



Abb. 1 Für eine Forschungsgruppe der Werkstoffkundeforschung der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik stellt das 3-D-Filamentdrucksystem Simplex Drucksystem der Firma Renfert eine innovative Technologie dar, die viele Möglichkeiten bietet, um restmonomerfreie Kunststoffe zu drucken.

FILAMENTDRUCK ODER FUSED DEPOSITION MODELLING

Für unsere exklusive Rubrik „Hot Shit“ bitten wir für jede Ausgabe von „Quintessenz - das Magazin“ das Team der Werkstoffkundeforschung der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik des Klinikums der LMU, unseren Lesern eine aus ihrer Sicht absolute Innovation vorzustellen. Im 18. Teil der „Hot Shit“-Reihe fiel die Wahl des Teams der Werkstoffkunde der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik an der LMU auf den Filamentdruck (Fused Deposition Modelling oder kurz FDM), der auch Fused Filament Fabrication (FFF) genannt wird.

3-D-DRUCK

3-D-Druck gewinnt in der Zahnheilkunde immer mehr an Bedeutung. Auch das Angebot an verfügbaren 3-D-Druckern und Druckmaterialien nimmt stetig zu. Hersteller versprechen eine immer kostengünstigere und zeiteffizientere Herstellung, doch welche 3-D-Drucksysteme eignen sich derzeit tatsächlich für die Anwendung in der Zahnheilkunde und für welche Indikationsbereiche sind diese sinnvoll? In der Zahnheilkunde sind derzeit vor allem Technologien verbreitet, die der Vat-Photopolymerisation (VPP) zuzuordnen sind. Zu den bekanntesten Verfahren gehören die Stereolithografie (SLA) und das Digital Light Processing (DLP), bei denen flüssiges Harz punkt- oder flächenweise photoinduziert polymerisiert wird. Es gibt zahlreiche Systeme, die entweder mit Harzwannen oder Harzkartuschen arbeiten¹. Bei diesen Systemen sind validierte Workflows für die Post-Processing Schritte notwendig, da Studien von Beeinflussung der Endergebnisse durch das Post-Processing berichten²⁻⁶. Der Harzdruck wird im Moment zur Herstel-

lung von Modellen, Schienen und Provisorien, mittlerweile aber auch für permanenten Zahnersatz verwendet⁷.

FILAMENTDRUCK

Filamentdruck kennt man als kostengünstige Alternative aus dem Hobbybereich. Allerdings werden heute auch Filamentdrucker in der Zahnmedizin eingesetzt. Beim Filamentdruck handelt es sich um ein extrusionsbasiertes Fertigungsverfahren, bei dem thermoplastisches Material mittels Extruder erhitzt und Schicht für Schicht auf eine Bauplatzform aufgetragen wird. Ein aufwändiges Post-Processing, wie es bei dem SLA- oder dem DLP-Druck erforderlich ist, entfällt beim FDM oder FFF⁸. Eines der seit mehreren Jahren für den Dentalgebrauch verfügbarer 3-D-Filamentdrucker ist das Simplex Drucksystem der Firma Renfert. Für die Forschungsgruppe der Werkstoffkundeforschung der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik eine sehr innovative Technologie mit vielen Möglichkeiten, um restmonomerfreie Kunststoffe zu drucken (Abb. 1).

In der Zahnheilkunde findet der Filamentdruck den größten Einsatz derzeit im Bereich der Modellherstellung für die Kieferorthopädie. Unsere Studie zeigt, dass die mit dem Simplex Drucksystem nach den Herstellerangaben gedruckten Modelle von der Genauigkeit und Formstabilität mit dem Goldstandard Gipsmodell vergleichbar sind². Dazu wurden die gedruckten Modelle aus zwei Filamenten mit einer unterschiedlichen Anzahl an Schichten hergestellt und nachfolgend unterschiedlich dicke Folien darauf tiefgezogen. Die Ergebnisse waren äußerst vielversprechend, sodass das FDM oder die FFF für die Modellherstellung empfohlen werden kann⁹.



Abb. 2 Mit dem Nachfolgermodell des Simplex Drucksystems von Renfert, das auf der IDS vorgestellt wird, lassen sich neben Hilfsobjekten wie Modellen, Funktionslöffeln und Bissnahmen (Abb. 2) ...



Abb. 3 ... auch provisorische Restaurationen additiv im Filamentdruck fertigen.

Mit dem Nachfolgermodell des Simplex (Vorstellung auf der IDS) wird das Portfolio der Filamentmaterialien zukünftig ergänzt und auch der Einsatzbereich der gedruckten Objekte erweitert. Neben Hilfsobjekten wie Modellen, Funktionslöffeln und Bissnahmen (Abb. 2), können damit zukünftig auch provisorische Restaurationen hergestellt werden (Abb. 3). Nach dem Digitalisieren der jeweiligen Situation lässt sich mittels der zugehörigen Software eine entsprechende Druckdatei erstellen und an den Drucker übermitteln. Innerhalb kurzer Zeit druckt dieser die jeweilige Restauration, die fast ohne Nachbearbeitung sofort verwendbar ist. Eine Forschungsgruppe der Werkstoffkundeforschung der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik arbeitet an diesem Thema eng mit Renfert zusammen und kann nur von guten Ergebnissen berichten. Sowohl die Druckgenauigkeit als auch die Stabilität der FFF-Restaurationen ist hervorragend. Zudem freuen sich die Zahntechniker der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik stets über die gute und einfache Polierbarkeit. Im Moment befasst sich die Forschungsgruppe damit, wie derartige Restaurationen befestigt werden sollen.

Filamentdrucker überzeugen vor allem durch ihre niedrigen Anschaffungskosten und geringen laufenden Kosten. Zudem bieten sie eine zeiteffiziente Alternative, da kein aufwändiges Post-Processing erforderlich ist, sodass das mit dem Filamentdrucker gefertigte Objekt unmittelbar nach dem Druck einsatzbereit ist. Ein entscheidender Vorteil des FDM/der FFF ist der reduzierte Materialverbrauch, weshalb der Filamentdruck eine ressourcenschonende Herstellungsmethode darstellt. Ein weiterer Pluspunkt ist die Auswahl der Filamente, da beim Druck keine giftigen Dämpfe entstehen und der Restmonomergehalt deutlich niedriger als bei photoinduzierten Polymerisationen ist^{8,10}.

FAZIT UND AUSBlick

FFF stellt für die Zahnmedizin eine kostengünstige und zeiteffiziente Alternative zu anderen 3-D-Druck Verfahren dar. Besonders zur Anwendung in der Zahnarztpraxis könnte sich das Nachfolgemodell besonders eignen, um schnell und ressourcenschonend nach erfolgter Präparation ein Provisorium für den Patienten herzustellen. Die ersten Ergebnisse sind vielversprechend!

Abb. © Werkstoffkundeforschung an der LMU

Weitere Infos über die Werkstoffkundeforschung an der LMU unter www.facebook.com/werkstoffkundeforschung

LITERATUR

1. Lüchtenborg J, Burkhardt F, Nold J, Rothlauf S, Wesemann C, Pieralli S, et al. Implementation of Fused Filament Fabrication in Dentistry. *Applied Sciences*. 2021;11(14):6444.
2. Mayer J, Reymus M, Wiedemann F, Edelhoff D, Hickel R, Stawarczyk B. Temporary 3D printed fixed dental prosthesis materials: Impact of post printing cleaning methods on degree of conversion as well as surface and mechanical properties. *Int J Prosthodont*. 2021;34(6):784-95.
3. Mayer J, Stawarczyk B, Vogt K, Hickel R, Edelhoff D, Reymus M. Influence of cleaning methods after 3D printing on two-body wear and fracture load of resin-based temporary crown and bridge material. *Clin Oral Investig*. 2021;25(10):5987-96.
4. Reymus M, Stawarczyk B. Influence of Different Postpolymerization Strategies and Artificial Aging on Hardness of 3D-Printed Resin Materials: An In Vitro Study. *Int J Prosthodont*. 2020;33(6):634-40.
5. Li P, Lambart A-L, Stawarczyk B, Reymus M, Spintzyk S. Post-polymerization of a 3D-printed denture base polymer: Impact of post-curing methods on surface characteristics, flexural strength, and cytotoxicity. *Journal of Dentistry*. 2021;115:103856.
6. Reymus M, Stawarczyk B. In vitro study on the influence of postpolymerization and aging on the Martens parameters of 3D-printed occlusal devices. *J Prosthet Dent*. 2021;125(5):817-23.
7. Reymus M, Fabritius R, Keßler A, Hickel R, Edelhoff D, Stawarczyk B. Fracture load of 3D-printed fixed dental prostheses compared with milled and conventionally fabricated ones: the impact of resin material, build direction, post-curing, and artificial aging-an in vitro study. *Clin Oral Investig*. 2020;24(2):701-10.
8. Krey K, Mourad M, Rantsch A, Ratzmann A. Fused Filament Fabrication(FFF)-3-D-Druck in der Kieferorthopädie. *Quintessenz Zahntech*. 2023;49(9):818-25.
9. Lümkemann N, Klimenta M, Hoffmann M, Meinen J, Stawarczyk B. Dimensional Stability and Reproducibility of Varying FFF Models for Aligners in Comparison to Plaster Models. *Materials*. 2023;16(13):4835.
10. Born C. 3-D-Filamentdruck für Modelle in der Kieferorthopädie. *Quintessenz Zahntech*. 2022;48(2):184-6.