3D-Druck in der Zahnmedizin

Ein Beitrag von Dr. Michael del Hougne M.Sc. und Prof. Dr. Marc Schmitter

Der 3D-Druck hat in der Zahnmedizin in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Es handelt sich dabei um eine additive Fertigungsmethode. Die etablierte Fertigungsmethode des Fräsens (z. B. von Keramikrestaurationen mit Chairside-Fertigung) ist ein subtraktives Verfahren. Beide Verfahren beruhen auf CAD/CAM-Techniken, sodass ein computergestützter Entwurf und computergestützte Fertigung zugrunde liegen.

Das Fräsen bringt herstellungsbedingt einige Nachteile. Es entstehen bis zu 90 Prozent Materialverluste.[1] Durch die Fräsergeometrie und Limitationen in der Beweglichkeit des Fräsers kann die Fertigung eingeschränkt werden. Ebenfalls können Einschränkungen bei der Fertigung komplexer Geometrien auftreten und ungünstige Kräfte auf fragile Restaurationsränder einwirken.

Die additive Fertigung mittels 3D-Druck ermöglicht es hingegen, komplexe Geometrien bei vergleichsweise geringeren Materialverlusten zu fertigen.[2] In der Zahnmedizin finden unterschiedliche Techniken des 3D-Druckes Anwendung, unter anderem zur Herstellung von Zahnersatz auf Kunstharz-, Metall- oder Keramikbasis.

Kunstharze werden in der Regel mittels SLA (Stereolithografie)- oder DLP (Digital Light Processing)-Verfahren 3D-gedruckt, wobei eine Härtung des Kunstharzes lokal und schichtweise durch eine Lichtquelle stattfindet. Die Druckobjekte werden in einer mit dem 3D-Drucker kompatiblen Software ausgerichtet und Unterstützungsstrukturen hinzugefügt (Abb. 1).

Nach dem Drucken müssen die Restaurationen gemäß der Herstellerangaben nachbehandelt werden, was je nach Material und Hersteller unterschiedlich ist. Häufig findet Isopropanol Anwendung, welches zum Entfernen von flüssigen Harzrückständen verwendet wird. Eine abschließende Nachhärtung in einem Lichthärteofen unter spezifischer Temperatur und Dauer kann ebenfalls erforderlich sein. Die Oberflächen werden ausgearbeitet und poliert, alternativ können auch Kunststoffglasurmassen zum Einsatz kommen.

Festsitzender Zahnersatz

Zur Herstellung von festsitzendem Zahnersatz werden häufig Materialien auf Kunstharzbasis verwendet, welche zum Teil Nanokeramik enthalten. Dabei unterscheiden sich die jeweiligen Hersteller hinsichtlich Indikation (Einzelzahnrestauration bzw. Brückenspanne) und empfohlener Tragedauer (zeitlich begrenzt bzw. permanent).

3D-gedruckte Langzeitprovisorien stellen im Rahmen des synoptischen Behandlungskonzeptes ein wertvolles Mittel dar, um kompromittierte Pfeiler temporär oder permanent zu versorgen. Eine retrospektive Studie mit 98 3D-gedruckten Einzelzahnrestaurationen wurde an der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik des Universitätsklinikums Würzburg durchgeführt.[3] Dabei wurde eine Überlebensrate von 98 Prozent bei einer durchschnittlichen Beobachtungsdauer von 256 Tagen festgestellt. Eine signifikante Verbesserung der Patientenzufriedenheit mit der Ästhetik im betreffenden Bereich sowie eine signifikante Verbesserung der mundgesundheitsbezogenen Lebensqualität wurden beobachtet. Die klinischen Parameter wie Oberflächenstruktur, anatomische Form, Randintegrität, Randverfärbung, Sekundärkaries und Farbpassung wurden als klinisch unauffällig bewertet. Lediglich eine leichte Entzündung der marginalen Gingiva wurde beobachtet. Die Materialkosten für Kunstharz für eine Einzelzahnrestauration betrugen etwa 0,40 Euro und stellten somit eine kostengünstige Herstellungsmöglichkeit dar.

Auch bei komplexen prothetischen Versorgungen können 3D-gedruckte Restaurationen angewandt werden. In einem Case Report aus der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik des Universitätsklinikums Würzburg wurden zum Austesten einer neuen vertikalen Kieferrelation zu-

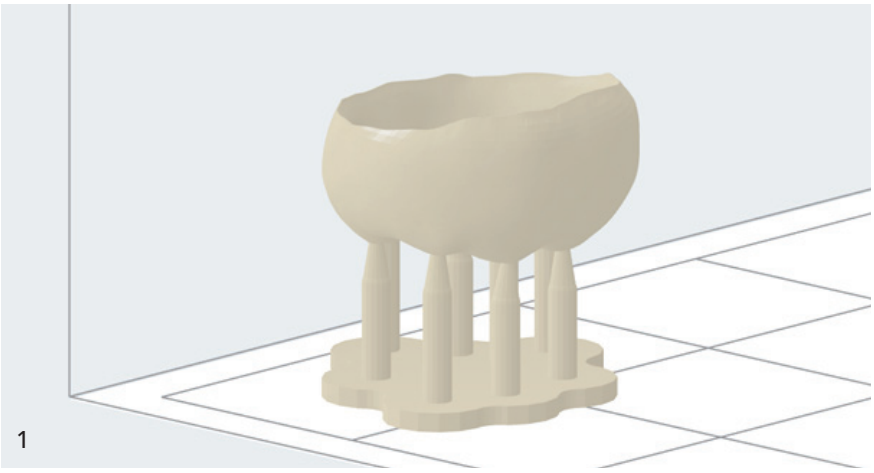


Abb. 1: *Beispielhafte Darstellung einer Einzelzahnkrone mit Unterstützungsstrukturen in der Druckvorbereitungssoftware PreForm (Formlabs).*





Abb. 2: *Ausgangssituation, frontale Ansicht.* – ***Abb. 3:*** *Ausgangssituation, Ansicht von inzisal.*

nächst 3D-gedruckte Restaurationen angefertigt und vom Patienten probegetragen.[4] Dabei kann eine neue Kieferrelation und eine neue Form getestet werden, und Feinjustierungen an okklusaler und dynamischer Kontaktsituation können problemlos vorgenommen werden. Aufgetretene Schlifffacetten und Anpassungen der Kontaktsituation können durch ein erneutes Abscannen in eine definitive Versorgung übertragen werden. Dadurch gibt es bei der definitiven Versorgung nur minimalen Anpassungsbedarf und ein vorhersagbares Ergebnis ohne erschwerte Adaptation wird ermöglicht.

Fallbeispiel

In dem folgenden Fallbeispiel wurde eine 3D-gedruckte Brücke vor einer definitiven Versorgung mit vestibulär verblendetem Zirkoniumdioxid angefertigt.

Ein 72-jähriger Patient stellte sich in der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik des Universitätsklinikums Würzburg erstmalig zur Versorgung seiner Zahnlücke vor, Zahn 21 fehlte. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen die Ausgangssituation. Zahn 21 war abgebrochen, als der Patient nach einem Unfall intubiert werden musste. Die Zähne 11 und 22 waren nicht erhaltungswürdig. Die geplante Brücke mit den Pfeilerzähnen 13, 12 und 23 im hochästhetischen Frontzahnbereich erforderte eine vorsichtige Ausgestaltung der Extraktionsalveolen für eine ansprechende und natürliche Rot-Weiß-Ästhetik sowie ein langfristig stabiles Ergebnis.





Abb. 4: *Einprobe der 3D-gedruckten Brücke. Brückenglieder sind inkongruent zu Alveolen.* – ***Abb. 5:*** *Einprobe 3D-gedruckte Brücke mit modifiziertem basalen Bereich der Brückenglieder.*

Nach Extraktion der Zähne 11 und 22 und Präparation der Pfeilerzähne 13, 12 und 23 erfolgte zunächst eine provisorische Versorgung mit einem händisch gefertigten Provisorium zur Sofortversorgung und initialen Ausgestaltung der Extraktionsalveolen. Nach etwa zehn Tagen wurde die Abformung durchgeführt, die Restauration wurde digital entworfen und anschließend 3D-gedruckt. Bei der Anprobe nach einer Woche zeigte sich zunächst im Bereich der Extraktionsalveolen eine veränderte Weichgewebssituation (Abb. 4).

Die 3D-gedruckte Brücke konnte durch gezieltes Anpassen mit Kompositmasse im basalen Bereich der Brückenglieder modifiziert werden, um eine bessere Ausformung der Alveolen zu ermöglichen (Abb. 5). Eine ästhetisch ansprechende provisorische Versorgung wurde erreicht, und der Patient konnte die Versorgung im privaten und sozialen Umfeld testen und Feedback zu Form und Farbe bekommen.

Nach mehrmonatiger Tragedauer der 3D-gedruckten Brücke zeigten sich zum Zeitpunkt vor Eingliederung der definitiven Versorgung adäquate Weichgewebsverhältnisse (Abb. 6).

Die vorangehenden Modifikationen des 3D-gedruckten Provisoriums wurden in die definitive Versorgung übertragen und diese anschließend eingegliedert (Abb. 7).

Zum Kontrollzeitpunkt nach sechs Monaten war die Situation weiterhin stabil und zufriedenstellend (Abb. 8).

Herausnehmbarer Zahnersatz

Im Bereich der Totalprothetik ermöglicht der 3D-Druck eine kostengünstige und reproduzierbare Herstellung von individuellem Zahnersatz.[5] Nach Digitalisierung der Meistermodelle und der Registrierschablonen erfolgt eine virtuelle Aufstellung und Ausgestaltung der Prothesenbasis. Dabei können individuelle Prothesenzähne entworfen werden, welche als Zahnkranz gedruckt werden (Abb. 9).

Die Prothesenbasis wird ebenfalls 3D-gedruckt. Hierbei handelt es sich um eine komplexe Geometrie, die ggf. auch anatomisch bedingt Unterschnitte beinhaltet, welche problemlos mittels 3D-Druck gefertigt werden kann. Der Zahnkranz und die Prothesenbasis passen formschlüssig zueinander (Abb. 10).

Die Komponenten werden miteinander verklebt und die Prothesen ausgearbeitet und poliert (Abb. 11) sowie anschließend eingegliedert (Abb. 12).

Die Herstellung der gezeigten Totalprothesen hat Materialkosten in Höhe von 15 Euro verursacht und stellt somit eine sehr kostengünstige Fertigungsmöglichkeit dar.

Alternativ zu individuell gefertigten Prothesenzähnen können konfektionierte Prothesenzähne verwendet werden (Abb. 13), allerdings müssen die entsprechenden Zahnbibliotheken in der jeweiligen CAD-Software integriert sein. Je nach Hersteller der Software kann es dabei Unterschiede in Bezug auf die Kompatibilität und Verfügbarkeit geben. Diese konfektionierten







Abb. 6: *Weichgewebe vor Eingliederung der definitiven Versorgung.* – ***Abb. 7:*** *Eingliederung der definitiven Brückenversorgung.* – ***Abb. 8:*** *Situation bei Kontrolle sechs Monate nach Eingliederung.*

Prothesenzähne sind in der Regel speziell für diesen Zweck entwickelt worden und unterscheiden sich von klassischen vorgefertigten Prothesenzähnen. Dabei hätten die Materialkosten der Herstellung insgesamt etwa 160 Euro betragen.

Konfektionierte Prothesenzähne bieten eine vorteilhaftere Ästhetik, da sie einen natürlichen Farbverlauf aufweisen, während Zähne aus dem 3D-Druck in der Regel in einer einheitlichen Farbe hergestellt werden.

Im Falle eines Prothesenversagens oder unabsichtlichen Verlustes bietet der vorhandene Konstruktionsdatensatz die Möglichkeit, die Prothese unkompliziert und reproduzierbar erneut anzufertigen. Besonders im geriatrischen Bereich stellt diese unkomplizierte Reproduzierbarkeit einen bedeutenden Vorteil dar, da aufwendige Neuanfertigungen vermieden werden können und eine schnelle Versorgung sichergestellt werden kann.

Aufbissschienen

Adjustierte Aufbissschienen können ebenfalls kosteneffizient und reproduzierbar 3D-gedruckt werden (Abb. 14). Dabei betragen die Herstellungskosten für eine Schiene etwa 3,50 Euro. Bei einer Untersuchung der mechanischen Eigenschaften









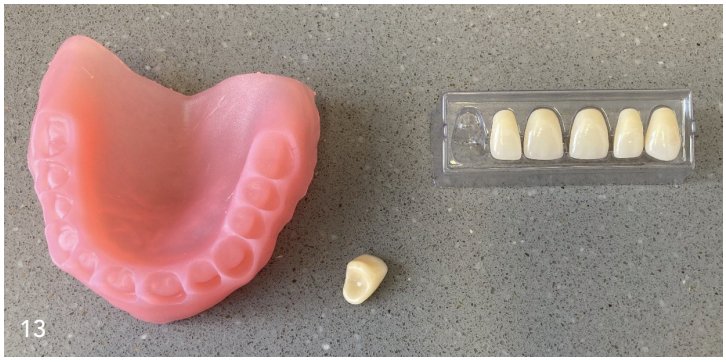




Abb. 9: *Individuelle Prothesenzähne als Zahnkranz mit Unterstützungsstruktur.* – ***Abb. 10:*** *Prothesenbasis und Zahnkranz, unausgearbeitete Situation.* – ***Abb. 11:*** *Fertiggestellte 3D-gedruckte Totalprothesen.* – ***Abb. 12:*** *Patientensituation mit eingegliederten Totalprothesen.* – ***Abb. 13:*** *3D-gedruckte Prothesenbasis und konfektionierte Zahngarnitur.* – ***Abb. 14:*** *3D-gedruckte adjustierte Aufbissschiene mit Unterstützungsstrukturen.*

zeigten händisch gefertigte und gefräste Schienen allerdings bessere Materialeigenschaften als 3D-gedruckte.[6]

Zusammenfassung

Der 3D-Druck eröffnet die Möglichkeit, Zahnersatz individuell, wirtschaftlich und mit hoher Reproduzierbarkeit herzustellen. Weiterhin kann er zu vorhersehbaren Behandlungsergebnissen beitragen. Insgesamt sind die Einsatzgebiete breit gefächert und vielfältig.

Die Verfasser des Textes pflegten keinerlei wirtschaftliche oder persönliche Verbindung zu den genannten Unternehmen.

HINWEIS *Prof. Dr. Marc Schmitter referiert beim 66. Bayerischen Zahnärztetag. Das ausführliche Programm finden Sie auf den Seiten 12/13.*

Dr. Michael del Hougne M.Sc.

Prof. Dr. Marc Schmitter

Literatur





DR. MICHAEL DEL HOUGNE M.SC.
PROF. DR. MARC SCHMITTER
Abteilung für Zahnärztliche Prothetik
des Universitätsklinikums Würzburg
Pleicherwall 2
97070 Würzburg