

Additive Fertigungstechniken: der 3D-Drucker

Teil 4: Der 3D-Multimaterial-Druck und andere Technologien

In den vorangegangenen Teilen ihres Beitrags hat Dr. Christin Arnold, Dipl.-Ing. (FH), die Funktionsweise additiver Techniken im Dentalbereich beschrieben und ist auf Drucker und Druckmaterialien eingegangen, die mit dem Prinzip Stereolithografie (STL/SLA) und speziell der „Maskenbelichtung“ (DLP) arbeiten. Hierfür haben sich die meisten Anbieter mit dentalem Geschäftsfeld entschieden. Im hier folgenden letzten Teil der Serie werden weitere Verfahren vorgestellt, die ebenfalls dentale Einsatzgebiete haben, jedoch (bisher) von den Herstellern nicht so häufig angewendet werden.

Hinsichtlich der PolyJet-Technologie ist das nicht verwunderlich. Denn dieser liegen Patente zugrunde, die fast nur vom Erfinder selbst genutzt werden. Dies war die deutsche Firma Objet, die in Stratasys aufgenommen ist.

Die PolyJet-Technologie: Mikrotröpfchen aus der Düse

Die Firma Stratasys empfiehlt für den Einstieg den Drucker **Objet30 Dental Prime** (82,5 (B) × 62 (T) × 59 (H) cm; 106 kg; Abb. 15). Der Drucker basiert – dem Tintenstrahldruckerprinzip ähnlich – auf der PolyJet-3D-Drucktechnologie („Jet“ = Düse). Vereinfacht beschrieben wird aus Kartuschen über entsprechende Schläuche und Pumpen flüssiger lichthärtender Kunststoff über äußerst dünne Düsen – die linear an Druckköpfen angeordnet sind – in feinsten Tröpfchen schichtweise auf eine Bauplattform aufgespritzt. Die horizontalen Schichtstärken des Objet30 Dental Prime können bis zu 16 µm dünn sein (z-Achse 1.600 dpi; dots per inch), die Bauplattformgröße beträgt 300 × 200 × 100 mm. Die Auflösung in Richtung x und y liegt bei 600 dpi. Um Kantenpräzision gewährleisten und eventuelle Überhänge fertigen zu können, sind Stützkonstruktionen nötig. Das Stützmaterial – kostengünstiger als das Baumaterial – ist ebenfalls in Kartuschen erhältlich (SUP705) und wird gleichzeitig mit aufgespritzt. Nach dem Druck ist dieses einfach manuell, beispielsweise mit

einem Wasserstrahl, entfernbar. Die Modelle erscheinen nach Entfernung der Stützstruktur matt. Bei Verzicht auf die Stützstruktur erscheinen die Oberflächen der gedruckten Objekte glänzend – diese weisen dann eine höhere Oberflächenstabilität auf. Dagegen sind die Modelle im matten Druck genauer. Ein Nachhärten der gedruckten Objekte ist nicht notwendig – und damit auch kein separates Blitzlichtgerät, da unmittelbar nach dem Aufsprühprozess die Schichten mittels UV-Lichts polymerisiert werden, quasi in einem Arbeitsgang. Die Software **Objet Studio** ist beim Kauf des Druckers enthalten. Theoretisch kann das ganze Spektrum der zahnmedizinischen Anwendungen abgedeckt werden. Mittels eines integrierten Sensors sollte die Maschine – vor allem bei den biokompatiblen Materialien – einmal pro Woche kalibriert werden. Zudem empfiehlt Systemtechniker Simon Dursch (CINTEG AG) eine liegende Position der Modelle, um die Fläche auszunutzen und die Herstellungszeit zu minimieren. Er beschreibt den Materialwechsel als einfach und ohne aufwendige Säuberungen. Je nach Bedarf und Nutzung kann zwischen den Modi **High Quality** mit einer Auflösung von 16 µm und **High Speed** mit einer Präzision von 28 µm gewählt werden. Die Grundlage für den Druck sind die Dateitypen **.stl** oder **.obj**. Laut Dursch sind die Maschinen für den Dauerbetrieb konstruiert und bei entsprechender



Abb. 15: *Objet30 Dental Prime* von Stratasys.



Abb. 16: *Stratasys J700 Dental*.

Nutzung langlebig und wartungsarm. Verschleißteile wie Druckköpfe und „UV-Licht“ können vom Anwender ausgetauscht werden. Für den Objet30 Dental Prime werden explizit drei Modellmaterialien angeboten: MED610, ein klares biokompatibles Material für temporäre Anwendungen (Bohrschablonen und Schienen); VeroGlaze (MED620), ein blickdichtes Material in der Farbe A2 ebenfalls für temporäre Anwendungen (bis 24h), und VeroDentPlus (MED690) für zahnmedizinische und kieferorthopädische Modelle sowie Abformlöffel.

Weiterhin bietet Stratasys explizit Drucker an, die für die Modellherstellung in der Kieferorthopädie konzipiert sind (Aligner-Therapie). Darunter zählen der **Objet30 OrthoDesk** und die Messeneuheit **Stratasys J700 Dental** (Abb. 16). Stratasys stellt mit dem J700 den Laboren ein Gerät für hohe Produktivität zur Verfügung. Auf einer einzigen Plattform können täglich mehr als 450 Zahnkränze von individuellen Aligner-Modellen produziert werden. Stratasys bewirbt das strapazierfähige Modellmaterial VeroDent (MED670), es ermöglicht beschleunigte Produktionsprozesse, eine gute Präzision und die minimale, automatisierte Nachbearbeitung.

Mit entsprechendem Drucker-Know-how in Kombination mit der sogenannten Triple-Jetting-Technologie besteht die Möglichkeit, innerhalb eines Druckvorganges, d. h. gleichzeitig, die Anatomie (Abb. 17a u. b) wie beispielsweise Nervenfasern, Kiefer und Zähne, zahnfleischähnliche Texturen (gummiartig) sowie natürliche Zahn- und Zahnfleischschattierungen zu drucken. Schlussfolgernd variieren die Materialien dabei nicht nur optisch, sondern auch hinsichtlich ihrer Eigenschaften (z. B. Shore-Härte). Beispielsweise in der Oralchirurgie und plastischen

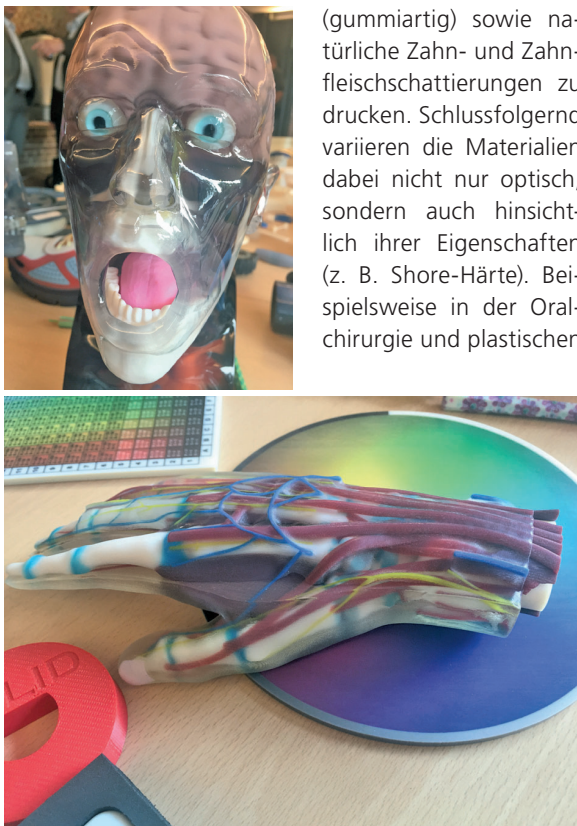


Abb. 17a u. b: Im Multimaterialdruck entstehen in einem Arbeitsgang Objekte wie diese: farbig und mit unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften.

© Simon Dursch, CINTEG AG, dent-e-con, Stratasys

Kopfchirurgie dienen solche Modelle der Operationsplanung. In der Medizin und Zahnmedizin wachsen die Aufgaben; denkbar ist der Druck einer vollständigen Totalprothese mit Dauerzulassung für den Einsatz im Patientenmund. Im Einmaterialdruck werden schon heute Implantate gedruckt, z. B. für Hüftgelenke. Die „eigentliche“ Polyjet-Technologie mit Multimaterialdruck kommt insbesondere industriell zum Einsatz. Es werden z. B. Schutzhelme, die innerhalb ihrer Struktur mehrere Farben und Härten/Flexibilitäten aufweisen, in einem einzigen Druckvorgang auf der Bauplattform gefertigt. Auch für Schuhe oder Sonnenbrillen mit Kunststoffgläsern und vieles andere mehr wird dieses Verfahren eingesetzt.

Designen mit „Kunststoffäden“

Für dieses Verfahren gibt es zwei Bezeichnungen: FFF (Fused Filament Fabrication) und FDM (Fused Deposition Modelling). Der letztere Ausdruck und die Abkürzung sind geschützte Marken der Firma Stratasys. Der Druck aus dem Faden wurde von S. Scott Crump erfunden und patentiert, dem Mitgründer von Stratasys. Die Alternativbezeichnung FFF wurde geprägt, um zu einem unabhängigen, markenrechtsfreien Wortgebrauch zu kommen. Stratasys setzt das FDM-Verfahren jedoch nicht im Dentalbereich ein.

Auf der diesjährigen IDS präsentierte die Firma Johannes Weithas mit ihrem Partnerunternehmen Valplast Inc. einen **Valplast-3D-Drucker**-Prototyp für die Herstellung von Teilprothesen. Hier wird faden-/drahtförmiger thermoplastischer Valplast-Kunststoff („Filament“; Abb. 18a-c) im FFF-Druckverfahren aufgeschmolzen. Anhand zuvor generierter CAD-Daten baut sich die Prothese schichtweise bzw. spiralförmig auf. Valplast-Prothesen stehen für eine metallfreie Versorgung des Patienten. Der Prozess ist polymerisationsfrei, eine Gefahr durch allergieauslösende Stoffe, so Weithas-Geschäftsführer Thies Elteste, sei nicht gegeben. Allerdings eignet sich das FFF-Druckverfahren aufgrund der geringeren Auflösung nur für „gröbere“ zahntechnische Arbeiten wie Prothesenbasen, Funktionslöffel und manchmal auch Kontrollmodelle.

Die Firma Johannes Weithas stellte zudem die **Weiton-3D**-Produktfamilie vor. Diese 3D-Kunststoffe lassen sich im Digital Light Processing (DLP) bzw. Stereolithografie-Druck verarbeiten. Die **Weiton-3D**-Kunststoffe sind gemäß ihrer Indikation CE-zertifiziert und bieten laut Thies Elteste die Sicherheit, ein umfangreich geprägtes Produkt zu erhalten.

Das gleiche Prinzip des FFF-3D-Druckverfahrens für die Herstellung von Modellen nutzt der Drucker **STRATUS Dental 3D** des italienischen Unternehmens NUOVA A.S.A.V. Zur Glättung der äußerlich sichtbaren Layerstrukturen und zur Verbesserung der Oberflächengüte müssen die Modelle nach dem Druckprozess einer chemischen Politur unterzogen werden. Dafür bietet NUOVA einen speziellen Tank (STFUSION) in Kombination mit Aceton an.

Der 3D-Metalldruck

Auch im Bereich der Metallverarbeitung ist die additive Fertigung effizient und bei speziellen Geometriewünschen im Vergleich zum Fräsen essenziell. Für Interessierte gab es zur IDS auch in diesem Bereich einiges zu erkunden. Das Verfahren beruht auf dem selektiven Laserschmelz- bzw. Lasersinterverfahren (SLM bzw. SLS). Prinzipiell wird ein auf einer Bauplatte gleichmäßig verteiltes pulverförmiges Metall mit einem hochenergetischen Faserlaserstrahl lokal – exakt nach 3D-CAD-Daten – hocherhitzt, bis zum Schmelzen oder Sintern. Die Bauplattform senkt sich ab, es erfolgt ein Neuauftrag von Pulver und die Vorgänge wiederholen sich, Schicht für Schicht wird so aneinandergefügt. Die Schichtstärken liegen dabei zwischen 15 und 150 µm. Das nicht aufgebrauchte Metallpulver wird wieder verwendet.

Die Concept Laser GmbH präsentierte die Metall-Laserschmelzanlage **Mlab using R** und die größere Maschine **Mlab using 200R**. Neben den klassischen edelmetallfreien Co-Cr-Mo-Legierungen können diese Maschinen beispielsweise auch den reaktiven Werkstoff Ti verarbeiten. Möglich wären aber auch Edelstahl oder Edelmetalle wie Gold, Platin oder Silber. Exklusiv in Concept Laser-

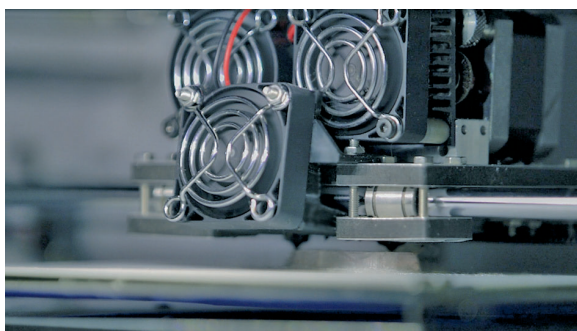
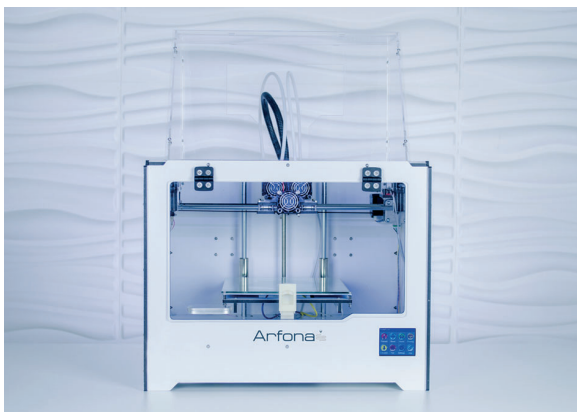


Abb. 18a-c: Valplast-„Draht“ und FFF-3D-Druckverfahren (Fused Filament Fabrication) von Weithas und Valplast.

© Thies Elteste, Firma Weithas

Maschinen wird die patentierte und klinisch bewährte edelmetallfreie Legierung remanium star von Dentauroam verarbeitet, die als remanium star CL in laserschmelzbarem Legierungspulver vorliegt.

Die SLM Solutions Group AG zeigte die **SLM DENTAL 125** und stellte für höhere Produktionszahlen die **SLM DENTAL 280** vor. Das kompakte 125er-Modell empfiehlt Philip Oris von SLM Solutions für kleine Werkstücke. Neben Kronen und Brücken werden Klammerprothesen als herzustellende Produkte angegeben. Pro Durchgang entstehen rund 100 bis 115 Kronen und Brücken. Es können auch Reintitan und Ti-Legierungen verarbeitet werden. Nach dem Druckprozess ist es laut Oris wichtig, dass die Objekte mit Platte und Support spannungsarm gegläht werden. Nur so lassen sich Verzüge und damit schlechte Passungen vermeiden. Oris wies zudem explizit auf die Arbeitsschutzmaßnahmen des bedienenden Personals hin. Metallpulverteilchen sollten unter keinen Umständen in die Lunge oder Augen gelangen. Neben der Empfehlung zu entsprechender Schutzkleidung hat SLM Solution einen sauberen Materialwechsel integriert.

Die O.R. Lasertechnologie GmbH stellte mit **ORLAS CREATOR** einen 3D-Metalldrucker nach dem Laserschmelzverfahren für kleine und mittelständische Unternehmen vor. Zum Gerät werden Wireless Controlling und die CAD/CAM-Software angeboten. Verarbeitet werden CoCr und Ti, Edelmetalle sind auch möglich.

Für sehr große Labore zeigte Renishaw die Laserschmelzanlage **Renishaw RenAM 500M** (500 W Ytterbium-Faserlaser) an. Das Bauvolumen beträgt 250 × 250 × 350 mm. Mit dem patentierten dualen Hochleistungsfiltersystem SafeChange können Bauprozesse länger in einer stabilen und kontrollierten Atmosphäre gefahren werden. Die Filter fangen Prozessemissionen sicher und effizient auf, das Sieben und Rückführen von Pulver vollziehen sich automatisch. Hieraus ergeben sich eine Reduzierung des manuellen Handlings und der Belastung durch Werkstoffe sowie die Sicherstellung der anhaltenden Metallpulverqualität.

Die Firma EOS hat den Metalldruck zum „Direkten Metall-Laser-Sintern“ (DMLS) weiterentwickelt. Das Unternehmen wertet seinen Fertigungsprozess über zahlreiche qualitätssichernde Maßnahmen auf: anhand von Referenzobjekten (Maschinenparameter) und Prüfungen der Pulvercharge. EOS bietet validierte Fertigungsprozesse. Dipl.-Ing. Helmut Strahl empfiehlt die **EOS M 100** als Einsteigermodell. Aus CoCr und Ti können Modellgussprothesen, Kronen und Brücken hergestellt werden. EOS CobaltChrome SP2 und EOS CobaltChrome RPD sind dabei zwei Medizinwerkstoffe der Klasse IIa für Dentalanwendungen. EOS bietet zudem Fertigungssysteme im Bereich der Kunststoff-Laser-Sinter-Technologie. Als Einsteigermodell liefert die **FORMIGA P 110** Bauteile mit hoher Detailauflösung aus Polyamid (PA), Polystyrol (PS), Thermoplastischem Elastomer (TPE) und Polyaryl-etherketon (PAEK).

Den Metalldruck gibt es auch aus dem Hause BEGO. Das beauftragende Labor fertigt aber nicht selbst an eigenen Maschinen, sondern lässt bei diesem Bremer Dentalunternehmen fertigen, im selektiven Laserschmelzverfahren.

Ausblick

Die diesjährige IDS zeigte im Bereich der additiven Fertigung nur den Ausschnitt des heute Machbaren. Der 3D-Druck stellt sich im Dentalbereich noch als „kleines Pflänzchen“ neben die automatisierte Frästechnik. Ihm wird aber insgesamt eine große Zukunft vorausgesagt, bedeutender als dem automatisierten Fräsen. Gründe liegen einerseits in der schier unbegrenzten Palette der realisierbaren Geometrien – hypothetisch bis hin zu Kugelkopf-Implantaten –, andererseits im geringeren Materialverbrauch und drittens später auch im Materialmix.

Heute ist allerdings das druckbare Materialspektrum für dentale Indikationen noch klein. Für andere Anwendungen können z. B. auch Beton und Industriekeramik gedruckt werden. Im Rahmen des europäischen und amerikanischen Projekts „Industrie 4.0“ geht es auch darum, neue Werkstoffe druckfähig zu machen, und für den Dentalbereich steht die Eroberung der definitiven Materialien an. Wenn Dentalkeramik und auch anderes für den dauerhaften Einsatz im Mundmilieu gedruckt werden kann, besonders auch in Materialkombination, wird eine ganz neue Ära des 3D-Drucks anbrechen. Konkret arbeitet z. B. XJet, eine Ausgliederung aus Stratasys, schon daran, per „NanoParticle Jetting“ Metall (CoCr, Gold, Titan) in Tröpfchen aus der Düse auf die Bauplattform zu spritzen. Ebenso hat XJet Dentalkeramik einschließlich Zirkoniumdioxid, Kunststoffe für die Prothesenbasis und für Prothesenzähne und noch mehr Materialien im Visier. Eines Tages soll der komplette Zahnersatz in einem Arbeitsgang gedruckt werden können.

Dr. Christin Arnold

Martin-Luther-Universität
Halle-Wittenberg
Universitätsklinik und Poliklinik
für Zahnärztliche Prothetik
E-Mail: christin.arnold@medizin.uni-halle.de



- 1996–2001 Berufsausbildung zur Zahntechnikerin und anschließende Tätigkeit bei Dental-Technik Wiederitzsch GmbH in Leipzig
- 2001–2002 Zahntechnikerin bei SRZ (Studio für restaurative Zahntechnik) Schubert & Winter in München
- 2002–2006 Studium der Dentaltechnologie an der Fachhochschule in Osnabrück
- 09/2004–02/2005 Praxissemester bei Heraeus Kulzer GmbH in Hanau
- 2006 Abschluss als Dipl.-Ing. (FH)
- 04/2006–12/2006 Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Labor für Metallkunde und Werkstoffanalytik der Fachhochschule Osnabrück, Fakultät Ingenieurwissenschaften & Informatik
- seit 01/2007 Wissenschaftliche Mitarbeiterin der Universitätsklinik und Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik des Departments für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
- 11/2013 Promotion zum Dr. rer. medic. (Thema: „Retentionsverhalten teleskopierender Doppelkronen mit und ohne zusätzliche Halteelemente – eine In-vitro-Studie“)

Die komplette vierteilige Reihe zu additiven Fertigungstechniken, 3D-Druckern und druckfähigen Materialien ist unter www.ztm-aktuell.de/arnold nachzulesen. Dort ist außerdem eine umfangreiche Liste von Herstellern und Anbietern einsehbar. Diese wurde ebenfalls von der Autorin recherchiert und zusammengestellt und gibt den Stand zur Zeit der Internationalen Dental-Schau 2017 in Köln wieder.

Zahngold ist Bargeld



m&k gmbh
Im Camisch 49, 07768 Kahla
Fon 036424/811-28
www.mk-edelmetall.de