

Einfluss diverser Herstellmethoden prothetischer Werkstoffe auf die Rauheit, Benetzbarkeit, Grenzflächenspannung und Biofilmbildung

Additive Fertigungsverfahren (3D-Druck), gewinnen in der Zahnmedizin zunehmend an Bedeutung. Im Gegensatz zu dem subtraktiven Schleifen/Fräsen erfolgt die Herstellung hierbei schichtweise, wodurch auch komplexe Restorationsgeometrien gefertigt werden können. Die Verfahren der Stereolithografie (SLA) und des Digital Light Processing (DLP) sind für die Verarbeitung polymerbasierter dentaler Materialien etabliert. Neben Modellen, chirurgischen Bohrschablonen und Schienen werden mittlerweile auch Kronen, Onlays, Veneers und Brücken als festsitzender Zahnersatz (FDPs) additiv hergestellt¹. 3D-gedruckte FDPs stellen insbesondere für Langzeitprovisorien wie etwa während Implantatbehandlungen, umfangreichen prothetischen Rekonstruktionen oder der ästhetischen Planung im Frontzahnbereich eine Alternative zu konventionellen Verfahren dar²⁻³. Für eine erfolgreiche klinische Anwendung müssen 3D-Druck Materialien jedoch hohe Anforderungen hinsichtlich mechanischer Belastbarkeit, Passgenauigkeit, Farbstabilität und biologischer Verträglichkeit erfüllen. Neben ausreichenden mechanischen Eigenschaften wie Festigkeit und Abrasionsbeständigkeit spielt auch die Wechselwirkung zwischen Materialoberfläche und oraler Mikroflora eine entscheidende Rolle.

Die Anlagerung von Mikroorganismen und die daraus resultierende Biofilmbildung werden wesentlich durch materialspezifische Eigenschaften wie der chemischen Zusammensetzung, Oberflächenrauheit, Benetzbarkeit und Grenzflächenspannung beeinflusst⁴. Während eine erhöhte Oberflächenrauheit häufig mit einer verstärkten bakteriellen Adhäsion in Verbindung gebracht wird, zeigen aktuelle Untersuchungen kein einheitliches Bild^{5,6}. Es wird vermutet, dass nicht allein die Rauheit, sondern vor allem die komplexe dreidimensionale Oberflächentopografie einen entscheidenden

Einfluss auf die mikrobielle Besiedlung hat. Trotz des zunehmenden Einsatzes 3D-gedruckter dentaler Materialien sind deren Wechselwirkungen mit komplexen oralen Biofilmen bislang nur unzureichend untersucht.

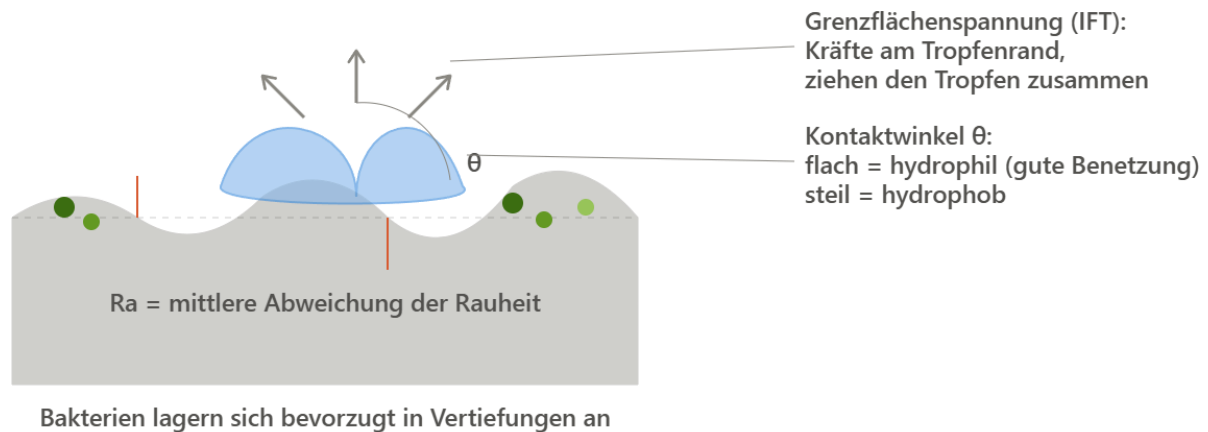
Ziel der diesem Artikel zugrundeliegenden Studie⁷ war es, die Oberflächeneigenschaften verschiedener 3D-gedruckter Materialien für temporäre und permanente FDPs zu charakterisieren. Die Materialien wurden mit etablierten subtraktiv und konventionell hergestellten Vergleichsmaterialien hinsichtlich ihrer Oberflächencharakteristika und ihrer mikrobiellen Besiedlungsneigung verglichen, um die klinische Eignung additiv gefertigter dentaler Werkstoffe besser bewerten zu können.

Material und Methode

Insgesamt wurden aus 10 prothetischen Materialien plättchenförmige Prüfkörper (Ø 10 mm, Dicke 2 mm) nach Herstellerangaben hergestellt. Genaue Herstellangaben sind der zugrundeliegenden Studie zu entnehmen⁷.

- **5x** additiv gefertigte 3D-Druckharze (VSC: VarseoSmile Crown plus, ND: NextDent C&B MFH, VST: VarseoSmile Temp, TP: Temp PRINT, P: P Pro Crown & Bridge)
- **2x** subtraktiv gefräste Polymerblöcke (TC: Tetric CAD = Komposit, TEL: Telio CAD = PMMA)
- **2x** konventionell verarbeitet (TEC: Tetric EvoCeram = photopolymerisierend, PT: Protemp 4 = autopolymerisierend)
- **1x** ZR: Tizian Blank Translucent Zirkonium Dioxide (Zirkonoxid) dient als nicht-polymere Kontrollgruppe

Die Oberflächeneigenschaften Rauheit (Ra), Benetzbarkeit (Kontaktwinkel) und Grenzflächenspannung (IFT) wurden gemessen (Abb. 1). Anschließend wurden auf den Prüfkörpern über drei Tage Biofilme aus fünf Bakterienspezies in einer Mehrspezies-Suspension gezüchtet und mittels Kristallviolett-Färbung sowie einer Kultivierungsmethode (KBE/mL) quantifiziert.



Höhere Rauheit (Ra) geht mit einer höheren Bakterienzahl (KBE/mL) einher (moderate positive Korrelation)

Niedrigere Grenzflächenspannung (IFT) geht mit einer höheren Biofilmmasse einher (starke negative Korrelation)

Abbildung 1: Darstellung der Oberflächeneigenschaften: Rauheit (Ra), Benetzbarkeit mittels Kontaktwinkelmessungen und Grenzflächenspannung sowie deren Einfluss auf die Biofilmbildung. Teilweise KI-generierte Abbildung.

Ergebnisse

Die durchschnittliche Rauheit (Ra) lag zwischen 0,10 und 0,37 μm . TEC zeigte die höchste Ra, TEL die niedrigste. ZR und TC hatten die zweitniedrigsten Werte. Von den beiden konventionell verarbeiteten Materialien wies PT eine geringere Rauheit als TEC auf. Unter den fünf Druckharzen hatte VSC die höchste und P die niedrigste Ra. Absteigende Rangfolge aller Materialien: TEC > VSC > VST > ND > PT > TP > P > ZR > TC > TEL.

Die durchschnittliche Gesamt-Grenzflächenspannung (IFT) lag zwischen 30,0 und 42,4 mN/m. TC zeigte die höchste IFT aller Materialien (signifikant höher als alle anderen außer PT), TP die niedrigste (signifikant niedriger als alle anderen außer PT). Bei den gefrästen Materialien war die IFT von TC signifikant höher als die von TEL. Unter den additiv gefertigten Materialien lagen VSC, ND und VST in einem ähnlichen Bereich (34,4–35,6 mN/m), während TP und P niedrigere Werte zeigten.

Fazit

Die subtraktiv gefertigten Materialien zeigten eine geringere Oberflächenrauheit als 3D-gedruckte und konventionell hergestellte Materialien. Die Grenzflächenspannung wurde stark von der Zusammensetzung und der Mikrostruktur beeinflusst, insbesondere von den anorganischen Füllstoffen innerhalb der Methacrylat-Matrix. Insgesamt war das In-vitro-Biofilmwachstum auf 3D-gedruckten Prüfkörpern vergleichbar mit dem auf konventionellen polymerbasierten Materialien, sowohl hinsichtlich der Gesamt-Biofilmmasse als auch der Anzahl lebensfähiger Bakterien. Die insgesamt akzeptablen Eigenschaften der 3D-gedruckten Materialien unterstützen ihr Potenzial für sowohl temporären als auch permanenten Zahnersatz.

Literatur

- 1 Tian Y, Chen C, Xu X, Wang J, Hou X, Li K, Lu X, Shi H, Lee ES, Jiang HB. A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications. Scanning 2021;99:50131.
- 2 Höhne C, Schmitter M. Control of Occlusal Rehabilitation with 3D-Printed Crowns. Int J Comput Dent 2022;25:325–332.
- 3 Rosentritt M, Raab P, Hahnel S, Stöckle M, Preis V. In-Vitro Performance of CAD/CAM-Fabricated Implant-Supported Temporary Crowns. Clin Oral Investig 2017;21:2581–2587.
- 4 Schmalz G, Cieplik F. Biofilms on Restorative Materials. Monogr. Oral Sci 2021;29:155–194.
- 5 Teughels W, Van Assche N, Sliepen I, Quirynen, M. Effect of Material Characteristics and/or Surface Topography on Biofilm Development. Clin Oral Implant Res 2006;17:68–81.

6 Park JW, Song CW, Jung JH, Ahn SJ, Ferracane JL. The Effects of Surface Roughness of Composite Resin on Biofilm Formation of Streptococcus Mutans in the Presence of Saliva. Oper Dent 2012;37:532–539.

7 Wuerschling SN, Manghofer D, Stawarczyk B, Gueth JF, Kollmuss M. Surface Properties of Dental Materials Influence the In Vitro Multi-Species Biofilm Formation. Polymers (Basel) 2026;18(2):288. <https://doi.org/10.3390/polym18020288>

Detaillierte Ergebnisse, Analysen und Auswertungen sind der folgenden Untersuchung zu entnehmen:

Wuerschling SN, Manghofer D, Stawarczyk B, Gueth JF, Kollmuss M. Surface Properties of Dental Materials Influence the In Vitro Multi-Species Biofilm Formation. Polymers (Basel) 2026;18(2):288. <https://doi.org/10.3390/polym18020288>

