



### Zusammenfassung

Mit der Einführung von CAD-Arbeitsplätzen in die Zahntechnik ist es möglich geworden, unterschiedliche Fertigungstechnologien als CAM-Komponenten in einer Prozesskette anzusteuern und zu nutzen. Dental noch nicht weit verbreitet sind hier die generativen Fertigungsverfahren, die additiv im Schicht- oder Ebenenaufbauverfahren arbeiten. Bei dem generativ arbeitenden Digital Dental Printer (DDP) erfolgt der Ebenenaufbau über die Projektion von Masken per Digital Light Processing Technologie (DLP®) auf ein fotosensitives Harz. Abgestimmt auf diese Anlage wurde das erste generativ verarbeitbare Komposit für die Herstellung von temporären Restaurationen und Schablonen entwickelt. Der Beitrag gibt einen Überblick über die Funktionsweise der verwendeten generativen Fertigungstechnologie und stellt den derzeitigen Entwicklungsstand der neuen Einsatzgebiete vor.

### Indizes

CAD/CAM, generative Fertigung, 3D-Modelle, Provisorien, digitale Modellation, Mock-up, Plotter, Digital Dental Printer, Komposit



## Diagnostische und provisorische Versorgungsmittels generativer Fertigung aus lichthärtendem Komposit

**Emanuel Mesaric, Siegbert Witkowski**

Der Einsatz generativer Fertigungsverfahren in der Zahntechnik wurde durch den Gebrauch der CAD- (Computer Aided Design) Softwareapplikationen auf diesem Gebiet technisch möglich. Die generativen Fertigungsverfahren gehören zu den gebräuchlichen Technologien im „schnellen Prototypenbau“ (Rapid Prototyping, RP) der Industrie<sup>5</sup> und halten seit einigen Jahren Einzug in die Dentalbranche für unterschiedliche Applikationen wie Einzelanfertigungen und Kleinserien.<sup>16</sup> Hierbei werden dreidimensionale Datensätze von dentalen Rekonstruktionen mithilfe einer Ebenenbauweise additiv, Ebene für Ebene, mittels CAM- (Computer-Aided-Manufacturing) Anlagen aufgebaut (generiert). Je nach Verfahren und Energiezuführung an den jeweiligen Werkstoff können Legierungspulver, Kunststoffpulver oder Flüssigkeiten miteinander verbunden bzw. ausgehärtet werden. Die Präzision der erzeugten Ebenen bewegt sich im Mikrometer-Bereich und ist für dentale Applikationen als genügend präzise einzustufen.<sup>10</sup>

Generell kann bei generativ gefertigten dentalen Formteilen zwischen indirekt und direkt verwendbaren Produkten unterschieden werden. Die direkt verwendbaren

### Einleitung



Produkte sind als Medizinprodukte zu betrachten und unterliegen somit den gesetzlichen Bestimmungen des Medizinproduktegesetzes bzw. den Forderungen der europäischen Richtlinie 93/42/EWG. Anwendungen sind in der Dentalbranche seit Anfang der 1990er-Jahre bekannt: in der Kiefer- und Gesichtschirurgie für den Einsatz von generierten Schädelmodellen für eine verbesserte Operationsplanung<sup>21</sup> und in der Implantologie für Bohrschablonen.<sup>1,14</sup> Seit 1999 werden für die Herstellung von Tiefziehschienen in der Kieferorthopädie Modelle aufgebaut.<sup>9</sup> Die derzeit bekanntesten direkten generativ arbeitenden Verfahren im Dentalbereich sind das Lasersintern bzw. Lasermelting von Legierungspulvern für Gerüste für die Verblendkeramik<sup>11,15</sup> sowie das Aufbauen von Planungs- und Bohrschablonen in der Implantologie.<sup>7</sup> Experimentell werden Arbeiten durchgeführt, bei denen Verblendkeramiken mittels Laser gesintert werden.<sup>6</sup>

Alle anderen dental verwendeten generativen Verfahren werden für indirekte Bauteile eingesetzt. Die bekannteste Anwendung ist hier die Erzeugung von Formteilen für die Gusstechnik für Gerüststrukturen, Vollgusskronen oder den individuellen Klammermodellguss. Grundlage hierfür war die Entwicklung von Materialien, die rückstandslos bei Temperaturen ab 650 °C verbrennen, um homogene Gussergebnisse zu erzielen.<sup>19,20</sup>

Eine aktuell entstehende Applikation mittels generativer Fertigung für die Zahntechnik ist die Herstellung von Arbeitsmodellen, die auf der Grundlage von Datensätzen die reale Mundsituation in Kunststoff wiedergeben. Dieses Vorgehen wird erforderlich, wenn die konventionelle Abformung durch eine digitale Erfassung im Mund (oraler Scan) ersetzt wird (rote Bereiche der Abb. 1).<sup>12</sup>

Das in diesem Beitrag vorgestellte Verfahren basiert auf der Digital Light Processing Technology® (DLP, Texas Instruments Inc., Dallas, Texas, USA).<sup>2</sup> Hierbei erfolgt der Aufbau eines photosensitiven Harzes zum Bauteil mittels einer Maskenprojektion (Belichtung) einzelner Ebenen. Das Objekt wächst so Ebene für Ebene mit jeder Belichtung. Dieses Prinzip findet sich in der CAM-Anlage DDP (Digital Dental Printer; bauähnlich zur Perfactory Serie der envisionTec GmbH, Gladbeck) wieder (Abb. 2).<sup>2</sup> Durch die Entwicklung eines auf die DDP-Anlage abgestimmten Komposits (DeltaMed GmbH, Friedberg) ergeben sich neue Anwendungsbereiche für direkte, mittels generativer Verfahren hergestellter Produkte in der restaurativen Zahnmedizin (siehe Abb. 1). Die chemische Zusammensetzung des Materials entspricht den bekannten Komposit-Werkstoffen, die derzeit in der Füllungstherapie oder der Verblendtechnik verwendet werden. Durch die generative Verarbeitung dieses Werkstoffes ergeben sich neue Einsatzgebiete in der zahn- und implantatgetragenen restaurativen Zahnmedizin, wie z. B. diagnostische Zahnschablonen und Aufstellungen (Mock-up) sowie temporäre Versorgungen. Mit dem hier vorgestellten Werkstoff und der verwendeten CAM-Anlage ist es technisch möglich, bisherige rein konventionelle Herstellungstechniken, die auf Handarbeit basieren, zu automatisieren. Diese Anwendungsbereiche stellen einen weiteren Meilenstein in der digitalgestützten Fertigungskette von Zahnersatz dar. Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über die Funktionsweise der verwendeten generativen Fertigungstechnologie (DDP), des verwendeten Komposits und den derzeitigen Entwicklungsstand der neuen Einsatzgebiete.

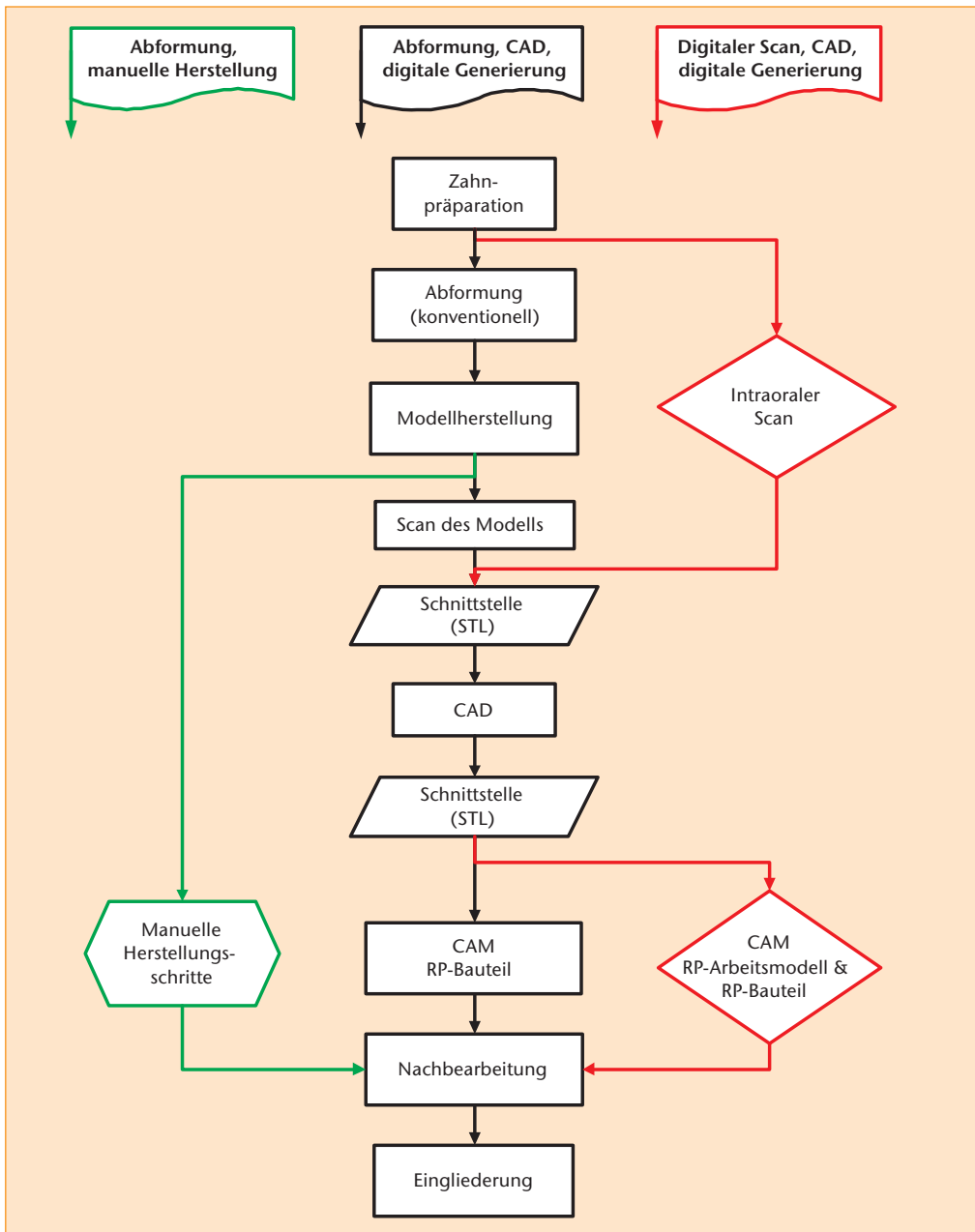


Abb. 1 Die Arbeitsabläufe von diagnostischen und temporären Restaurationen. Grün: Abformung und Modellherstellung nach konventionellem Vorgehen im Labor; Mitte: Abformung, Modellherstellung, Digitalisierung des Modells, CAD und digitale Generierung des Bauteils; rot: intraorale Digitalisierung, CAD und Generierung des Arbeitsmodells und des Bauteils.

Abb. 2 Die CAM-Anlage (Digital Dental Printer) zur Belichtung des Komposits in feinen Ebenen.



Der digitale Datenfluss in dieser Prozesskette beginnt mit der Erfassung (Digitalisierung, engl.: scan) der Oberflächen der präparierten Zähne, des Restgebisses und der Gegenbeziehung als Datensatz. Diese Oberflächeninformationen dienen als Orientierung und zur Begrenzung der zu erstellenden Restauration am Bildschirm. Je nach Vorgehensweise bzw. Grad der Digitalisierungstechnologie werden die Oberflächen von Gipsmodellen oder direkt intraoral am Patienten erfasst. Die Übersicht in Abbildung 1 zeigt die unterschiedlichen Varianten im Workflow. Wird ohne eine konventionelle Abformung, sondern mit einer digitalen Erfassung vorgegangen, werden die Arbeitsmodelle ebenfalls über ein generatives Verfahren auf Grundlage eines Datensatzes erstellt. Die Erstellung der Kon-

### Datenfluss und CAD

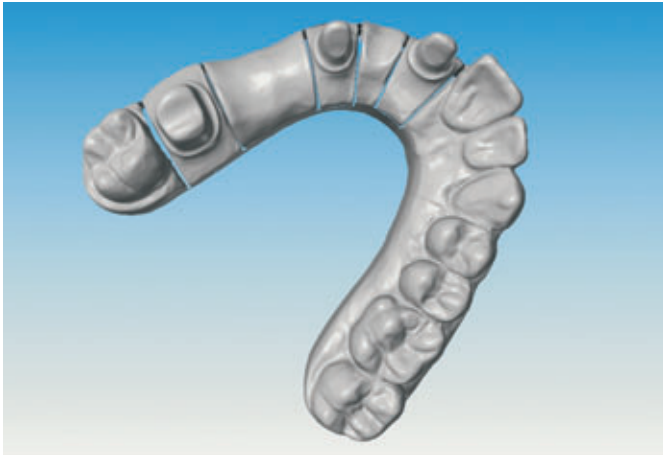


Abb. 3 Das Bild einer digitalisierten Modellsituation in der Konstruktionssoftware (CAD) DentalWings.

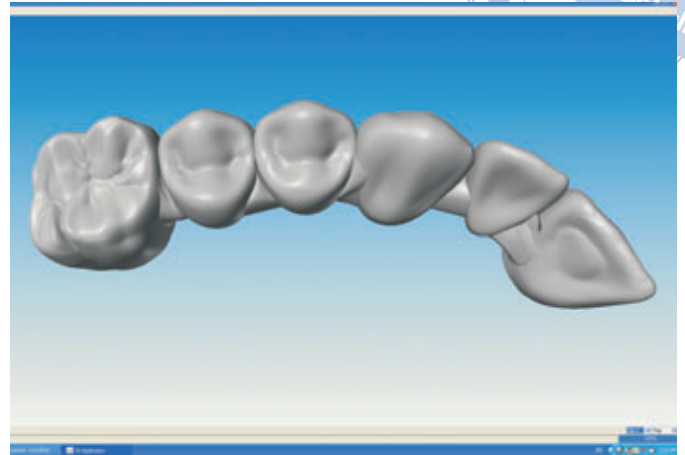


Abb. 4 Digital erstellte Vollkronenmodellierung der Brückensituation auf drei Zahnstümpfen.

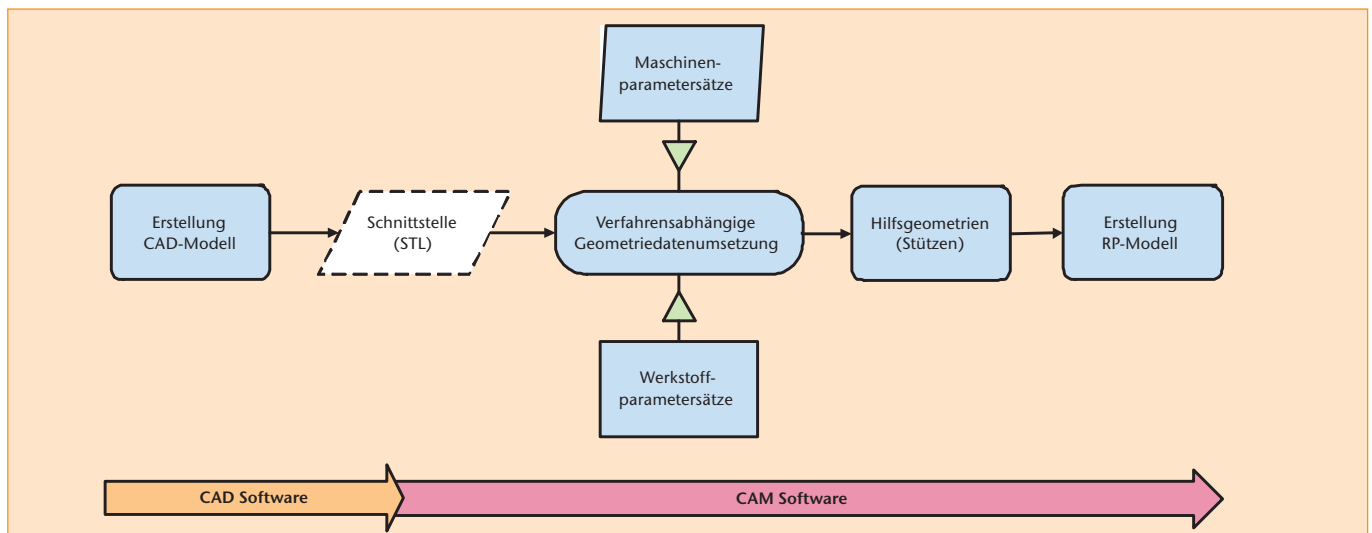


Abb. 5 Datenfluss im CAD/CAM. Eine Schnittstelle überträgt die dreidimensionalen Daten vom CAD zur CAM-Software (Grafik modifiziert nach Gebhardt<sup>4</sup>).

struktions der Restauration erfolgt mit verfügbaren dentalen CAD-Programmen. Softwareprodukte von DentalWings® (Montreal, Kanada), 3shape® (Kopenhagen, Dänemark) und Hint-ELs® (Griesheim) sind in dieser Prozesskette aufgrund ihres kompatiblen Industrieformats und freien Datenaustausches geeignet. Die sonst übliche Wachsmodellierung der Vollkontur der Zähne, als Arbeitsgrundlage auf dem Arbeitsmodell, wird virtuell dreidimensional am Bildschirm dargestellt und dient als Design für die diagnostische/temporäre Restauration (Abb. 3 und 4). Die verwendete Konstruktionssoftware stellt ein dreidimensionales Volumenmodell (Vektordaten) her und speichert dies in einem industriekompatiblen allgemeinverständlichen Dateiformat (z. B. STL, Stereolithography language), einer „Sprache“, ab.<sup>17</sup>

Diese kompatiblen Daten werden in einer systembezogenen Software der Anlage des DDP in Ebenen umgewandelt, die als einzelne Belichtungsbilder für den Aushärtungsprozess von einigen Sekunden dienen (Abb. 5). Die Komponenten Scanner, Software und



CAM-Anlage arbeiten in einer kompatiblen Sprache (Format). Diese „offenen“ Konzepte verstehen sich nicht als Ausgangsplattform für eine spezielle CAM-Anlage in einem speziellem CAD/CAM-System, sondern als kreatives Design- und Fertigungskonzept.<sup>18</sup> Die DDP-Anlage in Kombination mit dem entsprechenden Material ist ein entscheidendes und vielseitiges Ausgabegerät für die Diagnostik in der zahnärztlichen Prothetik. Der Zahntechniker wird in die Lage versetzt, Teile bzw. Modellationen, die er sonst aus Wachs oder Modellierkunststoff anfertigt, über das CAD zu kreieren und mittels der DDP-Anlage aufbauen zu lassen.

Bei generativen Verfahren werden digitale Daten (Volumenmodell) nicht wie in der Frästechnik als Fräsbahnen berechnet, sondern von der CAM-Software virtuell in Ebenen zerlegt. Die Anzahl der Ebenen wird über die zu generierende Stärke bzw. die gewünschte Genauigkeit definiert (25 bis 100 µm). Die anlagespezifisch verwendeten Materialien werden anschließend über einen Energieeintrag auf eine Ebene (z. B. Temperatur, Licht, Laser) selektiv verfestigt oder über einen Dosierkopf aufgetragen und verfestigt. Die verfestigten Ebenen werden dann über eine geeignete Absenk- oder Anhebvorrichtung auf die nächstfolgende Ebene verschoben und der Prozess beginnt von neuem. Hieraus ergibt sich die Besonderheit der generativ arbeitenden Verfahren, dass Hohlräume erstellt werden können. Die Generierung eines Bauteils beginnt bei einigen generativen Verfahren immer mit der Erstellung einiger Stütz-/Haltestrukturen (engl. support), auf denen dann das eigentliche Objekt weiter abgestützt und aufgebaut wird. Diese Stützen werden so grazil und gering wie möglich platziert, um den Arbeitsprozess des Entfernens der Stützen (Postprozess) vom Objekt gering zu halten. Die maximale Objektgröße und -anzahl ergibt sich aus der Ausdehnung der Bauplattform.

### Generative Fertigungsverfahren

Mit Ausnahme des Lasersinterns oder Lasermeltings kommen bei generativen Fertigungsverfahren überwiegend lichthärtende Materialien bzw. thermoplastische Kunststoffe zum Einsatz. Eine Unterteilung der derzeit verwendeten Verfahren kann wie folgt in drei Hauptgruppen erfolgen: Selektives Sintern, 3D-Drucken und Stereolithografie (Stereolithografie ist ein eingetragenes Warenzeichen von 3D Systems, Valencia, Kalifornien, USA).<sup>13</sup> Die hier speziell vorgestellte DDP-Anlage arbeitet mit einem Maskenbelichtungsverfahren und wird vom Hersteller der Gruppe der 3D-Drucker zugeordnet.

Abbildung 6 beschreibt das Funktionsprinzip der hier verwendeten Anlage, dem Digital Dental Printer.<sup>3</sup> Hierbei wird das Volumenmodell (STL-File) softwareseitig in Ebenen zerlegt, die als pixelbasierende Bilder auf eine Referenzebene mit Licht projiziert werden. Der Querschnitt des zu erzeugenden Formkörpers kann somit als Voxel (Voxel = Volumenpixel) selektiv belichtet werden. Die Belichtungsmaske der zu generierenden Ebene wird von der Unterseite des Geräts durch den lichtdurchlässigen Boden der Materialwanne projiziert. Diese enthält ein lichthärtendes Harz, das sich bei selektiver Belichtung auf einer Ebene verfestigt. Die Bauplattform kann über eine Traverse in die Materialwanne eingebracht und auf die geforderte Ebenenstärke eingestellt werden. Das polymerisierte Material haftet nach der Belichtung an der Bauplattform bzw. an der generierten Ebene und kann aus dem Materialreservoir abgehoben werden. Die Bauplattform wird um die nächste gewünschte Ebene angehoben. Material fließt in den Zwischenraum und die nächste Belichtungsmaske kann projiziert werden. Dieser Vorgang wiederholt



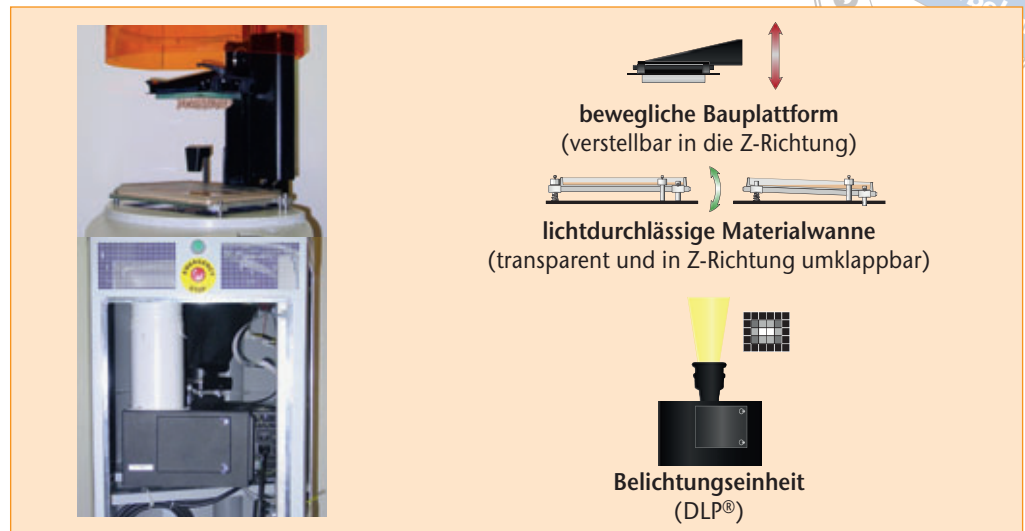


Abb. 6 Das Funktionsprinzip des Digital Dental Printer im Querschnitt und in schematischer Darstellung.

sich, bis das gewünschte Formteil generiert ist. Aufgrund der multiplen Maskenerzeugung mittels der Software ist die Anzahl der Bauteile bzw. dentalen Einheiten nur durch die Plattformgröße limitiert. Dies bedeutet, dass in der Anlage mehrere Bauteile gleichzeitig gefertigt werden können.

Die Abbildungen 7 bis 12 zeigen als Anwendungsbeispiel eine temporäre Brücke, die mittels CAD/CAM-Technik hergestellt wurde. Die Arbeitsschritte Abformung, Arbeitsmodellherstellung und Nacharbeitung sind in diesem Ablauf manuell (siehe Abb. 1, Mitte). Die Modellation der Restauration wurde im CAD (DentalWings) durchgeführt und die generative Herstellung des Teils mittels DDP-CAM-Anlage. Der Zustand des Bauteils nach dem Entfernen aus der Fertigungsanlage ist in Abbildung 7 zu erkennen. Die Brücke befindet sich abgestützt auf den graziilen Baustützen. Die Stützen werden im Rahmen der so genannten Nachbearbeitung (Postprocessing) abgetrennt und der Ansatz verschliffen. Die weiße unbearbeitete Oberfläche wird mittels sanften Abstrahlens mit Kunststoffperlen entfernt. An den nicht polierten Oberflächen der gezeigten Brücke sind die einzelnen Belichtungsebenen fein zu erkennen (Abb. 11). Die Brücke erreicht auch ohne eine notwendige Feinaufpassung der Kroneninnenflächen eine gute Passgenauigkeit auf den Stümpfen des Arbeitsmodells.

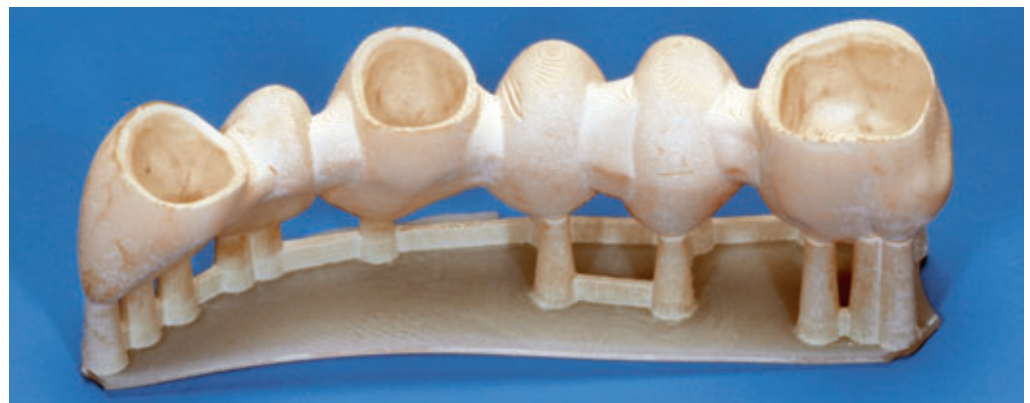


Abb. 7 In Komposit generierte temporäre Brücke mit Baustützen.

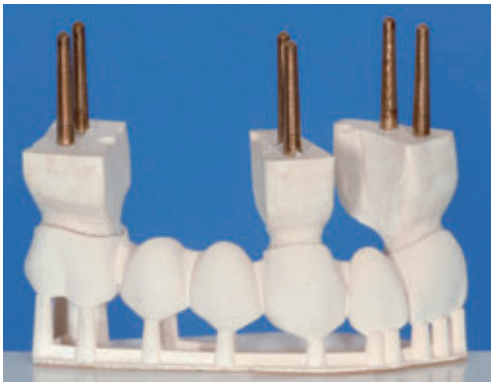


Abb. 8 In Komposit generierte temporäre Brücke mit Baustützen und eingesetzten Arbeitsstümpfen ohne Feinaufpassung in den Kroneninnenseiten.



Abb. 9 Generierte Brücke nach dem Polieren auf dem Arbeitsmodell.



Abb. 10 Polierte Komposit-Brücke, Ansicht von apikal. Die Kroneninnenseiten wurden nicht bearbeitet.



Abb. 11 Polierte Komposit-Brücke, Teilansicht von apikal.



Abb. 12 Polierte Komposit-Brücke, Ansicht von okklusal.

Die Entwicklung geeigneter Materialien, insbesondere gefüllter Materialien, stellt eine große Herausforderung dar, da generative Anlagen fließfähige Ausgangsmaterialien benötigen. Außerdem sollte das Material für eine diagnostische und temporäre Versorgung im Mund ausreichende physikalische Eigenschaften aufweisen. Für den direkten oralen Einsatz als Medizinprodukt wurde von der Firma DeltaMed in den vergangenen Jahren ein geeignetes Komposit für die DDP-Drucker entwickelt.

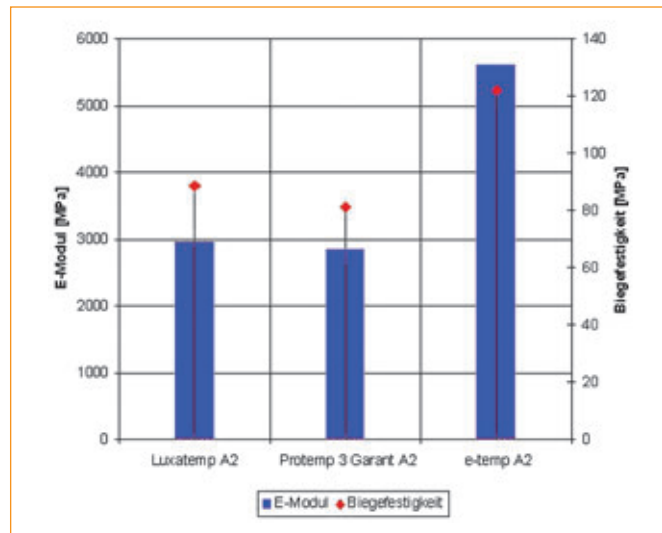
Derzeit verwendete dentale Komposite besitzen einen Füllstoffanteil von etwa 55 bis 85 Gew.% für permanente Versorgungen und 15 bis 50 Gew.% bei direkten provisorischen Versorgungen. Die verwendeten Füllstoffe, wie z. B. amorphes und sphärisches Siliziumdioxid, Borsilikatgläser und weitere, dienen hier zur Einstellung der mechanischen Festigkeit, der geforderten Verarbeitungseigenschaften sowie der Reduzierung der Polymerisationsschrumpfung. Alle konventionellen dentalen Komposite sind aufgrund des hohen Füllgrades und der geforderten Modellierfähigkeit hochviskos bis fest knetbar und deswegen für ein generatives Verfahren unbrauchbar.

Bei dem hier vorgestellten Material gelang es erstmals, generierbare Füllgrade von über 50 Gew.% bei gleichzeitig ansprechender Ästhetik sowie biologischer Verträglichkeit

### Material



Abb. 13 Messwerte des Dreipunktbiegeversuch nach DIN EN ISO 4049 und Darstellung des Elastizitätsmoduls und der Biegefestigkeit in MPa (Standardabweichung der Biegefestigkeit: Luxatemp A2 9,65; Protemp 3 Garant A2 12,9; e-temp A2 6,2).



zu erreichen. Die mechanischen Eigenschaften entsprechen bzw. übertreffen die derzeit verwendeten temporären Materialien, die in der direkten oralen Applikation verwendet werden. Abbildung 13 zeigt die momentan erreichbaren mechanischen Kennwerte im Dreipunktbiegeversuch nach DIN EN ISO 4049. Bei dem hier verwendeten Drucker kommt es verfahrensbedingt zu einer sehr geringen Volumenschrumpfung (< 0,5 %).

**Diskussion** Die digitalen Möglichkeiten der CAD/CAM-Technologie in der Zahnmedizin und Zahntechnik sind derzeit am Entstehen. Moderne CAD-Systeme ermöglichen eine vollanatomische Darstellung der zu restaurierenden Zähne. Diese Konstruktion am Bildschirm muss bei komplexen Rekonstruktionen im Mund des Patienten anprobiert bzw. temporär getragen werden. Mit dem hier vorgestellten Komposit und der DDP-CAM-Anlage können diese Konstruktionen rationell dreidimensional in ein Bauteil umgesetzt werden.

Bei der generativen Fertigung liegt der Vorteil gegenüber subtraktiv arbeitenden Fräs- und Schleifsystemen darin, dass kein Materialverlust durch das abtragende Verfahrensprinzip (ca. 70 % Masseverlust beim Fräsen) vorliegt. Generative Verfahren ermöglichen im Vergleich zum Fräsen und Schleifen Einsparmöglichkeiten an Bearbeitungszeit und Material. Außerdem ist es beim Aufbauen mit einem generativen Verfahren auf der Bauplattform möglich, gleichzeitig mehrere Teile zu generieren. Die Anlage kann somit um ein Vielfaches mehr produzieren. Die genannten Vorteile eröffnen also ein großes Potenzial für Kosteneinsparungen.

Die Reproduzierbarkeit glaziler Strukturen einer anatomischen Vollkontur ist besonders bei Kauflächen und interdental ein wesentlicher Punkt. Bei generativen, also aufbauenden Verfahren wird die Wiedergabegröße bzw. Genauigkeit der Oberfläche durch die Größe eines Pixels limitiert bzw. festgelegt. Diese feinen Bereiche werden nicht durch eine Werkzeuggröße definiert, wie dies beim Fräsen und Schleifen der Fall ist. Die Baugeschwindigkeit bleibt, unabhängig von der Genauigkeit, gleich und wird nicht unterschiedlichen Werkzeugen angepasst. Der Entwicklungsstand hinsichtlich der Passgenauigkeit der temporären Restaurationen auf einem Einzelstumpf und insgesamt bei Brücken stellt sich positiv dar.



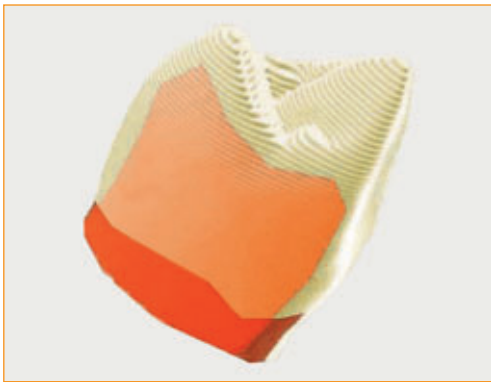


Abb. 14 Softwareansicht des Aufbaus der Ebenen mit unterschiedlich eingefärbten Kompositen.



Abb. 15 Ein Molar in der Komposit-Mehrschichttechnik mit dem Digital Dental Printer aufgebaut.



Abb. 16 Molar und Prämolare in Komposit-Mehrschichttechnik mit dem Digital Dental Printer aufgebaut.



Abb. 17 Ein Baubeispiel als präzise Wiedergabe einer chirurgischen Schablone für die Implantologie.

Auf dem bisherigen Kenntnisstand aufbauend beschäftigt sich die DeltaMed GmbH seit längerem mit der Entwicklung weiterer Materialien, die insbesondere für restaurative direkt verwendbare Versorgungen geeignet sind. Der derzeitige Schwerpunkt liegt hier bei der Entwicklung von zahnfarbenen gefüllten Systemen (Komposite) für generative Verfahren. Ein wesentliches Merkmal besteht darin, dass mit der beschriebenen Technologie dentale Versorgungen mit einem individuellen Farbverlauf gestaltet werden können. Dies erfolgt durch eine angepasste Ansteuerung verschiedener Materialreservoirs innerhalb eines Generierungsprozesses. Dadurch besteht die Möglichkeit, horizontal bzw. vertikal individuelle Einfärbungen im Bauteil vorzunehmen (Abb. 14 bis 16). Das technische Vorgehen zu diesem mehrfarbigen Mehrschichtverfahren wurde zum Patent angemeldet.<sup>8</sup>

Neben den gefüllten Materialien für zahnfarbene temporäre Restaurationen stehen transparente und einfarbige Materialien zur Verfügung. Diese sind aufgrund der zu geringen mechanischen Festigkeiten nicht für eine längere Verweildauer im Mund geeignet. Diese Werkstoffe sind für Teile für die Anprobe und Registrierung sowie für Planungs- oder Bohrschablonen (Abb. 17) geeignet.

### Perspektiven

# INNOVATIONEN

## GENERATIVE VERFAHREN



### Literatur

1. Bill J, Reuther J, Mühling J et al. Stereolithographie – eine neue Methode zur implantologischen Operationsplanung nach Unterkieferrekonstruktion. Dtsch Zahnarztl Z 1993;48:789-792.
2. Firmeninformation. <http://www.dlp.com/tech/what.aspx>. [Stand: 15. Juli 2009].
3. Firmeninformation. <http://www.envisiontec.com/fileadmin/pdf/DigitalDentalPrinting.pdf>. [Stand: 15. Juli 2009].
4. Gebhardt A. Datenfluss. In: Gebhardt A. Rapid Prototyping. München: Hanser, 2000:33-36.
5. Gebhardt A. Characteristics of generative manufacturing processes. In: Gebhardt A. Rapid Prototyping. München: Hanser, 2003:29-74.
6. Li X, Shaw L. Microstructure of dental porcelains in a laser-assisted rapid prototyping process. Dent Mater 2005;21:336-346.
7. Marquardt P, Witkowski S, Strub J. Three-dimensional navigation in implant dentistry. Eur J Esthet Dent 2006;2:80-98.
8. Mesaric E, Zimmermann M. Vorrichtung zur schichtweisen generativen Herstellung dreidimensionaler Formteile, Verfahren zur Herstellung dieser Formteile sowie diese Formteile. Deutschland: Patentanmeldung, DE 10 2007 010 624 B4, 2009
9. Muhammad C, Huafeng W. Creating a positive mold of a patient's dentition for use in forming an orthodontic appliance. USA: Pat. No. 6.210.162, 2001.
10. Rudolph H, Quaas S. Eingliederung und Passgenauigkeit. In: Rudolph H, Quaas S. CAD/CAM-gefertigte Restaurationen. Balingen: Spitta, 2009:143-147.
11. Rudolph M, Setz J. Ein CAD/CAM-System mit aufbauender Lasertechnologie. Quintessenz Zahntech 2007;33:582-587.
12. Schünemann J, Cyron B, Klare M. Einsatzmöglichkeiten generativer Fertigungsverfahren in der Zahntechnik. Quintessenz Zahntech 2008;34:1028-1034.
13. Schweiger J. Rapid Prototyping - Neue Fertigungswege in der Zahntechnik und Zahnmedizin. Dig Dent News 2008;2:36-41.
14. Stocker NG, Mankovich NJ, Valentino D. Stereolithographic for surgical planning. J Oral Maxillofac Surg 1992;50:466-471.
15. Strietzel R. Herstellung von metallischen Gerüsten mit Hilfe des Bego Medifaturing Verfahrens. Quintessenz Zahntech 2004;30:406-417.
16. Strub JR, Rekow ED, Witkowski S. Computer-aided design and fabrication of dental restorations-Current systems and future possibilities. J Am Dent Assoc 2006;137:1289-1296.
17. Wirth J. Erzeugen der Geometriedaten. In: Wirth J. Rapid Modeling. München: Hauser, 2002:59-86.
18. Witkowski S. Computer Integrated Manufacturing (CIM) als Konzept für das zahntechnische Labor. Quintessenz Zahntech 2002;28:374-386.
19. Witkowski S. Das Pro 50 CAD/CAM-System mit Produktionszentren für Fräs-, Schleif- und Gusstechnik. Quintessenz Zahntech 2002;28:958-971.
20. Witkowski S, Lange R. Stereolithographie als generatives Verfahren in der Zahntechnik. Schweiz Monatsschr Zahnmed 2003;113:869-878.
21. Wolf HP, Lindner A, Schindler E, Grohmann R, Millesi W, Ewers R. Konstruktion 3-dimensionaler Schädelmodelle mittels Stereolithographie. Z Stomatol 1993;90:303-311.

### Adressen der Verfasser

Dipl.-Ing. (FH), Dipl.-Wirtschaftsing. Emanuel Mesaric, DeltaMed GmbH  
Raiffeisenstraße 8a, 61169 Friedberg  
E-Mail: Emanuel.Mesaric@deltamed.de

ZTM Siegbert Witkowski, Laborleiter, Abteilung für Zahnärztliche Prothetik (Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. Dr. h. c. J. R. Strub), Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Universitätsklinikum Freiburg  
Hugstetter Straße 55, 79106 Freiburg  
E-Mail: siegbert.witkowski@uniklinik-freiburg.de