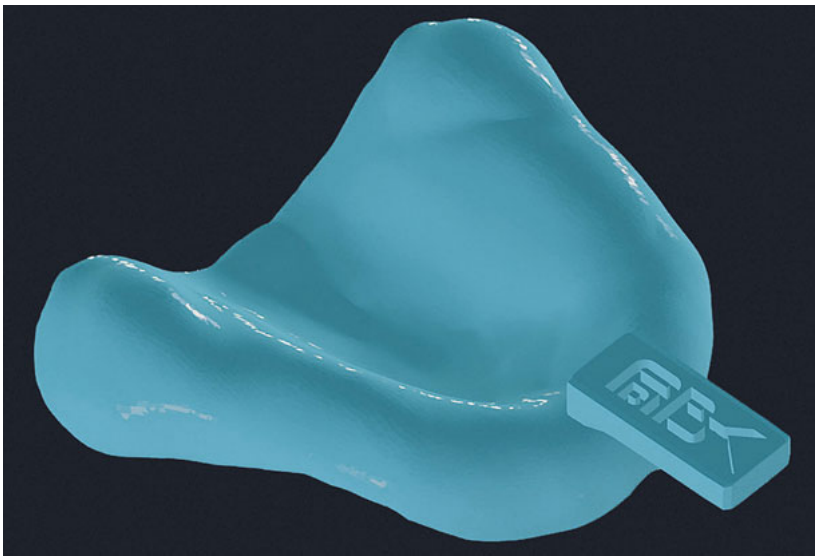


Abb. 12 Blender-Konstruktion mit Logo im Griff.

Plastikmüll, beispielsweise bei der Herstellung der vielen Situationsmodelle für die Aligner-Herstellung in Billiglohnländern. Das ist nicht nur ökologisch, sondern auch sozial bedenklich.

All das fällt bei den thermoplastischen FFF-Druckern weg. Der Werkstoff PLA, der sich zum Standard für das FFF-Drucken entwickelt hat, ist nach Kenntnis des Autors nicht gesundheitschädlich. Die Polymilchsäure wird meist aus Maisstärke hergestellt, kann als biokompatibel bezeichnet werden und ist in industriellen Anlagen unter bestimmten Bedingungen kompostierbar. Das Recyceln der gedruckten Modelle zu neuem PLA ist ebenfalls möglich. PLA wird vom menschlichen Körper resorbiert und beispielsweise bei der Herstellung von selbstauflösenden Wundnahtfäden verwendet. Der Werkstoff kann damit nach Ansicht des Autors als „Biokunststoff" bezeichnet werden.

Die Festigkeit von themoplastisch verarbeitetem PLA ist deutlich geringer als die von chemoplastisch verarbeitetem Photopolymerisat. Allerdings genügen ca. 60 MPa, um z. B. individuelle Löffel und Situationsmodelle in ausreichender Festigkeit herzustellen.

Fazit

Zusammen mit der CAD-Konstruktion mit Open-Source-Software wie Blender ergibt sich mit dem FFF-Verfahren, das ständig verbessert und weiterentwickelt wird, ein interessantes Potenzial für eine industrieunabhängige Fertigung in handwerklichen Dentallabors und für den Unterricht in den Berufsschulen. Weitere PLA-Varianten machen beispielsweise elastische Objekte möglich. Es ist auch mit Holz oder Metall gefülltes PLA erhältlich.

Eine frühzeitige und intensive Ausbildung im digitalen Workflow unter Einbeziehung alternativer Verfahren und interessanter (Open-Source)-Software vermittelt Kompetenzen, die zukünftigen Zahntechnikern wichtige Zukunftsperspektiven aufzeigen.

Literatur

1. O.A. RapMan. https://reprap.org/wiki/RapMan. Zugriff am 05.02.2020.

Markus Lensing
Albrecht-Dürer-Berufskolleg
Bildungsgangleitung Zahntechnik
Paulsmühlenstr. 1
40597 Düsseldorf
E-Mail: markus.lensing@schule.duesseldorf.de