

Der 3D-Druck und seine scheinbar unbegrenzten Möglichkeiten

ZTM Christian Scholl



Der folgende Artikel gibt Einblicke in die dentale 3D-Druck Technologie und deren Möglichkeiten für die Herstellung zahnmedizinischer Produkte. Es soll aber auch dargestellt werden, dass in diesem Bereich noch Unsicherheiten und Vorurteile existieren. Der Autor Christian Scholl ist Leiter des Metaux Precieux Fertigungszentrums in Stuttgart. Im vorliegenden Artikel will er aufzeigen, was der 3D-Druck für die dentale Anwendung leisten kann, was aus seiner Erfahrung heraus Sinn macht und wie er die Zukunft dieser Technologie einschätzt.

Indizes: 3D-Druck, DLP-Technologie, Pixel Stitch Technology, MetaNova, NextDent-Materialien

Einleitung

Die Digitalisierung zahntechnischer Fertigungsprozesse ist aus der heutigen Zahntechnik nicht mehr wegzudenken. Die Arbeitsprozesse haben sich durch den Einsatz digitaler Techniken enorm verändert: Prozesse lassen sich beschleunigen und/oder vereinfachen. Zeit und Kosten können reduziert werden. Darüber hinaus sind neue Werkstoffe und somit auch neue Restaurationsmöglichkeiten erschlossen worden, die zuvor unvorstellbar waren. Der 3D-Druck gilt in der Zahntechnik als Zukunftstechnologie, die das Potenzial besitzt, die herkömmlichen Fertigungstechniken zu revolutionieren (Abb. 1). Diese Revolution hat bereits begonnen, denn was vor einigen Jahren noch utopisch war, ist inzwischen Realität: Alles scheint druckbar zu sein, und die Auswahl an Geräten und Materialien ist unglaublich vielfältig und scheinbar grenzenlos. Der richtungsweisende Impuls wurde bereits gegeben und es wird erwartet, dass diese Entwicklung innerhalb kürzester Zeit noch breitere und flexiblere Einsatzmöglichkeiten für die Zahntechnik eröffnet. Viele Dental- und Praxislabor haben bereits die Digitalisierung ihrer Arbeitsabläufe vorgenommen, und diese Entwicklung nimmt stetig

zu. Dabei ist es allerdings wichtig, dass bei der Ablösung von bewährten Arbeitsabläufen die bisherigen Qualitätsansprüche und Eigenschaften weiterhin garantiert werden können: Erfolg hat hierbei nur, wer die Möglichkeiten, Grenzen, den damit verbundenen Aufwand dieser Technologie richtig einschätzen kann und sich eingehend mit der Komplexität des 3D-Druck-Prozesses beschäftigt.



Abb. 1: DLP-Drucker als alternative Fertigungstechnologie. Können sie die Zahntechnik revolutionieren?



Abb. 2: Additive Verfahren zeichnen sich durch eine hohe Produktivität aus – in einem Druckprozess können viele Bauteile gleichzeitig gefertigt werden

Die scheinbar grenzenlose Vielfalt in Bezug auf Geräte und Materialien kann verunsichern und führt zu einer Intransparenz bei vielen Zahntechnikern. In diesem Zusammenhang sollte auch geklärt werden, dass unter dem Oberbegriff 3D-Druck eine Vielzahl von Fertigungstechnologien zusammengefasst sind. Eines haben diese unterschiedlichen Technologien allerdings gemein, nämlich das Verfahren, Objekte additiv, also aufbauend, herzustellen (Abb. 2). In der Regel werden die Geometrien dabei Schicht für Schicht gedruckt. Aber ob dieser Druck nun durch Aushärten von flüssigen Kunststoffbädern mittels Licht wie bei der SLA-/DLP-Technologie, über das Aufschmelzen eines Filaments (Kunststoffaden) nach der FDM-Methode, das Aufbringen von flüssigem Kunststoff wie bei der Inkjet-Methode oder durch das Verfestigen von Pulver mittels Laser im SLM-/SLS-Verfahren erfolgt, kann dem Begriff des 3D-Drucks nicht entnommen werden.

Technologie

Die additive Fertigungsmethode mag auf den ersten Blick als einfache Technologie erscheinen, die die 3D-Objekte in einzelne Objektschichten zerlegt und anschließend Schicht für Schicht mit entsprechendem Material aufbaut. Bei genauerer Betrachtung offenbart sich allerdings die hohe Komplexität dieses Prozesses, bei dem viele Faktoren berücksichtigt werden müssen: Um eine funktionierende 3D-Druck-Prozesskette aufbauen zu können, muss der Anwender sowohl Schrumpfung berücksichtigen, Verzerrungen in den optischen Komponenten vermeiden als auch eine hohe Oberflächengüte erzielen und Prozesssicherheit gewährleisten. Wenn Druckobjekte in der von der Zahntechnik geforderten Qualität und Präzision entstehen sollen, ist das Zusammenspiel von Technologie, Gerät, softwaregesteuerter Belichtung und verwendetem Material essenziell (Abb. 3).



Abb. 3: Nur durch das perfekte Zusammenspiel der einzelnen Prozessschritte kann die Qualität im 3D-Druckverfahren erzielt werden.

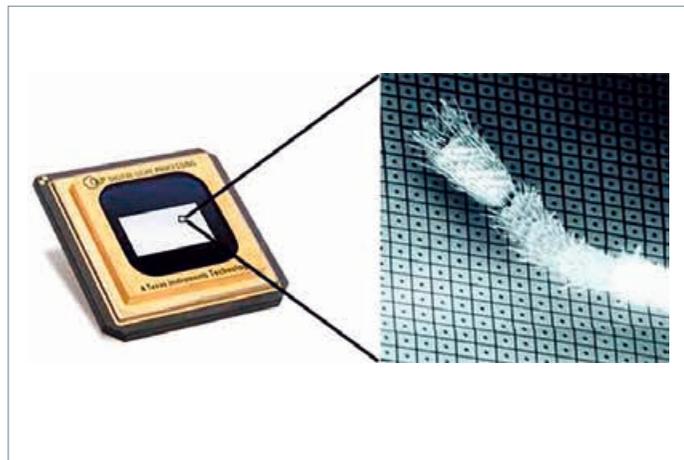


Abb. 4: Das Herzstück der DLP-Technologie ist der DMD-Chip (Digital Micromirror Device), eine digitale Mikrospiegel-Einheit. Hier im Größenvergleich mit einem Ameisenfuß.

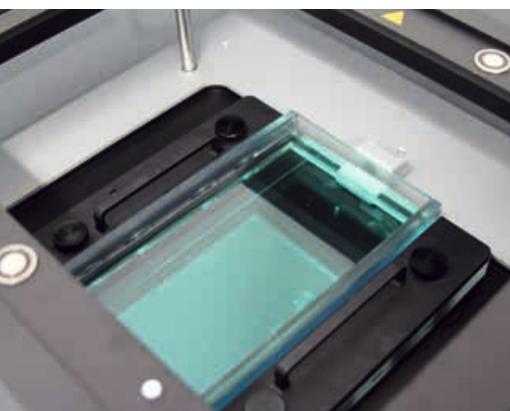


Abb. 5: Ein Vorteil der DLP-Technik besteht darin, dass sie sehr ressourcenschonend ist und für die Produktion nur eine geringe Füllmenge benötigt wird.

Das Digital Light Processing – kurz DLP – ist eine der meist verbreiteten 3D-Drucktechniken in der Dentalbranche. Bei der DLP-Technologie belichtet, die LED-Lichtquelle eine gesamte Schicht (in der Größe der Projektionsfläche des Projektors) aller auf der Bauplattform befindlichen Objekte gleichzeitig und spart somit Zeit ein – im Vergleich dazu wird beim SLA-Verfahren die Schicht nur mit einem Laserstrahl abgefahren. Das heißt, beim DLP Drucker erfolgt die Belichtung flächig und nicht punktuell über einen Laserstrahl (Abb. 4). Dabei wird Schicht für Schicht belichtet, und die Bauplattform des DLP-Druckers wird angehoben, um die nächste Schicht belichten zu können. Dabei bewegt sich die Bauplattform aus dem Kunststoffbad heraus, weshalb die Kunststoffflüssigkeit nur das Objekt an der Belichtungsseite bedecken muss. Dadurch lässt sich die Menge des benötigten flüssigen Kunststoffes in der Materialwanne auf ein Minimum reduzieren. Dies ist ein entscheidender Vorteil gegenüber herkömmlichen, subtraktiven Fertigungsverfahren wie z.B. dem Fräsen, denn bei der Druck-Produktion wird sparsam mit den Ressourcen umgegangen, und es entsteht nur wenig Abfall. Beschränkt sich der Materialverbrauch hier ja lediglich auf den Aufbau jener Teile, die gebraucht werden. (Abb. 5)

Belichtung

Beim DLP-Druck gibt es verschiedene Belichtungszyklen, und nach jedem einzelnen Zyklus hebt sich die Bauplattform an, wobei sich die belichtete Schicht vom Materialwannenboden ablöst. Damit eine komplette Ablösung der Schicht erfolgen kann, muss die Bauplattform über den eingestellten Bereich der Schichtdicke (25 bis 200 μm) hinaus angehoben werden. Dieser Ablösungsprozess der belichteten Schicht vom Boden der Materialwanne hat entscheidenden Einfluss auf die Prozesssicherheit und die Dauer des Druckvorgangs. Problematisch wird es dann, wenn die Bauplattform nicht weit genug angehoben wird und sich dadurch Teilbereiche des Druckobjektes nicht ablösen. Der Druckprozess wäre somit fehlerhaft oder würde abgebrochen werden. Auf der anderen Seite garantiert ein zu starkes Anheben der Bauplattform zwar Prozesssicherheit, ist aber mit einer deutlich höheren Fertigungszeit verbunden. Mit seiner sensorgesteuerten Separationsüberwachung tritt der MetaNova Print Ultra (Meteaux Precieux Dental GmbH, Stuttgart) dieser Problematik entgegen, die mittels eines Laser-Lichtstrahls feststellt, wann sich die Schicht komplett vom Wanneboden abgelöst hat (Abb. 6). Dies hat auch den Vorteil, dass die Bauplattform anschließend direkt wieder auf die benötigte Schichtstärke abgesenkt werden kann und sich somit sowohl die Zuverlässigkeit des Fertigungsprozesses erhöht als auch eine Zeitersparnis von bis zu 40% pro Druckprozess erzielen lässt. Ein weiteres Plus dieses Verfahrens ist, dass durch die unterschiedlich starke Belichtung auch die Aushärtung variiert werden kann, wodurch sich beispielsweise Stützkonstruktionen leichter entfernen lassen, wenn diese nicht komplett ausgehärtet sind.

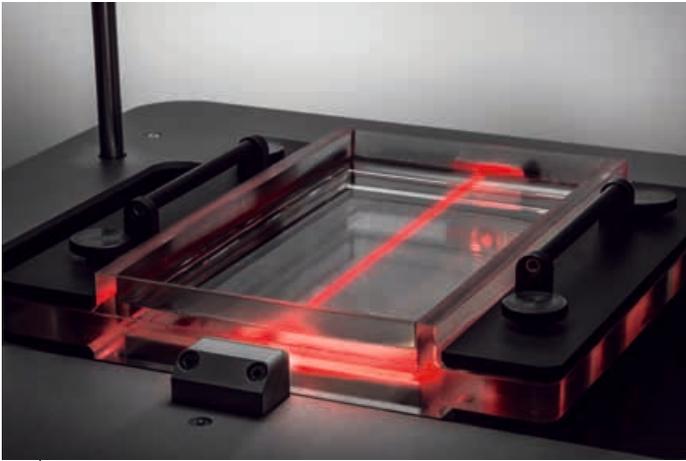


Abb. 6: Der MetaNova Print Ultra Drucker ist mit einer sensorgesteuerten Separationsüberwachung ausgestattet, die die Prozesssicherheit erhöht und gleichzeitig die Fertigungszeit reduziert.

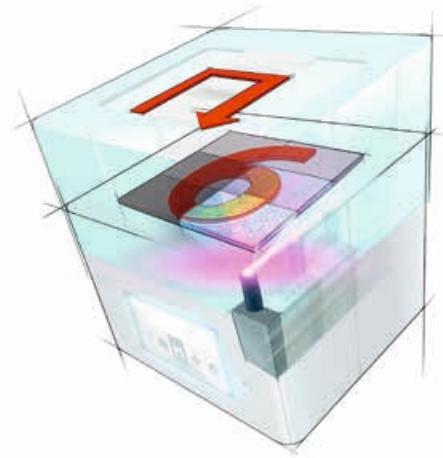


Abb. 7: Die sogenannte Pixel Stitch Technology ermöglicht bei der Belichtung eine gleichbleibend hohe Auflösung der gesamten Bauplattform.

Entscheidend für die Anzahl der zu fertigenden Druckobjekte ist die Größe der Bauplattform: sprich je größer die Bauplattform, umso mehr oder größere Druckobjekte können in einem Aufbauprozess gefertigt werden. Eine größere Bauplattform setzt jedoch eine aufwendigere Belichtungstechnologie voraus. Dieses Erfordernis wird bei den Herstellern von 3D-Druckern ganz unterschiedlich gelöst: Bei manchen Geräten wird für die komplette Belichtung der gesamten Bauplattform eine Lichtquelle verwendet, wobei hierbei die Gefahr besteht, dass durch eine enorme Vergrößerung die Lichtprojektion in den Randzonen verzerrt wird und dies zu einer verringerten Beleuchtungshomogenität führt. Eine Herangehensweise besteht auch darin, eine fest installierte Lichtquelle für eine kleinere Projektionsfläche einzusetzen und mit einem Spiegelsystem die Projektionsfläche auf einen weiteren Bereich auf der Bauplattform umzuleiten. Aber auch bei dieser Methode sind lichteoptische Verzerrungen in Kauf zu nehmen.

Das MetaNova Print Ultra-System ist mit der sogenannten Pixel Stitch Technology (PST) ausgestattet, die die gesamte Belichtungseinheit bewegt und dadurch Verzerrungen vorbeugt (Abb. 7). Anhand dieser besonderen Belichtungstechnologie kann eine stabile Projektionsfläche zu allen Bereichen der Bauplattform ausgerichtet werden und die Belichtung der gesamten Plattform erfolgt in gleichbleibend hoher Auflösung. Wichtig ist dabei, dass eine softwareseitige Überwachung der Lichtleistung des Projektors stattfindet, um sicherzustellen, dass Druckobjekte von konstant hoher Qualität hergestellt werden.

DLP-Flüssigkeiten

Das Herzstück in der dentalen Anwendung der 3D-Druck-Technologie bildet ganz klar das verwendete Material, denn eine Fertigungsmethode ist eben nur dann sinnvoll, wenn damit auch anwendbare, d.h. beim Patienten einsetzbare Produkte hergestellt werden können. Bei der 3D-Druck Fertigung werden lichtempfindliche Harze verwendet, die sich je nach gewünschter Indikation in ihren Materialeigenschaften wie Viskosität, Formstabilität, Schlagzähigkeit oder rückstandslosem Verbrennen unterscheiden. Bei der Herstellung von Bohrschablonen, Provisorien, Schienen oder Abformlöffel muss darauf geachtet werden, dass die Materialien eine Zertifizierung für die Verwendung als Medizinprodukt der Klasse I oder IIa besitzen. Für die jeweiligen Indikationen sind also verschiedene mechanische, thermische und optische Materialeigenschaften erforderlich, die durch die unterschiedliche Zusammensetzung der chemischen Komponenten wie z.B. Monomere, Füllstoffe, Initiatoren etc. erreicht werden. Ein entscheidender Faktor für die Qualität der generierten Produkte ist hierbei die Abstimmung von Geräten und Flüssigkeiten, denn für die unterschiedlichen Anwen-



Abb. 8: Die verschiedenen DLP-Flüssigkeiten ermöglichen eine Vielzahl von Indikationen

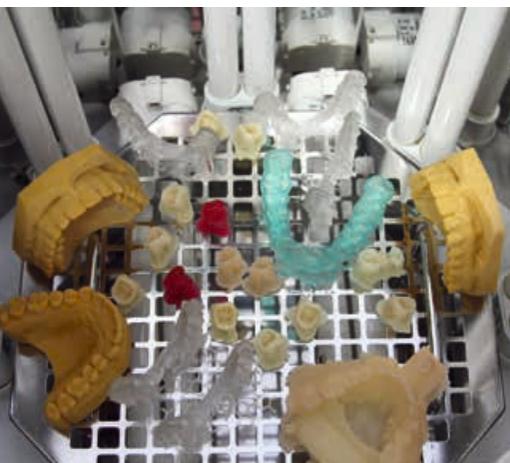


Abb. 9: Die Nachbelichtung ist ein signifikanter Bestandteil des Druckprozesses, denn nur so erhalten die DLP-Materialien die vom Hersteller angegebenen Eigenschaften.

dungsbereiche gibt es – wie eben erläutert – eine Vielzahl unterschiedlicher DLP-Flüssigkeiten. Voraussetzung ist, dass das verwendete Material für das jeweilige Druckverfahren geeignet und auf die Belichtungsleistung abgestimmt sein muss – nur so können Präzision, Oberflächengüte und Materialqualität in Einklang gebracht werden. Um perfekte Druckergebnisse erzielen zu können, müssen die Gerätehersteller und die Hersteller der 3D-Druckmaterialien eng zusammenarbeiten, denn bei der Abstimmung von 3D-Druckern und dem entsprechenden Material handelt es sich um einen komplexen Prozess. Dieses Abstimmungsverfahren wird vom Metaux Precieux Technikerteam in enger Zusammenarbeit mit den Materialherstellern mittels Spezialequipment durchgeführt und die Settings somit doppelt geprüft.

Zusätzlich bedarf es angepasster Belichtungsstrategien, um eine materialgerechte Aushärtung zu garantieren. Der MetaNova Print-Prozess ist auf die Verwendung von NextDent Materialien ausgelegt: die vorinstallierten Belichtungseinstellungen garantieren eine hochwertige Materialverarbeitung. Grundsätzlich handelt es sich bei allen MetaNova Druckern um offen konzipierte Systeme, wodurch auch Materialien von Fremdanbietern verwendet werden können. Die Parametrisierung muss dann vom Hersteller vorgenommen werden, denn neue Materialien sollten nur in Abstimmung mit den jeweiligen Herstellern auf den Geräten verarbeitet werden. Dabei sollten die vorgegebenen Produktionsprozesse unbedingt eingehalten werden, um ein zertifiziertes Endprodukt zu erhalten. Metaux Precieux steht den Anwendern bei der Parametrisierung von Fremdanbietern und -materialien gerne zur Seite. Da die Einsatzbereiche der gedruckten Objekte sehr vielseitig sind und sich von nicht medizinischen Produkten über Medizinprodukte der Klasse I bis hin zu Medizinprodukten der Klasse IIa bewegen, sollte bei den zur Anwendung kommenden Materialien eine indikationsbezogene Klassifikation vorgenommen worden sein. Die biokompatiblen DLP-3D-Druckmaterialien von NextDent (Soesterberg, Niederlande) (Abb. 8), die Metaux Precieux im Programm hat, entsprechen den Zertifizierungen der Medizinprodukterichtlinie und sind entsprechend eindeutig klassifiziert. Mit diesen insgesamt 12 Materialien lassen sich eine Vielzahl unterschiedlicher Anwendungen abdecken.

Nachbehandlung

Während die Belichtungsstrategie und die Gerätetechnologie eine wesentliche Rolle in einem qualitativ hochwertigen Druckprozess spielen, ist die Nachbearbeitung wichtig für die Materialqualität und Dimensionsstabilität. Hier kam es in der Vergangenheit immer wieder zu Materialverzug bei der Endhärtung des Materials, denn nur korrekt ausgehärtete – d.h. nachbelichtete – Objekte erzielen die vom Hersteller angegebenen Materialkennwerte und Biokompatibilitäten. Um dieser Problematik entgegenzutreten, ist der Prozess zwischen MetaNova Print Ultra, NextDent-Materialien und dem Lichthärtegerät LC-3DPrint Box von NextDent abgestimmt und somit eine materialgerechte Verarbeitung sichergestellt. Entscheidend ist hierbei eine hochqualitative Lichtquelle, die über eine sehr hohe Ausleuchtungshomogenität verfügt und somit die Spannung in den einzelnen Schichten durch die Aushärtung so klein wie möglich hält. In der LC-3DPrint Box erfolgt das vollständige



Abb. 10/11: Nur kontrollierte und abgestimmte Prozessschritte ermöglichen die Herstellung von Medizinprodukten.

Polymerisieren über 12 UV-Lampen, die im Innern der Box strategisch platziert sind und die das Druckobjekt mittels Vollspektrum-Licht (300 bis 550nm) von allen Seiten belichten. Somit wird eine schnelle und gleichmäßige Aushärtung des Druckobjekts sichergestellt, das dann die endgültigen Materialeigenschaften aufweist (Abb. 9). Dank dieser intensiven Bestrahlung, einer geregelten Wärmezufuhr sowie der optimalen Abstimmung der Lichtleistung auf das Material ist kein zusätzlicher Einsatz von Schutzgas während der Nachbelichtung nötig.

Resümee/ Ausblick

In der Herstellung von dentalen Medizinprodukten mittels 3D-Druck Technologie – wie beispielsweise ästhetische Modelle, Übertragungsschlüssel, Gerüste, individuelle Abformlöffel, aber auch Aufbiss-Schienen, Bohrschablonen oder temporäre Kronen und Brücken – liegt unglaublich viel Potenzial. Diese Technologie wird viele Fertigungsbereiche über die Zahntechnik hinaus revolutionieren. Derzeit steckt dieses additive Fertigungsverfahren noch in den Kinderschuhen, aber durch den dynamischen Fortschritt des industriellen 3D-Drucks werden auch dem dentalen Drucken neue Impulse verliehen. Diese Impulse sorgen dafür, dass die digitale Prozesskette in Labor und Praxis immer feingliedriger wird. Schon heute ist es für alle dentalen Anwender sinnvoll, sich mit dieser zukunftsweisenden, additiven Fertigungstechnologie auseinanderzusetzen, denn schon in einem sehr kurzen Zeitraum wird sie einen festen Platz in der Zahntechnik eingenommen und bereits die ein oder andere subtraktive Technologie abgelöst haben.

Bevor sich ein Dentalanwender für diese Technologie entscheidet, sollte er sich zunächst einmal seine eigenen Anforderungen vor Augen halten, um festzustellen, welches 3D-Druckverfahren für seine Erfordernisse am geeignetsten ist. Die DLP Technologie erlaubt die Anwendung verschiedener Materialien in einem Gerät ohne großen Aufwand. Hier müssen lediglich die Wannen oder Kartuschen ausgetauscht werden. Die Vielfalt der zu verwendenden Materialien nimmt stetig zu, und es werden auch immer weitere Indikationsgebiete erschlossen. Deshalb ist es sinnvoll, offene DLP Drucksysteme einzusetzen, um flexibel und zukunftsfähig im Einsatz der Materialien zu sein. Doch wie bereits erwähnt, sind das Druckgerät und das eingesetzte Material nicht allein verantwortlich für die erfolgreiche Integration des 3D-Drucks in den täglichen Arbeitsprozess. Erst die Abstimmung der einzelnen Komponenten und Softwaresysteme auf das eingesetzte Material sorgen für einen verlässlichen und qualitativ hochwertigen Fertigungsprozess. Um die hohen Anforderungen an die Materialgüte bei der 3D-Druck Herstellung von Medizinprodukten sicherstellen zu können, ist es erforderlich, dass der gesamte Fertigungsprozess innerhalb definierter, gleichbleibender Bedingungen abläuft (Abb. 10/11).



ZTM Christian Scholl

Leitung Fertigung Standort Stuttgart
Metaux Precieux Dental GmbH

- August 2008 – Januar 2012:
Ausbildung zum Zahntechniker bei Marburger Dentallabor Jakob GmbH
- Februar 2012 – Januar 2015:
Zahntechniker bei Marburger Dentallabor Jakob GmbH (Bereich CAD/CAM)
- Februar 2015 – März 2016:
Fortbildung zum Meister der Zahntechnik inkl. Zusatzausbildung zur CAD/CAM/CNC Fachkraft digitaler Zahntechnik
- Seit März 2016:
Aufbau und Leitung des Fertigungsstandortes Metaux Precieux Dental GmbH in Stuttgart