

Autor
Anwender
Status
Aktuell
Kategorie
Überblick

Digitale Modellherstellung: Indikationsbedingte Wahl der Fertigungsverfahren

ZT TBW Johann Philipp Loewe, ZT Alexander von Fehrentheil

In der Vergangenheit stellte die Herstellung von Gipsmodellen auf Basis konventioneller Abdrücke einen entscheidenden und meist unverzichtbaren Arbeitsschritt im zahntechnischen Labor dar. Schließlich bildete dieses Modell die Arbeitsgrundlage für die Zahnersatzfertigung und bestimmte die Passgenauigkeit der Versorgung. Dabei spielte es keine Rolle, ob die Restaurationen im Gussverfahren oder nach Digitalisierung des Modells mittels CAD/CAM-Technologie produziert wurden. Mit Einführung von Intraoralscannern für die optische Abdrucknahme ändert sich jedoch auch die Art der Modellherstellung.

Liegt eine mit einem Intraoralscanner durchgeführte optische Abformung vor, so wird umgehend ein digitales Modell erzeugt, auf dessen Basis der Zahnersatz konstruiert werden kann. Die Innenpassung der gefertigten Gerüste beziehungsweise monolithischen Versorgung hängt somit nicht mehr von einem physischen Modell ab, sondern direkt von der Qualität des optischen Abdrucks.

Es stellt sich die Frage, in welchen Fällen überhaupt noch ein physisches Modell erforderlich ist. Sofern Versorgung monolithisch beispielsweise aus Zirkoniumdioxid, Lithiumdisilikat, zirkoniumdioxid-verstärktem Lithiumsilikat, Hybridkeramik oder Nicht-Edelmetall hergestellt oder Gerüst und Verblendung mittels CAD/CAM-Technologie gefertigt werden, wird kein Modell benötigt. Eine physische Arbeitsgrundlage ist hier entbehrlich und die Passungskontrolle kann bereits digital erfolgen, sodass die Einprobe im Patientenmund direkt nach der Fertigung möglich ist. In Fällen, in denen manuell verblendet wird, ist in jedem Fall ein physisches Modell als Arbeitsgrundlage erforderlich.

Digitale Modellherstellung

Bereits zum Zeitpunkt der Einführung der ersten Intraoralscanner wurden auch auf Grundlage der digitalen Datensätze gefertigte Modelle angeboten. Zunächst stand für jeden Workflow eine bestimmte Modellart zur Verfügung – innerhalb der Lava Präzisions-Lösungen (3M ESPE, D-Seefeld) wurden die Modelle beispielsweise stereolithografisch aus Kunststoff gefertigt (Abb. 1). Bei Straumann (CH-Basel) kam hingegen die Frästechnologie zum Einsatz (Abb. 2). Bestellt werden konnten in der Regel Standardmodelle, auf deren Design der Anwender keinen Einfluss hatte.

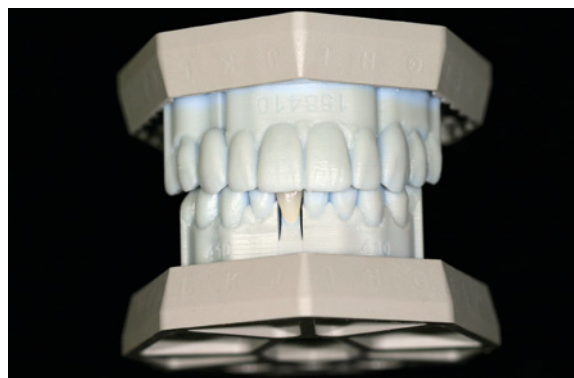


Abb. 1: Stereolithografisch hergestelltes Modell aus dem Jahr 2009, kurz nach Einführung des Lava Chairside Oral Scanner C.O.S. (3M ESPE).



Abb. 2: Bei Straumann gefrästes Modell.



QR-Code scannen und den Beitrag auf Ihr Smartphone oder Tablet herunterladen!

Weiterentwicklungen der Technologien und Materialien für die digitale Modellherstellung sowie die allgemeine Entwicklung hin zur Öffnung der Schnittstellen von CAD/CAM-Systemen führten dazu, dass Zahntechnikern heute stets unterschiedliche Möglichkeiten geboten werden. So können inzwischen Standardmodelle bestellt oder unter Verwendung spezieller Software auch individuelle Modelltypen virtuell erstellt sowie im eigenen Labor oder extern bei einem Partner der Wahl gefertigt werden.

Software

Die Grundvoraussetzung dafür stellte die Entwicklung einer Software mit offenen Schnittstellen dar, die es ermöglichte, das gewünschte Modell selbst zu konstruieren. Zur Verfügung gestellt werden entsprechende Lösungen, die meist als Zusatzmodule erhältlich sind, beispielsweise für die CAD-Software von 3Shape (DK-Kopenhagen), Dental Wings (CA-Montreal) und exocad (D-Darmstadt). Sie erlauben es nicht nur, Ober- und Unterkiefer einander zuzuordnen, Sägeschnitte zu setzen und herausnehmbare Stümpfe zu definieren, wie es bereits für die Erstellung von Standardmodellen der Fall war (Abb. 3). Darüber hinaus ist es auch möglich, z. B. Modelle zu beschneiden, die Okklusion anzupassen und spezielle Modelltypen – beispielsweise Geller-Modelle mit individuell wählbaren Stumpfgeometrien – zu designen (Abb. 4 bis 6). Fallspezifisch festgelegt werden kann auch, ob ein Modell massiv oder innen hohl gefertigt werden soll. Dabei gilt es jedoch zu bedenken, dass ein innen nicht vollständig ausgefülltes Modell häufig eine unzureichende Stabilität bietet und thermoplastisch verformbar ist (Abb. 7).

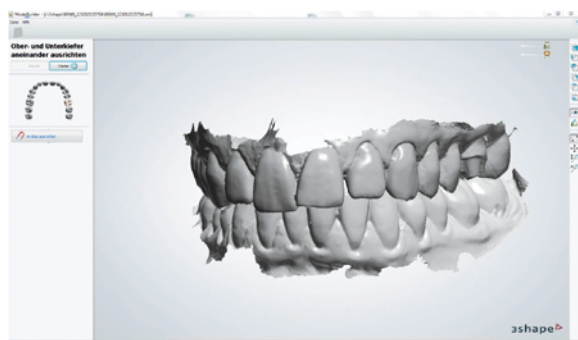


Abb. 3: Zuordnen der Modelle des Ober- und Unterkiefers.

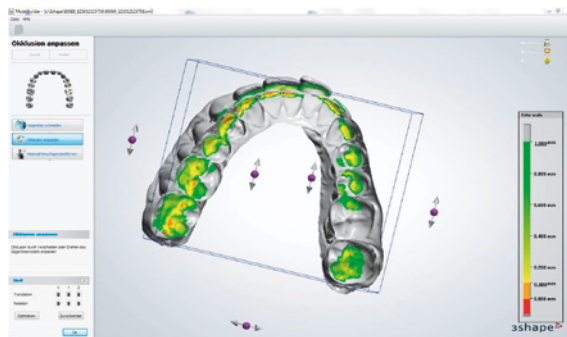


Abb. 4: Anpassen der Okklusion mit dem Zusatzmodul ModelBuilder (3Shape).



Abb. 5: Planung von herausnehmbaren Stümpfen mit Rotationsschutz im ModelBuilder.

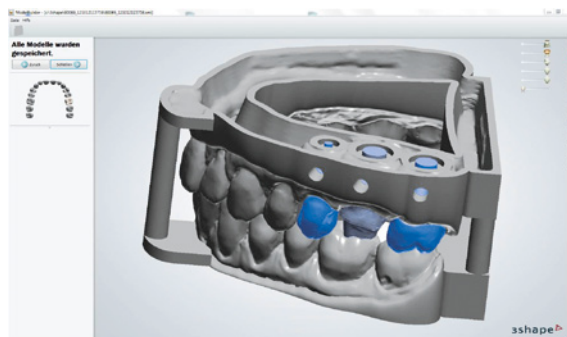


Abb. 6: Überprüfung eines digital erzeugten Geller-Modells, das in den virtuellen Artikulator eingesetzt wurde.



Abb. 7: Modell mit unzureichender Stabilität.

Produktion

Die Fertigung der Modelle ist sowohl mittels subtraktiver als auch mittels additiver Verfahren möglich und kann – vorausgesetzt, die Konstruktionsdaten liegen in einem entsprechenden Format (STL-Datensatz) zur Verfügung – mit zahlreichen Maschinen erfolgen.

Subtraktive Fertigung

Fräsen lassen sich Modelle auf Grundlage von CAD-Daten grundsätzlich mit CNC-Fräsmaschinen, die für die 5-Achs-Simultanbearbeitung ausgelegt sind und über offene Schnittstellen verfügen. Die fünf Achsen sind erforderlich, um Unterschnitte fräsen zu können, die bei Modellen nicht zu vermeiden sind.

Dieser Arbeitsschritt kann also auch im eigenen Labor erfolgen, sofern eine entsprechende Maschine verfügbar ist. Beachtet werden sollte jedoch, dass dies nicht in allen Fällen wirtschaftlich sinnvoll ist – mit berücksichtigt werden müssen die Umrüstzeiten, die stärkere Fräserabnutzung und die Tatsache, dass die Maschine während der Zeit der Modellherstellung nicht für die Fertigung von Zahnersatz einsetzbar ist.

Materialien

Materialblanks für das Fräsen von Modellen werden von unterschiedlichen Herstellern angeboten. Bei vFM Dentallabor werden bevorzugt 3D modeldiscs von dentona (D-Dortmund) verwendet. Dabei handelt es sich um einen gipsbasierten, kunststoffstabilisierten Fräswerkstoff, der hinsichtlich seiner Härte und Druckfestigkeit mit Dentalgipsen des Typs 4 vergleichbar ist. Die elfenbeinfarbenen Rohlinge werden in Form von Ronden in einem Universal-Durchmesser von 98 mm angeboten. Die 3D modeldisc ist in drei unterschiedlichen Stärken (20 mm, 25 mm und 30 mm) erhältlich (Abb. 8).

Weitere Beispiele für fräsbare Modellwerkstoffe sind innoBlanc model (innoBlanc, D-Engelsbrand), ein Material auf Basis von Polyurethan, das in der Farbe saharabeige als Disc mit 98,5 mm Durchmesser und Stärken von 15 mm, 20 mm und 25 mm verfügbar ist, und DD Model-PU (Dental Direkt, D-Spenge). Diese Rohlinge aus einer Kunststoffmischung werden in braun und beige als Discs in der Standard-Größe von



Abb. 8: 3D modeldiscs in Rondenform von dentona.

98,5 mm Durchmesser mit einer Stärke von 25 mm offeriert. Für die Modellfertigung mit inLab MC XL (Sirona Dental, A-Salzburg) bietet Sirona mit inCoris Model Rohlinge aus Polyurethan in Blockform in den Größen S (40 mm x 22 mm x 65 mm) und L (40 mm x 22 mm x 80 mm), an.

Inzwischen werden zusätzlich beispielsweise von ERNST HINRICHS (D-Goslar) neben Ronden aus einem kunststoffvergüteten Superhartgips (Hinriplast BioStar) auch entsprechende Preform-Blanks in Kiefer- beziehungsweise Teilkieferform für die digitale Modellherstellung angeboten. Zur Verarbeitung dieser ist eine spezielle Software notwendig, um die Modelle im Blank zu positionieren. Außerdem wird eine für die Bearbeitung von Preform-Blanks konzipierte Fräsmaschine eingesetzt, die u. a. über einen besonderen Rohlingshalter verfügt.

Additive Fertigung

Hinsichtlich der additiven, d. h. Material auftragenden Fertigungstechnologien haben sich mehrere Verfahren etabliert. Erwähnenswert sind hier insbesondere die Stereolithografie (SLA), die Scan-LED-Technologie (SLT) und das PolyJet-Modeling.

Bei der Stereolithografie handelt es sich um ein Schichtbauverfahren, bei dem eine Plattform in ein Bad aus flüssigem, lichthärtendem Kunststoff (Photopolymer) eingetaucht wird. Mit einem Laser wird eine dünne Schicht Material auf der Plattform punktuell ausgehärtet und diese anschließend geringfügig (um die gewünschte Schichtstärke) abgesenkt, bevor die nächste Schicht gehärtet wird. Nach und nach entsteht auf diese Weise das Modell. Zu den Herstellern von SLA-Maschinen gehört das italienische Un-

ternehmen DWS (I-Zané), die auch entsprechende Materialien (RD digital impression resins) für die dentale Modellherstellung anbietet. In Deutschland vertrieben werden die Produkte von ADMANTIS (D-Trostberg).

Bei der Scan-LED-Technologie, einer Weiterentwicklung der Stereolithografie, ist das Prinzip der Entstehung von Modellen ähnlich, allerdings wird anstelle eines Lasers eine LED-basierte UV-Lichtquelle (Wellenlängenbereich: 365 nm) eingesetzt (Abb. 9). Mit den entsprechenden Maschinen (z. B. D30, Phidias Technologies, F-Marcoussis) können unterschiedliche Materialien verarbeitet und äußerst präzise Ergebnisse erzielt werden. Bei Dreve (D-Unna) werden Dentalmodelle mit einer solchen Maschine produziert, das verwendete Material stammt von Innovation Meditech – A Dreve Company und trägt die Bezeichnung FotoDent LED.A model (Abb. 10).

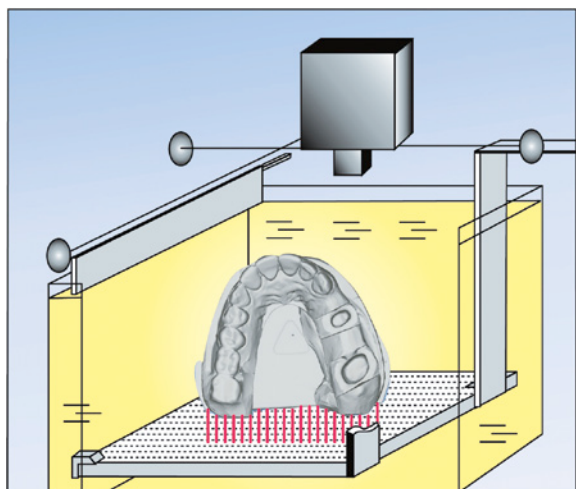


Abb. 9: Das Prinzip der Scan-LED-Technologie (Bildquelle: Dreve).



Abb. 10: Herstellung von Dentalmodellen bei Dreve (Bildquelle: Dreve).

Beim Polyjet-Modeling wird das Modell mit Material aufgebaut, das über einen Druckkopf mit zahlreichen Düsen Schicht für Schicht auf eine Plattform appliziert wird (Abb. 11). Das Prinzip ähnelt dem eines Tintenstrahldruckers, jedoch entsteht dabei ein dreidimensionales Objekt. Die Auflösung wird wie bei Druckern in dots per inch (dpi) angegeben und sollte 600 dpi nicht unterschreiten. Werden massive Bauteile gefertigt, so wird ein zusätzliches Supportmaterial verwendet, mit welchem dem entstehenden Objekt Stützkonstruktionen hinzugefügt werden. Dieses wird inzwischen auch bei der Fertigung von Dentalmodellen eingesetzt, um Verzüge im Modell zu verhindern, die während der Aushärtung des Materials insbesondere in freistehenden Bereichen auftreten können. Auf PolyJet-Technologie basieren die im Dentalbereich verfügbaren Drucker des Unternehmens Stratasys (US-Minneapolis) – z. B. Objet Eden260V und Objet30 OrthoDesk. Materialien für die Zahntechnik können ebenfalls direkt vom Maschinenhersteller bezogen werden.

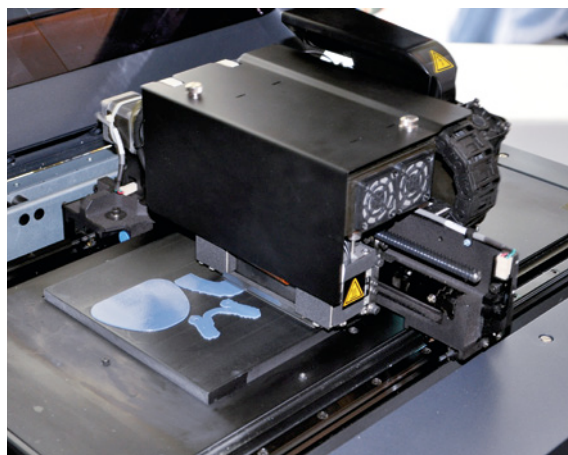


Abb. 11: Prinzip des Polyjet-Modeling am Beispiel des Objet30 OrthoDesk von Stratasys

EOS (D-Krailing) setzt auf das Polymer-Lasersintern, ein Verfahren, bei dem die Modelle durch schichtweises Aufschmelzen von Polymerpulver aufgebaut werden.

Bei vFM Dentallabor werden vor allem Modelle verwendet, die mittels Polyjet-Modeling beziehungsweise Scan-LED-Technologie extern gefertigt werden. Die Investition in einen PolyJet 3D-Drucker Objet Eden350V (Stratasys) ist jedoch bereits geplant. Alternativ wird im eigenen Labor gefräst.

Indikationsbedingte Wahl

Wie bereits beschrieben, werden bei vFM Dentallabor unterschiedliche Technologien für die digitale Modellherstellung eingesetzt. Abhängig ist dies in erster Linie von der späteren Verwendung des Modells. Generell gilt, dass mit additiven Technologien kostengünstiger produziert werden kann als durch Fräsen. Frästechnisch lassen sich die Modelle allerdings exakter ausarbeiten, d. h. die Fissuren sowie die Stümpfe an den Kanten sind exakter dargestellt. Dies hängt selbstverständlich auch von der Auswahl der Fräswerkzeuge ab.

Teilkronen, Kronen und Brücken

Sollen Kronen, Brücken oder auch Teilkronen gefertigt werden, werden Geller-Modelle konstruiert und bei Dreve mittels Scan-LED-Technologie gefertigt (Abb. 12). Diese liegen preislich zwischen den gefrästen Modellen und solchen, die vFM derzeit bei dem Anbieter digitec-ortho-solutions (D-Murg)



Abb. 12: Bei Dreve gefertigtes Geller-Modell für die Herstellung einer Teilkrone.



Abb. 13: Die herausnehmbaren Stümpfe sind mit einem Rotationsschutz versehen. Die Öffnung im Boden des Modells dient der leichten Entnahme.

mit der Maschine Objet Eden260V herstellen lässt. Der Vorteil der Modelle von Dreve liegt darin, dass herausnehmbare Stümpfe mit einem Rotationsschutz versehen sind – sie rasten im Modell ein, wie es der Zahntechniker von herkömmlichen Gipsmodellen gewohnt ist (Abb. 13). Leicht entnehmen lassen sich die Stümpfe dank einer Aussparung im Modellboden. Durch eine Öffnung an der Seite des Modells, die im Stumpf fortgeführt wird, kann außerdem überprüft werden, ob der Stumpf vollständig inseriert wurde (Abb. 14). Empfehlenswert ist die Bestellung eines Ganzkiefermodells, um konventionell einartikulieren zu können. Wurde ein virtueller Artikulator verwendet, so reicht für Einzelzahnrestorationen ein Teilkiefermodell aus, bei komplexen Versorgungen ist immer ein Ganzkiefermodell zu wählen.

Veneers

Für die Herstellung von Veneers werden stets gefräste Modelle aus gipsbasiertem Material (3D modeldiscs) eingesetzt (Abb. 15). Produziert werden diese Modelle in der Regel im eigenen Labor oder in



Abb. 14: Durch die seitliche Öffnung wird der korrekte Sitz des Stumpfes überprüft.



Abb. 15: Bei vFM Dentallabor gefrästes Modell aus der gipsbasierten 3D modeldisc von dentona.

einem Fertigungszentrum. Der Vorteil von Gips liegt darin, dass dieser Werkstoff weniger flexibel ist als Kunststoff. Wird bei der Ausarbeitung der Ränder Druck aufgebaut, so ziehen wir ein Material vor, das den gewohnten Eigenschaften von Modellgips entspricht. Wenn ein Kunststoffmodell bei der Randbearbeitung von Veneers durch den Druck verformt, könnte dies zu Frakturen führen.

Implantatgetragener Zahnersatz

Hinsichtlich der optischen Abformung zur Konstruktion und Fertigung von implantatgetragenen Restaurationen sind Optimierungen erforderlich. Das Problem besteht nicht nur darin, Implantatpositionen unabhängig vom Implantatsystem auf ein Modell zu übertragen, sondern auch in der präzisen Positionierung und sicheren Befestigung eines Laboranaloges im Modell. Eine entsprechende Lösung wurde bisher ausschließlich von Straumann innerhalb des iTero-Workflows offeriert (Abb. 16). Neu verfügbar ist ein Modell von Dreve, bei dem die Implantatanaloge von der Unterseite des Modells mit diesem verschraubt werden. Konstruiert werden können diese Implantatmodelle mit der Software der Unternehmen 3Shape und Dental Wings.



Abb. 16: Gefrästes Modell mit Laboranalog, das an der Modellunterseite verschraubt wurde.

Schienen

Modelle für kieferorthopädische Schienen (Aligner) werden bei digitec-ortho-solutions bestellt und mit Objet Eden260V gefertigt (Abb. 17). Da ein Rotationsschutz bei diesen Modellen nicht notwendig ist (es werden keine herausnehmbaren Stümpfe benötigt), kann auf die kostengünstigste Art der Herstellung zurückgegriffen werden. Bei dieser Indikation ist es besonders vorteilhaft, eine additive Technologie zu

wählen: Wenn die Ränder etwas weicher gestaltet und die Fissuren nicht so stark ausgearbeitet sind, lassen sich die Schienen im Tiefziehverfahren leichter realisieren. Dennoch muss auf eine ausreichende Oberflächenqualität geachtet werden, denn ist ein Relief auf dem Modell erkennbar (Abb. 18), so überträgt sich dieses auch auf die Schienen. Das Resultat ist eine deutliche Sichtbarkeit der Aligner im Patientenmund.



Abb. 17: Mittels Polyjet-Modeling erstellte Modelle für die Schienentherapie.



Abb. 18: Modell mit unzureichender Oberflächenqualität.

Fazit

Generell hat sich die digitale Modellherstellung in den letzten Jahren rasant weiterentwickelt: Es lassen sich verschiedenste Modelle virtuell im Labor konstruieren und wahlweise vor Ort oder im Fertigungszentrum umsetzen. Die verfügbaren Werkstoffe sind inzwischen höchst leistungsfähig und u. a. der Verfügbarkeit von speziellem Supportmaterial ist es zu verdanken, dass selbst massive Objekte und filigrane Strukturen ohne Verzüge gefertigt werden können. Hersteller wie Stratasys konzentrieren sich aktuell auch auf die Entwicklung von Materialien, die

für den längerfristigen Einsatz im Mund zugelassen sind, sodass auch die Fertigung von Bohrschablonen und Schienen mit den entsprechenden Maschinen im zahntechnischen Labor ermöglicht wird. Optimierungen sind derzeit insbesondere hinsichtlich der Herstellung von Implantatmodellen erwünscht.

ZT / TBW

Johann Philipp Loewe

Hamburg, Deutschland



- 2002-2006 Studium zum Technischen Betriebswirt (TBW) an der Technischen Akademie Hamburg
- 2002-2006 Ausbildung zum Zahntechniker in Hamburg
- 2004 Ausbildereignungsprüfung
- 2006 Zahntechniker in einem Dentallabor in Hamburg
- 2006-2010 Außendienstmitarbeiter und Kundenberater in zwei Dentallaboren in Lübeck und Hamburg
- seit 2011 Zuständig für Marketing, Vertrieb und Kundenservice bei vFM Dentallabor in Hamburg

Nicht zuletzt ist zu erwähnen, dass die Investitionskosten für Maschinen mit generativer Fertigungstechnologie bei vergleichbarer Präzision in den letzten Jahren deutlich gesunken sind – für größere Labore mag es deshalb interessant sein, die Entwicklungen diesbezüglich im Auge zu behalten. Vielleicht lohnt sich in Zukunft sogar die Investition in einen eigenen 3D-Drucker. ■

ZT Alexander von Fehrentheil

Hamburg, Deutschland



- 1992-1996 Ausbildung zum Zahntechniker
- 1996-1997 Jungtechniker im Lehlabor
- 1997-2005 als Zahntechniker in drei verschiedenen Dentallaboren in Hamburg tätig
- 2005-2006 Außendienstmitarbeiter bei einem Dentalunternehmen
- seit 2006 selbstständig mit auf CAD/CAM spezialisiertem Labor mit eigener Produktion in Hamburg

Kontakt: info@vfm-hamburg.de