

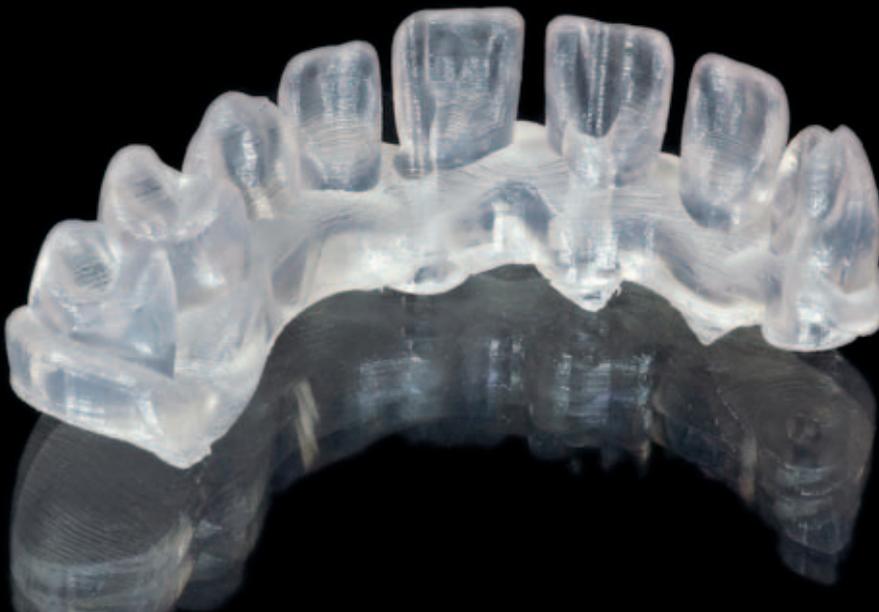


### Zusammenfassung

Die moderne Computertechnologie ist in der Dentalbranche nicht mehr wegzudenken. Aber auch Schichtbauverfahren bieten inzwischen für dentale Applikationen, wie z. B. auch für die Herstellung von Dentalmodellen, ein großes Potenzial. Im vorliegenden Artikel werden zunächst die grundlegenden Anforderungen an die in Schichtbauverfahren eingesetzten Materialien kurz skizziert und dann am Beispiel des Dentalmodells die Möglichkeiten solcher Verfahren aufgezeigt und Strategien zur wirtschaftlichen Fertigung solcher Modelle präsentiert.

### Indizes

Stereolithografie, generative Herstellverfahren, Schichtbauverfahren, Dentalmodelle, Rapid Manufacturing



## Einsatzmöglichkeiten generativer Fertigungsverfahren in der Zahntechnik

**Jan Schünemann, Britta Cyron, Martin Klare**

Die moderne Computertechnologie ist aus der Dentalbranche nicht mehr wegzudenken.<sup>6</sup> Fräszentren gibt es nun schon einige, und diese unterbieten sich teilweise gegenseitig: ein hart umkämpfter Markt. Wie schon einst die Pionierzeit der Gusstechnologie die Industrie in die Lage versetzte, Gussanlagen an jedes Labor zu verkaufen, so entwickelt sich derzeit eine neue Marktstrategie, Scanner an jedermann zu veräußern. Doch für welches System, für welchen Scanner soll man sich entscheiden?

Auch Schichtbauverfahren bieten inzwischen, aufgrund ihrer stetigen Weiterentwicklungen im Hinblick auf Rapid Manufacturing Verfahren und Materialien zukünftig für weitere dentale Applikationen, wie z. B. auch für die Herstellung von Dentalmodellen, ein großes Potenzial

Im vorliegenden Artikel werden zunächst die grundlegenden Anforderungen an die in Schichtbauverfahren eingesetzten Materialien kurz skizziert und dann am Beispiel der Applikation „Dentalmodell“ die Möglichkeiten solcher Verfahren aufgezeigt sowie Strategien zur wirtschaftlichen Fertigung solcher Modelle präsentiert.

### Einleitung



## Stand der Technik und Fertigung

Nun gibt es unterschiedliche Verfahren, zum einen die, die eine enge Bindung an den Hersteller voraussetzen (geschlossene Systeme) und zum anderen Scanner, die Optionen in alle Richtungen offen lassen (offene Systeme). Aus Sicht der Autoren geht der Trend heutzutage in Richtung offene Verfahren. Genau wie in der allgemeinen Computerbranche geht es mehr um Softwareapplikationen zu einem breiten Spektrum an dentalen Applikationen.

Die Zeiten des „nur“ Fräsens sind vorbei, andere Verfahrenstechniken, wie z. B. das Lasersintern (SLS), das 3D-Printing und die Stereolithografie (SL) halten Einzug in die dentale Welt. Besonderes Augenmerk wird im vorliegenden Artikel auf die Stereolithografie gelegt.

Stellen Sie sich vor, Sie möchten eine neue Handy-Oberschale haben, zum Beispiel grün mit rosa Sternchen: Sie loggen sich ins Internet ein, laden sich diese Datei herunter und können diese dann über eine spezielle Apparatur in Kunststoff generieren – dies ist heute schon möglich! Aber was bedeutet diese Entwicklung für die Zahntechnik bzw. -medizin?

Heutzutage stehen zunehmend – z. B. durch den raschen Fortschritt bei den bildgebenden Verfahren – digitale Datensätze zur Verfügung. Daher werden zahlreiche Arbeitsschritte in immer stärkerem Maße digitalisiert. Insbesondere Schichtbauverfahren, oder auch generative Verfahren genannt, bieten eine Möglichkeit der konsequenten Qualitätssicherung im Laboralltag. Dabei zählt die generative Fertigung, z. B. von Gussmodellen mittels 3D-Printing, die Herstellung von Implantatbohrschablonen mittels SL Technik und die von Gerüsten mittels SLS, schon heutzutage zu etablierten Verfahren in der Dentaltechnologie, auch wenn ihr Marktanteil vielleicht erst 1 bis 2% beträgt.

Die Schichtbauverfahren bieten aufgrund ihrer stetigen Weiterentwicklungen im Hinblick auf Rapid Manufacturing Verfahren und Materialien zukünftig für weitere dentale Applikationen, wie z. B. auch für die Herstellung von Dentalmodellen, ein großes Potenzial. Die Frage, Dentalmodelle ohne Gips, kann man diese wirtschaftlich generativ fertigen, kann schon heute mit ja beantwortet werden. Auf der Basis einer digitalen Datenerfassung, sei es vom Abdruck oder gar direkt vom interoralen Scan, wie z. B. mit dem LAVA Chairside Oral Scanner C.O.S. der Firma Brontes 3D bzw. 3M Espe, Seefeld, bieten sich hier viele Möglichkeiten für den Einsatz o. g. Verfahren. So ist man in der Lage, zwei unterschiedliche Datensätze zu verschicken, zum einen z. B. die virtuelle Konstruktion eines Gerüsts und als zweiten Datensatz die digitale Information eines Modells. Zwei Datensätze können so irgendwo auf dieser Welt dann zusammengefügt werden.

Es gibt zahlreiche andere Optionen dieser Technik. Seit einigen Jahren werden in der Hörgeräteindustrie standardmäßig mit diesen Verfahren Ohrpasstücke hergestellt. Heutzutage werden ca. 60% der Weltmarktproduktion mit Rapid Manufacturing Verfahren in diesem Markt erzeugt,<sup>2</sup> Tendenz steigend!

In der Zahntechnik gibt es unterschiedliche Ansätze, welche Applikationen sinnvoll werden können und schon umsetzbar sind. Bekannt sind bislang die Bohrschablonen verschiedener Guidingsysteme (schablonengeführte Implantologie). Die auf der Basis von CT-Daten (Computertomografie) virtuell konstruierte Schablone wird per Datenübertragung individuell stereolithografisch erzeugt. Dabei ist neben den chemisch-physikalischen Parametern besonderes Augenmerk auf die Biokompatibilität der eingesetzten Harze zu legen. Als Beispiel für ein solches Harz sei hier das SL-Harz FotoTec SL.D aus dem Hause



Abb. 1 Bohrschablone aus Stereolithografieharz FotoTec SL.D.



Abb. 2 Ein generativ gefertigtes Dentalmodell (links, FotoTec SL.A) und ein traditionell gefertigtes Gipsmodell.

Dreve, Unna, aufgeführt, welches sowohl hinsichtlich Cytotoxizität, Sensibilisierung und Irritation alle Tests der ISO 10993 bestanden hat. Bei dem Material handelt es sich um ein nanopartikulär verstärktes SL-Harz, welches neben der Biokompatibilität auch hervorragende mechanische Eigenschaften für diese Applikation besitzt (Abb. 1).

Wie weit sind wir heute mit den Möglichkeiten des Modellprintings? Noch vor nicht allzu langer Zeit gab es nur transparente/transluzente Materialien, um Modelle aufzubauen. Die Oberflächen waren zunächst nicht akzeptabel, zeigten aber den Weg der technologischen Weiterentwicklung auf.

Durch die o. g. neuen Scannertechnologien sind heutzutage digitalisierte Abdrücke verfügbar. Die generierten Daten können dazu verwendet werden, ein Zahnmodell mittels Schichtbaumethoden als Alternative zum Gipsmodell zu erstellen (Abb. 2).

Beispielsweise lassen sich so die digital hergestellten Zahnrestorationen vom Zahn-techniker real am Modell hinsichtlich Passgenauigkeit überprüfen. Neben den sehr hohen Anforderungen an die Baupräzision<sup>1,7</sup> handelt es sich hier um eine besonders preissensitive dentale Applikation. Darüber hinaus ist es wünschenswert, dass das generativ gefertigte Objekt speziell eingefärbt ist, um einen möglichst guten Kontrast zwischen Dentalrestauration und Modell zu bieten. Dies ist von entscheidender Bedeutung für die Passgenauigkeitskontrolle insbesondere im Bereich der Präparationsgrenzen.<sup>4</sup> Mittels des Stereolithografieharzes FotoTec SL.A (Dreve) konnten Modelle mit den gewünschten optischen Eigenschaften erfolgreich auf einer Viper si<sup>2</sup> Anlage (3D Systems, Darmstadt) gefertigt werden.

Hierzu wurde ein Datensatz eingelesen, zur Fertigung mit einer SL-Anlage aufbereitet und mit der Maschine Schicht für Schicht gebaut. Anschließend werden die Teile entnommen und gereinigt, um an der Oberfläche haftendes Harz zu entfernen. Abschließend werden die Teile in einem auf die Stereolithografie abgestimmten Lichthärtegerät (FotoTec



Abb. 3 Glatte Oberfläche eines mittels SL Technik gefertigten Modells.

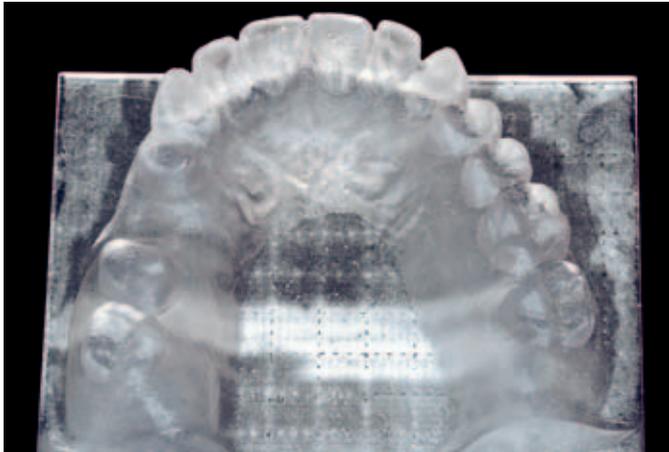


Abb. 4 Transparentes Modell, geprintet auf Substrat.



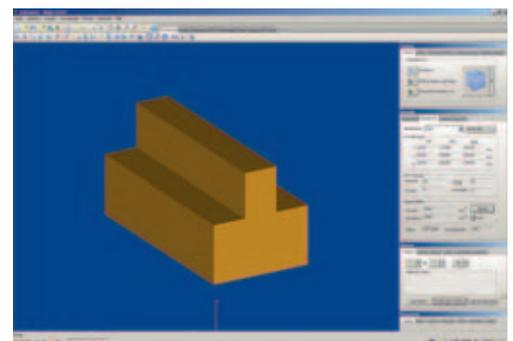
Abb. 5 Der heutige Stand der Technik – Gipsfarben!

PCU, Dreve) unter Stickstoffspülung endgehärtet. Durch Nutzung generativ gefertigter Modelle können Fehlerquellen minimiert, die unterschiedlichen Teilschritte bis zum fertig einartikulierten Modell dokumentiert und zur Qualitätssicherung genutzt werden.<sup>5</sup> Die Modelle besitzen in den meisten Fällen eine Bodenplatte. Unter verfahrenstechnischen Gesichtspunkten bedeutet das z. B. für den Herstellprozess mittels Stereolithografie, dass Supportstrukturen (Baustützen) auf der Bauplattform erzeugt und für die Herstellung der Bodenplatte bis zu 60% der benötigten Harzmasse verbraucht werden. Dies führt zur Erhöhung der Bauzeiten. Daraus ergeben sich unter Berücksichtigung der Maschinenlaufzeiten, der Laserabnutzung und der Zykluszeiten wesentliche Einflüsse auf die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens. Ferner ist die Position der ersten Bauschicht nur mit einer Varianz definierbar, die möglicherweise zu einer Abweichung in z-Richtung des Bauteils führt. Dies kann zur Folge haben, dass gerade im Okklusionsbereich des Bauteils die klinische Situation nur unzureichend wiedergegeben wird. Zur Vermeidung der aufgeführten Aspekte bietet es sich deshalb an, die Dentalmodelle auf präfabrizierten Substraten direkt zu bauen.<sup>3</sup> Ein solcher Bau ist in den Abbildungen 4 und 5 dargestellt. Eine weitere Möglichkeit zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit des Verfahrens besteht darin, die Dentalmodelle hohl zu bauen (Abb. 6 und 7). Durch den minimierten Materialeinsatz können so ebenfalls Material-, Laserkosten und Bauzeiten verringert werden.

Abb. 6 Hohlformen, um Material und Zeit zu sparen.



Abb. 7 Baukörper zur Modellsimulation mit 4,5 cm<sup>3</sup> Volumen und 5,4 g Gewicht (Gewichtsannahme für Stützstrukturen und anhaftendes Harz 4,6 g pro Bauteil).



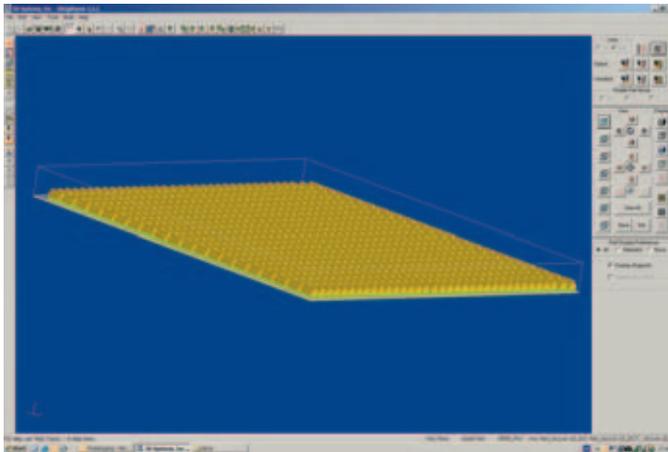


Abb. 8 Bestückung einer Bauplattform einer Viper Pro der Firma 3D Systems mit 700 Modellbauteilen.

Tabelle 1 Die Bauprozesskostenabschätzung.

Größe	Vollmodell	Hohlmodell	Hohlmodell auf präfabriziertem Substrat
Teileanzahl	700	700	700
Harzpreis, € kg <sup>-1</sup>	300	300	300
Maschinenkosten, € h <sup>-1</sup>	150	150	150
Harzverbrauch, g pro Bauteil	10	7	3
Bauzeit, h	4	2,5	1,5
Substratpreis, €	0	0	0,30
Teilekosten, €	3,86	2,64	1,52

Zur Wirtschaftlichkeitsabschätzung der o. g. Verfahrensvarianten wurde ein fiktiver Baujob mit einer Testgeometrie, die ein Dentalmodell für einen Schlussbisshalter simuliert, durchgeführt (Abb. 8).

Auf einer Bauplattform einer Viper Pro-Anlage der Fa. 3D Systems finden von diesem Bauteil 700 Stück Platz. Die Bauzeit dieses Vollmodells beträgt ca. 4h auf der Anlage. Im Vergleich dazu ist die Bauzeit für das gleiche Modell, hohl gebaut, um 1,5 h auf 2,5 h und der Materialverbrauch auf 7g pro Teil reduziert. Beim Bau des hohlen Teils direkt auf präfabrizierten Substraten kann die Bauzeit um eine weitere Stunde und der Materialeinsatz auf 3g pro Teil gesenkt werden. Daraus ergibt sich die in Tabelle 1 wiedergegebene Kostenabschätzung für den Bauprozess. Diese Abschätzung berücksichtigt nur die reinen Baukosten. Jedoch kann man aus den Daten ableiten, dass durch die Wahl der Baustrategie die reinen Baukosten um mehr als 60% abgesenkt werden können. Zusätzlich zu den o. g. Baukosten kommen noch die Kosten für die Reinigung und Nachhärtung der Bauteile hinzu.

Diese Kosten sind stark prozess- und anwenderabhängig. Aus den Daten kann man aber ableiten, dass zu erwartende Teilekosten durchaus mit den Teilekosten für Gipsmodelle konkurrieren können.

Für den Einsatz der Stereolitografie eröffnen sich auch weitere dentale Applikationen. Insbesondere in der Implantologie gibt es hierfür ein weitreichendes Spektrum. Von der Stegkonstruktion über die Planungshilfe bis hin zur fertigen Implantatkrone (Abb. 9 bis 13).

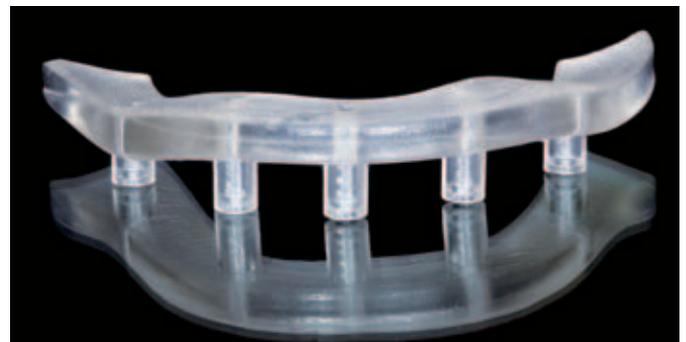


Abb. 9 Ausgedruckter Steg auf Implantaten.

Aus allen o. g. Beispielen wird deutlich, dass dentale Applikationen besondere Anforderungen an die Materialien, generative Fertigungstechnologien und Verfahren stellen. Dabei können die Stärken und Vorteile generativer Fertigungsverfahren zur Herstellung von Dentalobjekten nur dann zum Tragen kommen und eine Alternative zu traditionell

**Fazit**



Abb. 10 Präzision bis zum Abutment.



Abb. 11 Implantat-Suprakonstruktion als Planungshilfe.



Abb. 12 und 13 Eine fertig gedruckte Implantatkrone mit okklusaler Gestaltung.

gefertigten Objekten werden, wenn bei der Materialauswahl, der Technologiewahl und unter Berücksichtigung des gesamten Verfahrens die wirtschaftlichen Gesichtspunkte berücksichtigt werden. Aus Sicht der Autoren ist dies mittelfristig zu erwarten.

- Literatur**
1. Eichner K, Kappert HF. Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Band 1: Grundlagen und ihre Verarbeitung. 7. unveränderte Auflage. Stuttgart/New York: Georg Thieme, 2000.
  2. Klare M, Lindner F. Rapid Manufacturing in der Medizintechnik – Neue Verfahrens- und Materialkonzepte. RTejournal 2007;4:urn:nbn:de:0009-2-11179.
  3. Klare M, Lindner F, Kanzok B. Wie und wann werden Rapid-Technologien in der Medizintechnik wirtschaftlich? – Neue Anwendungen und Verfahren im Dentalbereich. Erfurt: Tagungsband RapidTech Erfurt, 2008.



4. Luthardt RG, Bornemann G, Lemelson S, Walter MH, Hüls A. An innovative method for evaluation of the 3-D internal fit of CAD/CAM crowns fabricated after direct optical versus indirect laser scan digitizing. *Int J Prosthodont* 2004;17:680–685.
5. Reichel K. Digitale Konstruktionsverfahren in der CAD/CAM-Technologie. *Dig Dent News* 2007;1:26–30.
6. Semmer K. CAD/CAM in der Dentaltechnik: 3D-Scanning, Algorithmen und Software-Ergonomie. Tagungsband 3D-NordOst 2003: 6. anwendungsbezogener Workshop zur Erfassung, Verarbeitung, Modellierung und Auswertung von 3D-Daten. Berlin: Gfal, 2003;67-74.
7. Unterbrink GL. Differenzierende Analyse der erforderlichen Genauigkeiten bei laborgefertigten Restaurationen *Phillip J* 1997;14:386–388.

ZTM Jan Schünemann, Lifestyle-Dentistry  
Lipper Hellweg 29, 33604 Bielefeld  
E-Mail: Jan.Schuenemann@Lifestyle-Dentistry.com

Adressen der Verfasser

Dipl.-Ing. (FH) Britta Cyron, Dr. Martin Klare, ProDiMed  
Max-Planck-Straße 31, 59423 Unna  
E-Mail: martin.klare@dreve.de / britta.cyron@dreve.de