



# Alles aus dem Nichts – 3D-Druck im Dentalbereich

*Spätestens seit der IDS 2015 ist der Begriff des 3D-Printings oder 3D-Druckens in den zahntechnischen Fokus gerückt. Alles schien – ohne die frästechnischen Limitationen – wie aus dem Nichts zu entstehen. Das Einsatzgebiet stellte sich unbegrenzt dar. Durch die aufbauende Verfahrensweise sind dreidimensionale Körper zu fertigen, die bei der herkömmlichen subtraktiven (abtragenden) Fertigung nur unter erheblichem Aufwand oder gar nicht zu realisieren sind. Seit zwei Jahren sind 3D-Druck-Systeme nunmehr auf dem zahntechnischen Markt. Zeit, zu beleuchten, wie sich ihr heutiger Stand darstellt und ob sich die ausgerufenen Revolution in der Fertigung auch wirklich vollzogen hat.*



**Autor**  
**Martin Wepler**  
dentalgerade consulting, Weingarten  
Telefon (01 76) 45 79 55 13  
Mail [weplerschwarzwald@gmail.com](mailto:weplerschwarzwald@gmail.com)  
[www.dentalgerade.de](http://www.dentalgerade.de)



**Autor**  
**Ralph Riquier**  
r2dental, Remchingen  
Telefon (07 23 2) 34 69 482  
Mail [home@r2dental](mailto:home@r2dental)  
[www.r2dental.de](http://www.r2dental.de)

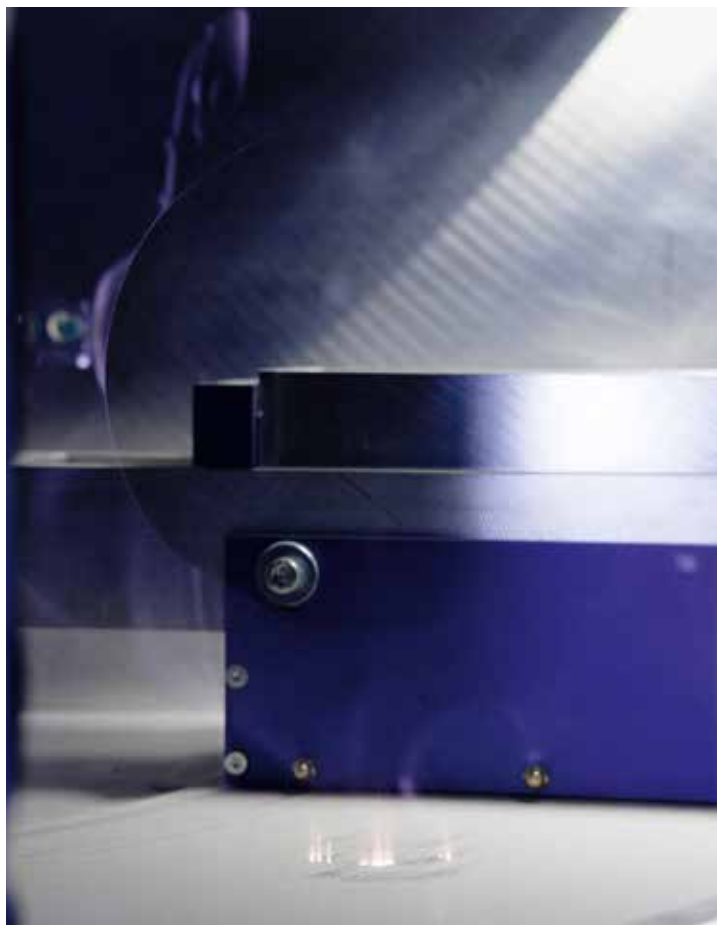
## Historie

Der Begriff des 3D-Druckens oder 3D-Printings beschreibt eine Fertigungsmethode, die in den 1980er Jahren als Alternative zur spanenden Bearbeitung entstand. Der Grundgedanke war, neben der hochtechnologischen, industriellen Serienfertigung, Systeme zu entwickeln, die 3D-CAD-Geometrien in reale Gegenstände überführen, ohne komplexe Fräsbearbeitung oder langwierige Fertigungszeiten für einzelne Objekte in Kauf nehmen zu müssen. So wurden die ersten 3D-Druck-Systeme auch hauptsächlich im Bereich des Rapid Prototypings, also des Prototypenbaus oder als Rohteile zum anschließenden Guss eingesetzt. Durch immer günstigere Varianten (2007 erschien das erste System unter 10.000 US-Dollar) und die Verbreitung von optischen 3D-Scannern sowie CAD-Software konnte ihr Einsatzbereich ständig ausgebaut werden. Trotzdem schafften sie kaum den Sprung vom Prototypenbau hin zur Serienproduktion.

Revolutionär wurde es erst 2004, als Dr. Bowyer das RepRap-Konzept vorstellte. Grundgedanke war der „sich selbst replizierende 3D-Drucker“. Revolutionär war das Konzept deshalb, da vollständig auf open source Software gesetzt wurde und so, ohne Kosten, dem Anwender eine eigene Fertigungsanlage zur Verfügung stand. Ausgangspunkt war ein 3D-Drucker, der alle seine Bauteile selbst herstellen konnte. Die Bauteile sollten dann dem nächsten Anwender kostenfrei weitergegeben werden. Dieser baut sich dann seinen 3D-Drucker selbst zusammen und druckt wiederum die einzelnen Bauteile für den nächsten Anwender. Dieses Schneeball-Prinzip sollte jedem Verbraucher die Möglichkeit geben, seine eigenen Produkte herzustellen und so nicht mehr auf Industriefirmen angewiesen zu sein. In Web-Portalen wurden 3D-Datensätze zum Selbstdrucken kostenfrei zur Verfügung gestellt. Aus unterschiedlichen Gründen wurde diese epochale Änderung der Herstellungskette bis heute nie Realität. Aber das Image einer revolutionären Fertigungsmethode hat sich der 3D-Druck trotzdem bewahrt.

## Technologie

Spricht man von 3D-Druck, so entsteht häufig der fehlerhafte Eindruck, diese Klassifikation sei mit nur einer Fertigungsmethode gleichzusetzen. Allerdings beinhaltet dieser Oberbegriff verschiedenste Bearbeitungstechnologien. Entsprechend der Zuordnung der subtraktiven Verfahren Fräsen, Drehen, Bohren, Senken et cetera als spanende Verfahren, umfasst der Begriff 3D-Druck alle aufbauenden Fertigungstechnologien. Da sich diese Fertigungsverfahren allerdings technologisch, aber auch in



01 Beim SLM/ SLS- Verfahren wird Pulver mittels Laserstrahls verfestigt

(Bildquelle: r2 dental)

Bezug auf die einzusetzenden Materialien, erheblich voneinander unterscheiden, ist die Verwendung des Begriffs 3D-Druck ohne weiterführende Angabe zur angewandten Methode häufig unzureichend und irreführend.

Technologisch unterscheiden wir zum momentanen Zeitpunkt im zahntechnischen Bereich fünf unterschiedliche Herstellungsverfahren:

- 1 SLM/ SLS selective laser melting/sintering/cusing
- 2 SLA Stereolithography
- 3 DLP digital light processing
- 4 FDM fused deposition molding
- 5 Inkjet

## Die Verfahren im Einzelnen

### Selective laser melting/sintering/cusing

Ein fokussierter Laserstrahl verfestigt einen pulverförmigen Werkstoff (Metall oder Kunststoff) auf Grundlage der digitalen Konstruktionsdaten. Der Laserstrahl fährt schichtweise alle Objekte auf der Bauplattform ab. 01



02 Das DLP-Verfahren härtet Photopolymere durch Licht (LED)

(Bildquelle: r2 dental)

Ist eine Schicht fertiggestellt, senkt sich das Pulverbett um wenige hundertstel Millimeter ab, und eine ebenso geringe Pulverschicht wird aufgebracht. Danach beginnt der Prozess erneut. Dies ist das älteste im Dentalbereich eingesetzte additive Verfahren (3D-Druck-Verfahren). Es ermöglicht die Verarbeitung von medizinisch zugelassenen Metalllegierungen und Titan sowie von für den Verbleib im Mundraum nicht zugelassenen Kunststoffen.

#### **Stereolithography**

Bei diesem Verfahren verfestigt ein Laserstrahl einen flüssigen Kunststoff. Der Laserstrahl fährt nacheinander jede Objektschicht ab. Im Anschluss senkt sich die Bauplattform ab, und der Laser verfestigt die nächste Schicht. Im gesamten Fertigungsprozess müssen die Objekte von flüssigem Kunststoff umgeben sein. Eingesetzt werden Photopolymere mit MPG Zulassung der Klasse 1 und Klasse 2a. Wobei darauf hingewiesen werden muss, dass nicht das Material, sondern der gesamte Herstellungsprozess die Zulassungskriterien bedingt.

#### **Digital light processing**

Dieses Verfahren ist dem SLA-Verfahren ähnlich.

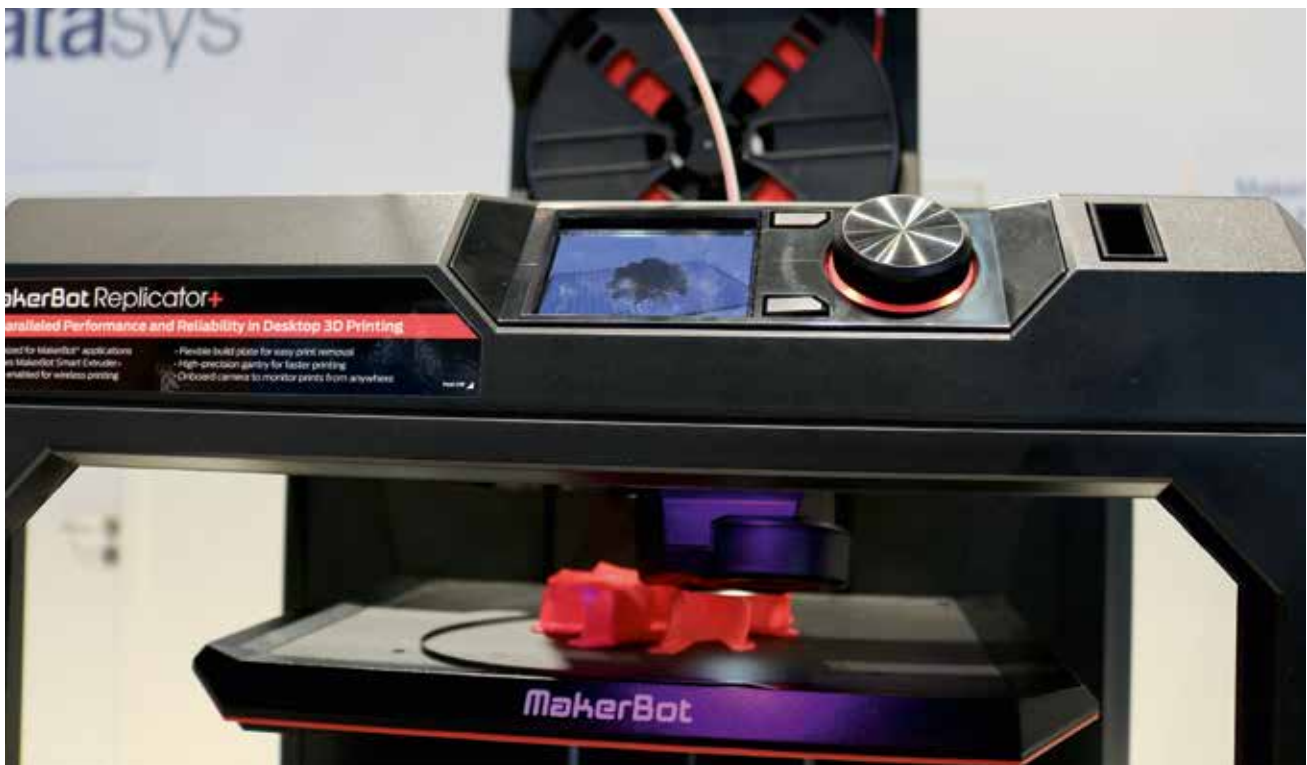
Hierbei wird kein Laser zum Verfestigen benutzt, sondern eine LED Lichtquelle, die eine gesamte Schicht aller Objekte auf der Bauplattform gleichzeitig belichtet. Im Anschluss wird die Bauplattform angehoben und die nächste Komplettschicht belichtet. Da sich die Bauplattform aus dem Kunststoffbad heraus bewegt, muss die Kunststoffflüssigkeit nur das Objekt an der Belichtungsseite bedecken 02

Die verwendeten Materialien entsprechen denen des SLA-Verfahrens.

#### **Fused deposition molding**

Eine Düse erweicht einen Kunststoff oder Wachs und wird entsprechend der geladenen Konstruktionsdaten über die Bauplattform bewegt. 03

Das Material erhärtet durch Abkühlen, und im Anschluss kann die nächste Schicht aufgebracht werden. Die Materialien sind Formwachs und Thermoplaste wie Polyethylen, Polypropylen, Polylactid, ABS, PETG und thermoplastische Elastomere ohne Zulassung für den Verbleib im Mund. Die Verarbeitung von Hochleistungspolymeren, wie beispiels-



03 Durch Abkühlen erstarrt das vorher aufgeschmolzene Filament beim FDM-Verfahren

(Bildquelle: r2 dental)

weise PEEK, sind im Versuchsstadium und haben noch keine zahnmedizinische Zulassung.

### Inkjet

Dieses Verfahren erinnert am stärksten an unsere Vorstellung von „Drucken“. Eine Düse trägt flüssigen Kunststoff schichtweise auf die Bauplattform auf. Diese Schicht wird unter UV-Licht gehärtet, und dann folgt die nächste Schicht. Durch den Einsatz von mehreren Druckköpfen (Düsen) können gleichzeitig verschiedenfarbige Kunststoffe eingesetzt werden. Dies ermöglicht das Herstellen von bunten Objekten in einem Fertigungsprozess. 04

Materialien sind Photopolymere, die als höchste Ausführung für eine temporäre Anwendung im Mund bis zu 24 Stunden medizinisch zugelassen sind.

Da es zwar noch weitere Verfahren, die der additiven Fertigung zugewiesen werden, gibt, diese aber für die dentale Anwendung zum derzeitigen Zeitpunkt keine große Rolle spielen, sollen diese auch nicht näher betrachtet werden.

### Lohnt sich für mein Labor ein 3D-Drucker?

Lesen Sie aufmerksam alle Kalkulationen und Rentabilitätsrechnungen von Drucker-Anbietern. Dann legen sie diese in eine Schublade und kalkulieren

ihrer eigenen Aufwand und Ertrag. Nur sie selbst können herausfinden, welche Herstellungsart für sie die optimale ist.

Denn: Zu unterschiedlich sind die auf dem Markt vorhandenen Drucker was Preis, Technik, Auflösung, Baugeschwindigkeit und Fertigungskapazität/Größe der Bauplattform angeht. Sie müssen sich die richtigen Fragen stellen. Dazu benötigen Sie Hintergrundinformationen zu den für das Drucken erforderlichen Materialien und deren Preisen.

### Überlegungen, die Sie anstellen sollten:

Wie schnell sind Sie oder Ihre Mitarbeiter bei der Konstruktion eines Modellgusses oder einer adjustierten Schiene tatsächlich? Wie hoch ist Ihr Materialeinsatz analog? Wie viele Schienen, Löffel, Bohrschablonen et cetera fertigen Sie pro Monat?

Tragen Sie in eine Tabelle Ihre persönlichen Werte ein. Es empfiehlt sich – schwäbisch korrekt –, tendenziell mit höheren Gewichten und Preisen für Materialien und den etwas langsameren Zeiten und der geringeren Ausbeute zu rechnen. So lassen sich unliebsame Überraschungen vermeiden.

Hinzu kommen die Kosten für den Drucker. Die Preise für die am Markt erhältlichen Drucker, die sehr gute Ergebnisse liefern – und damit sind nicht ausschließlich die Drucker von reinen Dentalfirmen gemeint – beginnen bereits bei zirka 3.000 bis 4.000 Euro und enden im sechsstelligen Bereich.





▣4 Durch den Einsatz von mehreren Düsen können im Inkjet-Verfahren mehrfarbige Gegenstände gedruckt werden

(Bildquelle: dentalgerade)

Hinzu kommen noch eventuell die Anschaffungskosten für ein Polymerisationsgerät, die bei 1.500 bis 4.000 Euro liegen können.

### Fragen zum Drucker

- ❓ Mit welchen Auflösungen und Geschwindigkeiten arbeitet der Drucker in der X-, Y- und Z-Achsen- Ausrichtung?
- ❓ Wie hoch ist, bei welcher Auflösung, die Genauigkeit meiner Objekte und wie homogen deren Gefüge? ▣5
- ❓ Mit welcher Geschwindigkeit fertigt der Drucker reale Test-Objekte? Lassen Sie sich diese in natura zeigen.
- ❓ Wie ist die Software des Druckers, für den ich mich interessiere, ausgelegt?
- ❓ Handelt es sich um eine offene Software?
- ❓ Wie lange benötigt die Software für die Berechnung eines Jobs, je nach Auflösung?
- ❓ Kann der Drucker, den ich kaufen möchte, Modelle drucken?
- ❓ Kommen regelmäßige Zusatzkosten beim Drucker auf mich zu (zum Beispiel Harzwannen bei DLP-Druckern)?
- ❓ Ist der Drucker explizit nur auf die Verarbeitung der Materialien ausgelegt, die der Hersteller anbietet bzw. empfiehlt?

### Fragen zum Material und zur Auslastung

- ❓ Ist ein frei verfügbares Material, welches nicht zusammen mit dem Drucker validiert ist, auch

auf Ihrem Drucker ein konformes Medizinprodukt?

- ❓ Akzeptiert mein Behandler die Materialien, aus denen ich die Schienen drucken kann?
- ❓ Habe ich überhaupt Modelle bzw. wann kommt diese Indikation auf mich zu? Noch ist der Eingang an STL-Dateien von Intraoral Scannern in den meisten Labors sehr überschaubar bzw. überhaupt nicht vorhanden. Wie gesagt – noch!
- ❓ Wie viele Schienen, Löffel, Modellgüsse, Provisoren und Bohrschablonen stelle ich tatsächlich pro Woche, pro Monat, pro Jahr her?

### Zertifizierte und nicht zertifizierte Materialien

Vorsicht bei den Prozessen! Wie biokompatibel ist Ihr Material? Auf dem freien Markt sind Kunststoffe, wie sie Designer für ihre Prototypen verwenden, bereits für um die 100 bis 130 Euro je Liter erhältlich. Ob diese jedoch für die dentale Anwendung geeignet sind, ist mehr als fraglich. Man sollte also zwingend auf Materialien zurückgreifen, die innerhalb eines validierten Prozesses für die dentale Anwendung zugelassen sind. ▣6

Wenn ein Hersteller von Drucker-Harzen diese mit dem Hinweis „biokompatibel“ und „für alle gängigen 3D-Drucker verwendbar“ versieht, sollte sich der Anwender, also das Dentallabor, fragen, ob der Prozess, der in seinem Drucker XY mit einem, nicht auf den Druckprozess abgestimmten Material abläuft, tatsächlich ein biokompatibles Endprodukt zu Tage fördert. Wer nämlich aufmerksam das Sicher-

heitsdatenblatt seines Drucker-Materials studiert, wird feststellen, dass dieses in flüssigem Zustand weit entfernt von einem biokompatiblen Werkstoff ist. Das Gegenteil ist der Fall. Erst mit dem höchstmöglich erzielbaren Polymerisationsgrad, und dies in einem validierten Prozess, erhält man ein biokompatibles Material wie ausgelobt.

### Materialpreise als Grundlage für eine Kalkulation

Die Materialpreise pro Liter reichen je nach Hersteller von 250 Euro für Löffel-, über 300 bis 450 Euro für CAD/CAST-, Modell- und Splint-Harze bis hin zu 450 bis 480 Euro für Bohrschablonen-Harze. Wir reden also über 25 bis 48 Cent pro Gramm.

### Was kostet mich der Druck?

#### Löffel

Der digitale Löffel ist schnell modelliert. Die Modellvorbereitung entfällt. Die Löffel bestehen durch gleichbleibende Schichtstärken. Ein Löffel wiegt zwischen 10 und 20 Gramm. Bei durchschnittlich 15 Gramm reden wir also über einen Materialpreis beim Druck von zirka 3,75 Euro. Hinzu kommt noch Isopropanol/Reinigungsalkohol. Wir konnten in Labors leichtere und günstigere Löffel begutachten, die uns jedoch zu wenig verwindungssteif gewesen wären.

Selbstredend – auch manuell hergestellte Löffel aus Plattenmaterial gehen fix von der Hand und erfüllen ihren Zweck absolut. Der einzelne, schnelle Löffel wird mit Sicherheit idealerweise von Hand gefertigt werden. Materialpreis ist dann etwa ein Euro bis 1,20 Euro. Das Fazit ist relativ einfach. Beim Löffel entscheidet die Menge, ab wann sich die Umstellung auf den Druck lohnt.



**05 Die Passgenauigkeit hochwertiger Drucker ist exzellent und reproduzierbar**

(Bildquelle: dentalgerade)

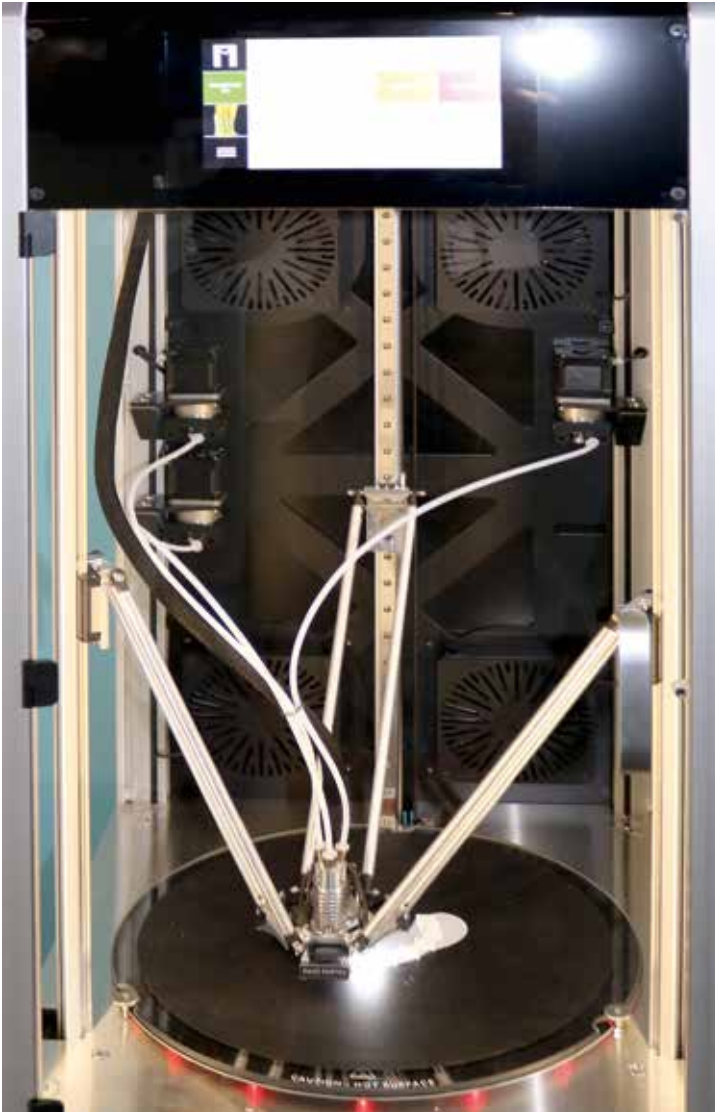
#### Schienen

Das Gros der Schienen in Deutschland sind mehr oder weniger „Anti-Attritions-Protectoren“ und werden in der Tiefziehtechnik aus einfachen, billigen, thermoplastischen Folien hergestellt und liegen beim Material, je nach Ausführung, zwischen einem Euro und 2,50 Euro. Die Herstellung geht sehr schnell, allerdings muss das Modell dubliert werden. Hier schlagen die Kosten für Silikon und Gips und die Arbeitszeit zu Buche.



**06 Harze gibt es in diversen Kompositionen und mit unterschiedlichen Eigenschaften. Von transparent bis gummielastisch. Aber nicht alle sind für den Dentalbereich verwendbar.**

(Bildquelle: dentalgerade)



07 In der Industrie eine gängige Technik des 3D-Drucks – das FDM-Verfahren (Fused Deposition Modelling), bei dem flüssige Thermoplaste mittels einer Düse aufgeschichtet werden. In diesem Verfahren können mehrere, unterschiedliche Materialien kombiniert werden.

(Bildquelle: dentalgerade)

Sobald es sich um adjustierte Schienen handelt, bei denen Material additiv im Artikulator ergänzt werden muss, offenbaren sich die Vorzüge der digitalen Herstellung. Die Vorteile liegen beim geringeren Zeitaufwand, der einfacheren Konstruktion und in der Qualität des Ergebnisses.

Der Druck ist hier, hinsichtlich der Menge pro Zeiteinheit, klar im Vorteil. Außerdem können unter sich gehende Stellen entweder strategisch genutzt und/oder immer wieder gefertigt werden. Nachteilig sind die noch sehr reglementierten Materialien. Wer beispielsweise überwiegend Schienen aus hart/weichen Sandwich-Platten fertigt, muss diese momentan noch im Tiefziehverfahren herstellen. 07

Das Fräsen von Schienen wird in Zukunft möglicherweise nur den sehr hochwertigen, verfärbungs- und bruchsicheren Schienen aus PC (Polycarbonat) oder PA (Polyamid) vorbehalten bleiben. 08

### Modelle

Je stärker Intraoral-Scanner Einzug halten, desto mehr wird die klassische Modellherstellung zurückgehen. Dann wird der 3D-Druck von Modellen neben dem Fräsen eines der möglichen digitalen Verfahren sein, um ein STL-File in ein Modell „umzuformen“. Musste bisher für ein ungesägtes Situ-Modell etwa ein Euro für den Gips und zirka zehn Euro für die Arbeitszeit (Laborstunde 60 Euro) zugrunde gelegt werden, ist die digitale Welt nun wesentlich heterogener aufgestellt.

Ein gedrucktes Modell wiegt etwa 20 bis 30 Gramm. Bei einem Modell mit 20 Gramm Gewicht reden wir über einen Materialeinsatz von zirka sechs bis acht Euro. Fertig gedruckte Alveolenmodelle sind für etwa 15 Euro erhältlich. Angebote für ein einfaches KFO-Modell bis hin zu einem OK-/UK-Modellpaar, inklusive beispielsweise je eines präparierten Stumpfes, gibt es für etwa 28 Euro.

09

### Bohrschablonen

Nicht alle Labors fertigen regelmäßig Bohrschablonen. Wer diese jedoch benötigt, kann sich durch den Druck nun die teure und zeitraubende Lohn- bzw. Handarbeit sparen. In Zukunft werden CT- und DVT-Daten mit alle gängigen CAD-Programmen kombinierbar sein, dann wird das Drucken zur logischen Konsequenz.

### Provisorien

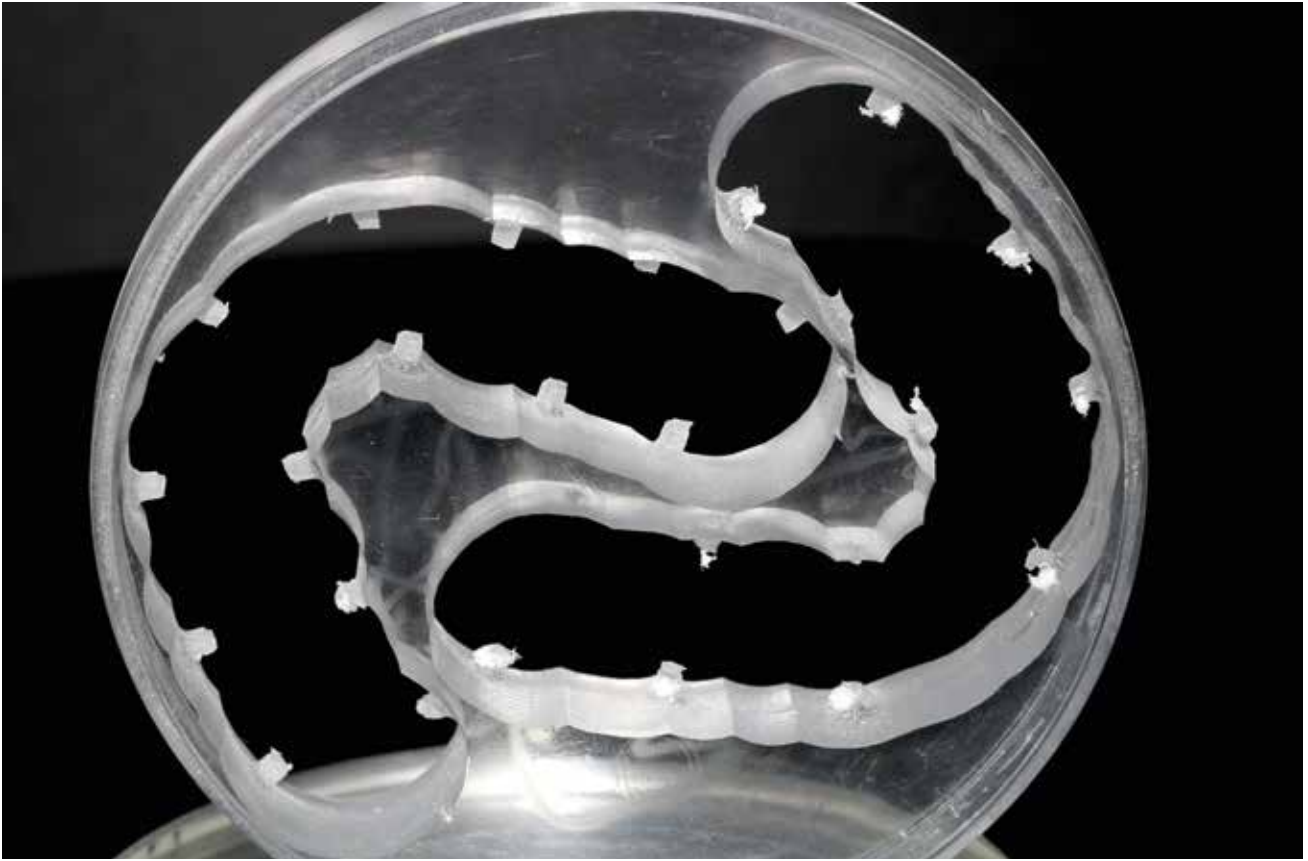
Auch hier werden neue Materialien kommen und im virtuellen Bereich zumindest einen Teil der gefrästen Provisorien kurzfristig ablösen. Sollten Materialien und Verfahren verfügbar sein, die gar für permanente Versorgungen geeignet sind, lohnt sich die Anschaffung eines Druckers noch mehr.

### Modellgüsse mit der CAD/CAST-Methode – mit Sicherheit nicht Plug & Play

Wenn Sie bisher im klassischen Herstellungsverfahren die aus Ihrer Sicht perfekt passenden Modellgüsse erzielt haben, sollte dies auch im CAD/CAST-Verfahren funktionieren – das leuchtet ein. Nun gut – Sie müssen auch hier das Durchwandern einer Lernkurve in Kauf nehmen.

Bei der Herstellung von Modellgüssen spielt der 3D-Druck eine sehr interessante, aber auch klar zu hinterfragende Rolle, da man in dieser Variante lediglich die Gestaltung in das CAD und die Modellation in den Druck verlagert, dann aber wieder





08 Bei optimaler Ausnutzung eines Blanks sind subtraktiv zwei Schienen ausbringbar. Bei Blankpreisen, je nach Materialtyp, von 20 bis 40 Euro, entstehen Materialkosten von 10 bis 20 Euro je Schiene. Die identische Schiene gedruckt benötigt zirka zehn Gramm Material. Dies entspricht Materialkosten von zirka 3 bis 4,50 Euro.

(Bildquelle: dentalgerade)

analog, mit allen Höhen und Tiefen, weiterarbeitet. Dies ist nicht konsequent digital bzw. eine solche Vorgehensweise muss sich sogar die Frage nach seiner Sinnhaftigkeit gefallen lassen. Keinen Zweifel gibt es daran, dass die virtuelle Modellation ohne Dublierung, Einbettmassenmodell und Wachsprofilen ein klarer Fortschritt, schnell und sehr komfortabel ist. Das virtuelle Klammerprofil „sitzt bombenfest“, exakt an der Stelle, an welcher man es modelliert hat und ist trotzdem einfach wieder zu korrigieren. Die gedruckten Modellgüsse passen perfekt – aber eben erst einmal nur gedruckt. 010 bis 014

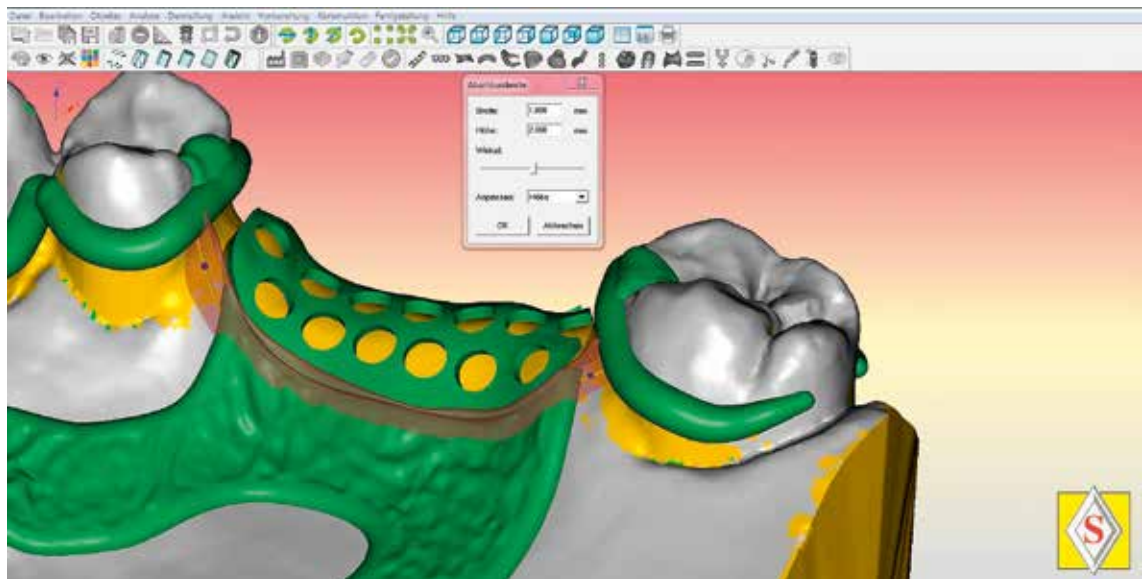
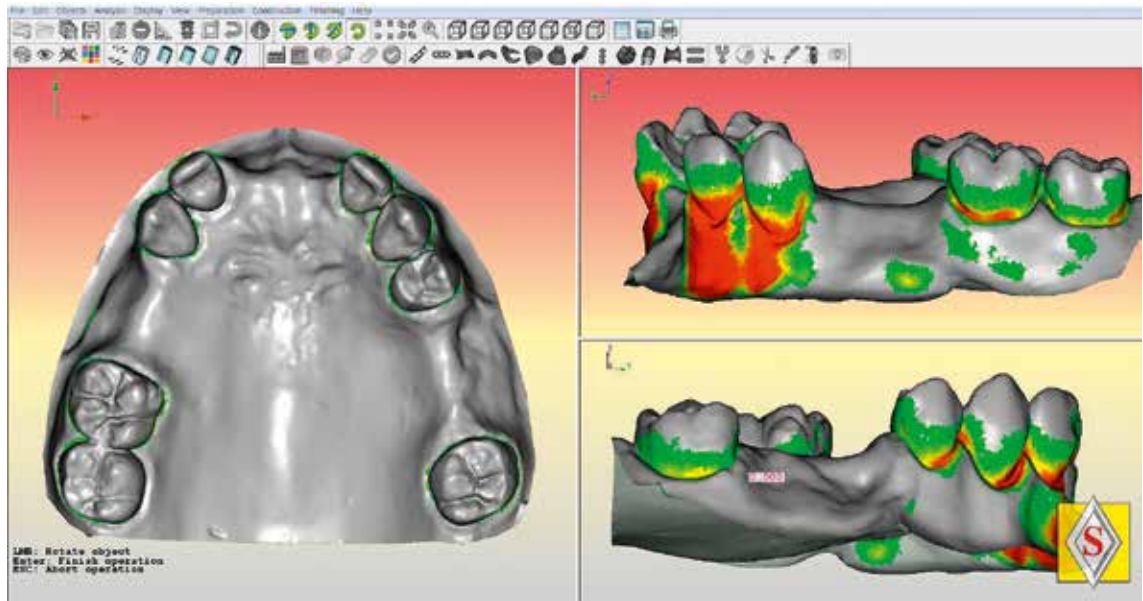
Die Passung zahntechnischer Objekte wird seit jeher bestimmt durch das Zusammenspiel diver-



09

(Bildquelle: dentalgerade)





▣10 bis ▣12 Das digitale Wachsmesser: Zügige, einfache Festlegung der Einschubrichtung und farbliche Markierung der Unterschnittbereiche und punktgenaue Modellation mit definierten Geometrien – das ist die moderne Art der Mogu-Modellation

(Bildquelle: SilaPart CAD/ dentalgerade)



ser, sehr gegensätzlicher Faktoren. Gewissermaßen eine Sinfonie technischer Imponderabilien. Dennoch soll am Ende ein Ergebnis erzielt werden, welches die gesetzten Qualitätsanforderungen erfüllt. Die Tatsache, dass wir eine Modellation aus einem Harz-Photopolymer frei einbetten, lässt den gesamten Vorgang nicht sicherer werden – im Gegenteil. Ob virtuell oder analog, jeder Systempartner muss die Unzulänglichkeiten eines anderen angepasst werden. ▣15 und ▣16

Unserer Meinung nach wird bei der metallischen Umsetzung wohl eher die Fertigung mittels des



**13 Druck aus CAD/ CAST-Material mit minimaler Stützstruktur**  
 (Bildquelle: SilaPrint 125/ dentalgrade)

SLM (Selektiven Laser Meltings) der bessere und digital konsequente Weg sein. **17**

Eine alternative Zukunft des digitalen Modellgusses könnte möglicherweise eines Tages im Bereich der gedruckten/gefrästen Hochleistungspolymere liegen.

**Fazit**

Die Frage: „Drucken oder noch warten?“ ist für manchen Laborinhaber nicht so einfach zu beantworten. Diejenigen, die über den Kauf eines Druckers nachdenken, wissen oder erahnen zumindest, dass die Entwicklung auf dem Geräte- sowie Materialsektor noch lange nicht abgeschlossen ist. Derzeit hat das Ganze noch den Beigeschmack der Sandförmchen-Technik. Das Nadelöhr sind die Materialien. Beobachtet man den Verlauf der letzten Jahre stellt man fest, dass die Situation vergleichbar ist mit unseren dentalen Fräsmaschinen. Hier werden Geräte für die Inhouse-Fertigung in einem mittleren Preissegment angeboten, deren Ergebnisse vor wenigen Jahren nur von doppelt oder gar dreifach teureren Maschinen erzielt wurden. Ähnlich wird die Entwicklung im Bereich des Additive Manufacturing ablaufen bzw. diese ist schon aktiv. Und, wie bei vielen neuen Technologien, werden vielleicht auch beim 3D-Druck-Dental die Halbwertszeiten der Hard- und Software während der ersten Implementierungsphasen sehr kurz sein. Der Neueinsteiger mag sich dann fragen, ob das von ihm erworbene Gerät auf längere Sicht mit neu entwickelten Materialien kompatibel sein wird, sprich, diese validiert verarbeitet werden können. Werden die Lichtquelle bzw. die emittierte Wellen-



**14 Der fertige Druck auf dem Modell - passgenau, Gewicht zwei Gramm**  
 (Bildquelle: dentalgrade)

länge seiner Belichtungseinheit sämtliche neuen Materialien optimal polymerisieren können? Wird das Labor der Zukunft, im Rahmen der neuen, strengeren Überlegungen zum MPG, seine Prozesse selbst validieren müssen? Wer prüft denn dann, ob das Werkstück, welches gedruckt wird, wirklich optimal auspolymerisiert ist? Schließlich unterlie-



**15**  
 (Bildquelle: dentalgrade)





16 Gegossener Modellguss auf dem Modell

(Bildquelle: dentalgerade)



17 Die konsequente Herstellung digitaler Modellgüsse – das SLM Verfahren. So kommt der Modellguss ins Haus, sauber und sicher verpackt – nach vorschriftsmäßigem Entspannungsglühen, für optimale Materialeigenschaften. (Bildquelle: dentalgerade)

gen die Belichtungseinheiten auch einer Alterung. Werden die Materialien der Zukunft eher Thermoplaste – man denke beispielsweise an PEEK – und dann nicht mehr mit photopolymerisierender Technologie, sondern nur noch im FDM-Verfahren verarbeitbar sein?

Werden, was in der Industrie bereits umgesetzt wird, Werkstücke aus unterschiedlichen Materialien, in unterschiedlichen Farben, konstruiert? Oder gar technologisch unterschiedliche Materialien innerhalb eines Prozesses miteinander kombiniert? Wird also für neue Prozesse eine neue Maschine nötig werden?

Werden wir ein Review der Digitalen Fotografie erleben – nämlich beim Verlassen des Geschäftes bereits zu wissen, dass man soeben ein „veraltetes“ Gerät erworben hatte?

Es bleibt also spannend – digital. □