

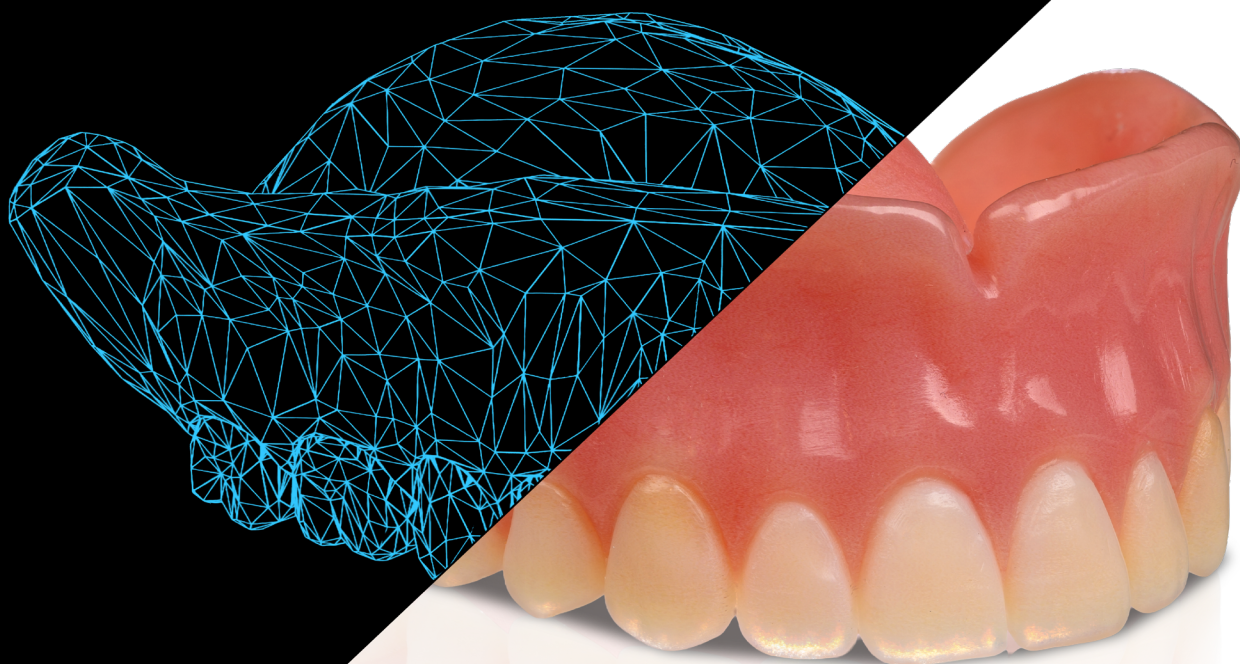
TrueDent[®] und TrueVoxel[™]

Neue Wege der datendefinierten
Zahnprothetik mit monolithischer
Fertigung und Volumensteuerung



Robert Kreyer, CDT

Global Digital Transformation Manager
bei Stratasys Dental



**Robert Kreyer, CDT**

Global Digital Transformation Manager bei Stratasys Dental

Robert Kreyer, CDT, ist Zahntechniker in dritter Generation und international anerkannter Experte für herausnehmbare Prothetik und digitale Arbeitsabläufe. Er blickt auf eine jahrzehntelange Erfahrung mit herausnehmbaren Zahnprothesen zurück und ist Global Digital Transformation Manager bei Stratasys Dental.

Übersicht

Die Fertigung von Vollprothesen zählt zu den Disziplinen der Zahnmedizin, die im Rahmen der Behandlung am anspruchsvollsten sind und die größte technologische Vielfalt aufweisen. In ihrer Geschichte richteten sich die Ergebnisse fast immer nach den manuellen Fertigkeiten bestimmter Zahnarzt- und Zahntechnikfachkräfte. Deshalb war die Reproduzierbarkeit eher eine vage Utopie als praktische Realität. Diese Lücke kann nun mit TrueDent – der nach FDA und CE zugelassene PolyJet™ Photopolymerlösung für Zahnersatzfertigung von Stratasys – dank der monolithischen Herstellung aus verschiedenen Materialien geschlossen werden. TrueVoxel, die Technologie zur volumetrischen ästhetischen Steuerung auf Voxel-Ebene, erweitert die Möglichkeiten der additiven Fertigung, indem sie Farbnuancen und optische Effekte im gesamten Prothesenvolumen definiert. Im vorliegenden Whitepaper werden klinische Sachverhalte und die Auswirkungen dieser Technologien auf den Arbeitsablauf im Zusammenhang mit der Bauplattform, dem Materialaufbau und der optischen Volumensteuerung vorgestellt. Die miteinander kombinierten Technologien kombinieren Präzision, ästhetische Qualität und Reproduzierbarkeit in nur einem digitalen Arbeitsablauf miteinander.

1. Das zu lösende Problem

Weltweit leiden noch immer eine erhebliche Anzahl von Menschen unter Zahnlosigkeit. Trotz der Fortschritte in der präventiven Zahnmedizin und im Bereich der Implantate sind nach wie vor Hunderte von Millionen Menschen weltweit von Zahnlosigkeit betroffen. Dabei liegt die Prävalenz bei Menschen im Alter von über 65 Jahren. Gut sitzende, funktionierende und ästhetische Vollprothesen sind für diese Patienten eine funktionelle Notwendigkeit. Sie wirken sich auf den Ernährungszustand, die sprachliche Ausdrucksweise, das psychische Wohlbefinden und die allgemeine Lebensqualität aus.

Der klinisch-technische Ansatz, mit dem seit über einem Jahrhundert versucht wird, diesen Bedarf zu decken, baut auf von Hand gemischten Acrylharzen auf Polymethylmethacrylatbasis (PMMA), vorgefertigten Acryl- oder Porzellanzähnen auf, die manuell im Wachsauerschmelzverfahren und mit viel handwerklicher Arbeit aus Wachs modelliert werden. In erfahrenen Händen kann dieses Verfahren zu akzeptablen Ergebnissen führen. Die Grenzen werden dabei nicht durch die potenzielle Qualität der Ergebnisse, sondern durch die Variabilität des mehrstufigen Prozesses gesetzt, an dem in jeder Phase mehrere Personen beteiligt sind. Auch der lange Zeitrahmen stellt ein Problem dar.

Für eine konventionelle Vollprothese sind in der Regel vier bis fünf Behandlungstermine vorzusehen, die über mehrere Wochen verteilt sind. Bei jedem Schritt kann es zu Abweichungen kommen: durch Abdruck, Randabformung, Verhältnisaufzeichnung, Zahnanordnung, Gingiva-Wachskontur, Formeinbettung, Wachseliminierung, Kompressions- oder Injektionsverarbeitung, potenzielle Verzerrung, Porosität, erneute Montage zur Bissprüfung mit potenziellen Änderungen und Anpassungen bei der Einpassung. Der Arbeitsablauf im Labor erfordert Investitionen in unternehmenseigene Zahnlagerbestände, Erfahrung im Umgang mit Sprachproblemen, Ausrüstungen für die Nachbearbeitung, Ausbettungsverfahren und Oberflächenbearbeitung. Keiner dieser Vorgänge ist in irgendeiner Weise standardisiert, um eine echte Reproduzierbarkeit zu ermöglichen. Wenn eine herkömmliche Prothese verloren geht oder Schaden nimmt, kann diese für den Patienten anhand der Unterlagen nicht wiederhergestellt werden. Mit jedem neuen Behandlungsfall beginnt der erste Termin von vorn: Abformungen.

Mit den ersten digitalen Ansätzen mit CAD-CAM-Fräsen und Open-Vat-Photopolymerisation wie SLA und DLP hat sich die Prothesenherstellung zwar in ein digitales Umfeld verlagert, doch die wesentlichen strukturellen Einschränkungen wurden dadurch nicht beseitigt. Bei den meisten gefrästen und gedruckten Prothesen werden Zähne und Sockel separat gefertigt und müssen dann manuell zusammengesetzt und verklebt werden. Dadurch entsteht erneut eine mechanische Schnittstelle, an der es zu den bekannten Schwachstellen kommen kann.



Bei SLA- und DLP-Arbeitsabläufen werden Sockel- und Zahnstrukturen separat gedruckt und erfordern manuelle Schritte für Montage, nachträgliche Farbgebung und Verklebung. Das bringt wieder mehr Zeitaufwand, Kosten und Variabilität mit sich. Bei keinem der beiden Ansätze wird eine echte optische Volumensteuerung erreicht. Bei beiden bedarf es einer entweder während des Verfahrens oder nachträglich aufgetragenen Oberflächenfärbung.

Die Behandlungs- und Laborfachkräfte benötigen eine Plattform, die drei grundlegende Anforderungen auf einmal erfüllt:

- Hinlängliche Maßgenauigkeit zur Reduzierung und Vermeidung nachträglicher Anpassungen
- Ästhetische Qualität ohne Variabilität durch individuelle Handwerksarbeit, die den Erwartungen moderner Patienten entspricht
- Reproduzierbarkeit für spätere Ersatzanfertigungen aus gespeicherten Daten, ohne den Behandlungsprozess wiederholen zu müssen

2. TrueDent: Eine monolithische Multimaterial-Bauplattform

TrueDent™ ist ein lichterhärtendes, nach FDA für Klasse II und nach CE für Klasse IIa zugelassenes Harz, das zur Fertigung von zahnärztlichen Produkten wie herausnehmbaren Voll- und Teilprothesen, Prothesenbasen, Prothesenzähnen, Brücken, Kronen, Inlays, Onlays und Veneers in Zahnlabor geeignet ist. Es wurde exklusiv für den Einsatz mit der Stratasys J5 DentaJet® – dem dedizierten PolyJet-3D-Drucker für die Zahnmedizin – entwickelt.

2.1 So fertigen Sie mit PolyJet Zahnersatz aus mehreren Materialien

Bei der PolyJet-Technologie werden Photopolymere unter präziser Steuerung als mikroskopisch kleine Tröpfchen durch Tintenstrahl-druckköpfe aufgebracht. Die einzelnen Schichten werden noch vor dem Auftragen der nächsten Schicht mit UV-Licht ausgehärtet. Die fünf Grundharzfarben – Cyan, Magenta, Yellow, White und Clear – werden an den einzelnen Stellen des Drucks in einem definierten Verhältnis miteinander kombiniert. Auf diese Weise lässt sich die gesamte Bandbreite an Zahn- und Gingivafarben produzieren, die den Anforderungen der vielfältigen Patienten entspricht. Bei diesem Ansatz entfällt der Harzwechsel, der bei Monomaterialsystemen erforderlich ist. Stattdessen werden die Bauplattformen mit gemischten Farben erstellt, damit mehrere Prothesen mit unterschiedlichen Farbkombinationen in nur einem Durchgang unbeaufsichtigt gedruckt werden können.

Ein urheberrechtlich geschütztes wasserlösliches Stützgel hüllt die Prothese während des gesamten Druckvorgangs ein und ermöglicht so komplexe, hochpräzise PolyJet-Drucke. Mit dieser vollständigen Umhüllung sorgt PolyJet für höhere strukturelle Stabilität und unterscheidet sich von der Photopolymerisation mit offener Bauplattform. Da die Prothese beim Drucken rundum gestützt wird, werden Maßabweichungen und Verformungen auf ein Minimum reduziert. Nach dem Druck wird das Stützmaterial mit einem Wasserstrahl entfernt, damit die formstabile Prothese nicht wie bei der Nachbearbeitung von SLA- und DLP-Teilen den üblichen Oberflächenspannungen ausgesetzt wird.

VIDEO: Druckvorgang mit J5 DentaJet PolyJet

Schauen Sie sich die J5 DentaJet in Aktion an. Materialauftrag per Tintenstrahl-Druckkopf, sofortige Aushärtung beim Drucken, einhüllende Stützstruktur und Entfernen der Stützstruktur per Wasserstrahl: Der gesamte Fertigungsablauf – von der Entwurfsdatei bis zur fertigen Prothese.



Mehr erfahren ▶





2.2 Monolithischer Aufbau in nur einem Druck: ohne Klebung oder Schwachstellen

Das entscheidende strukturelle Merkmal von TrueDent ist der monolithische Aufbau. Sowohl der Prothesensockel als auch die Prothesenzähne werden in nur einem kontinuierlichen Druckvorgang hergestellt. Es gibt weder manuelle Montageschritte noch Klebeflächen, Klebeverfahren oder feine Zahn-Sockel-Verbindungen. Zähne, Zahnfleisch und Sockel bestehen aus einem durchgehendem Photopolymerteil.

Dieser Aufbau bietet zwei erhebliche Vorteile bei der Behandlung, die von der unabhängigen Forschung belegt wurden. Zum Einen können sich die Zähne nicht ablösen – das Ablösen der Zähne ist der bei konventionellen und auch bei vielen digitalen Prothesenfertigungsverfahren der am häufigsten auftretende Fehler. Zum Anderen hat sich gezeigt, dass der monolithische Aufbau im Vergleich zum Verfahren mit Sockel-Zahn-Verklebung eine höhere Präzision der Zahnposition bietet. Sallam et al. (BMC Oral Health, 2025) hat diesen erheblichen Vorteil statistisch nachgewiesen.

TrueDent übertrifft die Anforderungen der ISO 20795-1, die für Prothesensockelmaterialien gilt. Diese Norm wurde ursprünglich für PMMA-Materialien entwickelt, die sich grundlegend von Photopolymeren unterscheiden. Die Einhaltung dieser Norm stellt unter Beweis, wie sorgfältig TrueDent entwickelt und geprüft wurde.



TrueDent auf einen Blick

Zulassung nach FDA und CE	Nach FDA für Klasse II und nach CE für Klasse IIa zugelassenes Material für herausnehmbaren Zahnersatz, Brücken, Kronen, Inlays, Onlays und Veneers
Plattform	3D-Drucker Stratasys J5 DentaJet PolyJet
Aufbau	Vollständig monolithischer Aufbau von Sockel und Zähnen in nur einem kontinuierlichen Druckvorgang. Ohne Kleben, ohne Montage.
Materialien	Fünf Grundharze (Cyan, Magenta, Yellow, White, Clear) + einhüllendes Stützmaterial
Norm	Erfüllt und übertrifft ISO 20795-1



3. TrueVoxel: Volumensteuerung der optischen Zahnwirkung

TrueVoxel stellt hinsichtlich des Konzepts und der Behandlung wohl die bedeutendste Weiterentwicklung des TrueDent-Systems dar. Gleichzeitig wird es auch am wenigsten verstanden, da sie eine Fertigungsmethode für ästhetische Eigenschaften einführt, die sich grundlegend von herkömmlichen und bestehenden digitalen Ansätzen unterscheidet.

3.1 Entwicklung auf Voxel Ebene und Bedeutung für die Behandlung

Ein Voxel ist ein dreidimensionales Pixel. Es handelt sich um einen Einheitswürfel, der den Grundbaustein eines volumetrisch definierten Objekts bildet. Im TrueDent-System misst jedes Voxel $85 \times 85 \times 18$ Mikrometer. Die Prothese wird als ein Volumen aus Millionen von einzeln spezifizierten Voxeln definiert. Diesen Voxeln werden jeweils eine Farbe, ein Farbton und optische Eigenschaften zugeordnet.

Bei der konventionellen Prothesenfertigung werden die optischen Effekte oberflächlich aufgebracht. Die äußerliche Charakterisierung der Zähne, einschließlich Oberflächenfärbung, Glasur und Anbringen von Zahnfleischverblendungen, verleiht einem strukturell einheitlichen Untergrund das Erscheinungsbild von Tiefe und Variation. SLA- und DLP-Arbeitsabläufe folgen demselben Modell mit Oberflächenbehandlung. Sobald die Oberfläche jedoch abnutzt oder beim Polieren angepasst wird, können diese manuell aufgetragenen optischen Effekte beeinträchtigt werden oder verloren gehen.

TrueVoxel ersetzt den Ansatz der Oberflächenbehandlung durch die Volumensteuerung. Farbe, Farbton und optische Merkmale werden vor dem Drucken auf dem gesamten Volumen der Prothese zugeordnet. Die sichtbare Oberfläche spiegelt optisch den zugrunde liegenden Materialaufbau des gesamten Volumens wider.



3.2 Behandlungsmöglichkeiten dank der optischen Volumensteuerung

Innenliegender Aufbau mit Mamelon-Effekt

Der natürliche Zahnschmelz ist optisch nicht einheitlich. Der darunter liegende, auch als Mamelon bezeichnete Dentin kreiert durch Überlappungen subtile Abstufungen zwischen Opazität und Transluzenz, die durch den Zahnschmelz hindurch sichtbar sind. Bei konventionellen und bei den meisten digital erstellten Prothesenzähnen werden diese Merkmale durch Oberflächenstruktur oder Einfärbung nachgeahmt. TrueVoxel definiert diese Abstufungen innerhalb des Zahnvolumens, damit das Licht mit dem inneren Aufbau interagiert. Das ist mehr als nur ein oberflächlicher Effekt.

Transluzenter Verlauf der Inzisalkante

An der Inzisalkante eines natürlichen Schneidezahns geht der undurchsichtige Dentin in den transluzenten Zahnschmelz über. TrueVoxel definiert diesen Verlauf im Volumen durch den Übergang vom blickdichten Kern zur Inzisalkante auf Voxel Ebene. Das daraus resultierende optische Verhalten entspricht stärker den Lichtdurchlässigkeitseigenschaften des natürlichen Zahnschmelzes.



Farbverlauf am Zahnhals

Bei natürlichen Zähnen wird die Zahnschmelzfarbe zum Zahnhals hin intensiver, da der Zahnschmelz dünner wird und der Dentin vermehrt zu sehen ist. TrueVoxel definiert diesen Verlauf im Gesamtvolumen und ermöglicht eine patientenspezifische Darstellung des Zahnhalses, die bei jeder neu gedruckten Prothese einheitlich wiederholt werden kann.



3.3 Wiederholbarkeit: Ein gänzlich neues Behandlungsergebnis

Die vollständige optische Spezifikation einer Prothese wird in einer digitalen Datei auf Voxel Ebene programmiert. Diese Daten können gespeichert, übertragen und präzise reproduziert werden. Bei jedem erneuten Druck derselben Datei entsteht der gleiche optische Effekt wie bei der Originalprothese. Zum ersten Mal in der prothetischen Zahnmedizin können für Patienten individuelle optische Entwicklungen dokumentiert, gespeichert und einheitlich reproduziert werden.

Am 1. Oktober 2025 hat Stratasys einen Patentantrag für die TrueVoxel-Technologie angemeldet und ist somit das erste Unternehmen für additive Fertigung, das eine optische Volumensteuerung für die gesamte Zahnprothese einführt. Das eröffnet uns eine beispiellose Welt neuer Möglichkeiten in der prothetischen Zahnmedizin.

TrueVoxel: Drei Behandlungsfunktionen

Innenliegende Mamelonen	Ein nicht nur oberflächlich aufgebracht Verlauf mit optischer Tiefe durch das Zahnvolumen
Transluzenter Verlauf der Inzisalkante	Verlauf auf Voxel Ebene vom undurchsichtigen Dentin zur transluzenten Inzisalkante
Farbverlauf am Zahnhals	Bei jedem Druckvorgang wiederholbarer, volumetrisch spezifischer Verlauf von der Inzisalkante zum Zahnhals
Patentstatus	Am 1. Oktober 2025 angemeldetes Patent – erstes Unternehmen für additive Fertigung mit optischer Steuerung der gesamten Zahnprothese auf Voxel Ebene

4. Neue Wege der datendefinierten Zahnprothetik

Die Konvergenz von monolithischer Fertigung und optischer Volumensteuerung stellt einen Wendepunkt beim Zahnersatz dar. Das in der Vergangenheit durch manuelle Fertigkeiten, Variabilität und begrenzte Reproduzierbarkeit definierte Verfahren wird auf diese Weise in ein durch Daten, Steuerung und Einheitlichkeit definiertes System verwandelt.

Bei diesem Ansatz ergibt sich die Prothese nicht mehr aus einer Abfolge von manuellen Schritten, sondern ist direkt das Endprodukt einer vollständig spezifizierten digitalen Entwicklung. Die strukturelle Integrität, das optische Verhalten und die optischen Details werden vor der Fertigung definiert und während des gesamten Fertigungsverfahrens beibehalten.

Diese Umstellung wirkt sich nicht nur auf die Wirtschaftlichkeit der Arbeitsabläufe aus. Damit wird eine neue Erwartung geweckt, dass prothetische Ergebnisse vorhersehbar, wiederholbar und reproduzierbar sein können. Im Rahmen der zunehmenden Bedeutung der digitalen Infrastruktur in Behandlungspraxen und Laboren können Technologien auf Voxel Ebene sowohl das Verfahren als auch den Anspruch an die Behandlung mit Vollprothesen von Grund auf neu definieren.



Referenzen:

1. Sallam HN, et al. Accuracy of monolithic versus bonded assembly approaches in digital denture fabrication. BMC Oral Health. 2025.
2. Giordano R, Davis D, Kreyer R. Dimensional accuracy of multi-material PolyJet 3D-printed dental prostheses compared to competing additive manufacturing platforms: an in vitro study. Zeitschrift Esthetic and Restorative Dentistry. 2026.
3. Lawson NC, Safadi Y, Alford A, Aggarwal H, Bora PV, Lawson TJ, Givan DA. Flexural strength, fracture toughness, translucency, stain resistance, and water sorption of 3D-printed, milled, and conventional denture base materials. Zeitschrift Prosthodontics. 2024.
4. Azpiaz-Flores FX, Elfana A, Yang C-C, Morton D, Lin W-S. Effect of artificial aging and surface finishing protocols on flexural strength and surface hardness of a photopolymer for manufacturing monolithic polychromatic complete dentures using PolyJet 3D printing. Zeitschrift Prosthodontics. 2024.
5. Sorensen JA. Evaluation of wear resistance of TrueDent denture teeth. Whitepaper von Stratasys. 2022.
6. Color stability of monolithic polychromatic material jetting 3D-printed denture material under surface treatments. PMC. 2025.



stratasys.com/dental

ISO 9001
ISO 13485

Stratasys-Hauptsitz
5995 Opus Parkway,
Minnetonka, MN 55343, USA
+1 800 801 6491 (gebührenfrei innerhalb der USA)
+1 952 937-3000 (International)
+1 952 937-0070 (Fax)

1 Holtzman St.
Science Park
Rehovot, 7670401
Israel
+972 74 745 4000
+972 74 745 5000 (Fax)

WHITEPAPER ZAHNMEDIZIN

© 2026 Stratasys Ltd. Alle Rechte vorbehalten. Stratasys, TrueDent, TrueVoxel, J5 DentaJet, PolyJet und GrabCAD Print sind Marken oder eingetragene Marken von Stratasys Ltd. bzw. verbundenen Unternehmen oder Vertragspartnern und können in bestimmten Gerichtsbarkeiten eingetragen sein. Alle anderen Marken sind Eigentum der jeweiligen Inhaber. MKT000023EN Rev. A. WP_PJD_TrueDent TrueVoxel_A4_DE_0526a_RevA