Dissertationsergebnisse für die prothetische Praxis (und darüber hinaus)

Ein Beitrag von Johannes Rossipal

Für seine Dissertation „Passung 3D-gedruckter Zirkoniumdioxidkronen mit unterschiedlichen Design- und Herstellungsparametern", die unter der Betreuung von Prof. Dr. Andreas Zenthöfer, Komm. Ärztlicher Direktor der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik des Universitätsklinikums Heidelberg, entstand, erhielt Zahnarzt Johannes Rossipal einen Preis in der Kategorie „Klinische Studien, experimentelle Forschung mit unmittelbarem klinischem Bezug, Public Health und Versorgungsforschung" des DGZMK/BZÄK/Dentsply Sirona Förderpreises. Im Folgenden geht der Autor auf vier ausgewählte Aspekte seiner Forschung ein.

Designparameter wie Zementspalt, Randgestaltung und Materialstärke beeinflussen die Rand- und Innenpassung 3D-gedruckter Zirkoniumdioxidkronen im Vergleich zu konventionell gefrästen.

Die Rand- und Innenpassung von 3D-gedruckten Kronen auf Basis von Zirkoniumdioxid wird von unterschiedlichen Parametern beeinflusst. Neben dem Faktor Kronendesign selbst spielt insbesondere die Wandstärke eine bedeutsame Rolle. Wir haben den Anspruch, womöglich betont minimalinvasiv zu arbeiten, und müssen demnach fallspezifisch sehr dünnwandige Kronen herstellen. Unsere aktuellen Versuche haben gezeigt, dass diese minimalinvasiven Restaurationen von zusätzlichen Supportstrukturen während des Drucks profitieren. Für das sich nach der Reinigung der fertigen Druckobjekte anschließende Entbindern – also das Austreiben der als Binder fungierenden organischen Komponente mittels Hitzebehandlung – bieten dünne Objekte zudem den Vorteil, dass dies hier schneller gelingt. Allerdings neigen filigrane Strukturen mit geringer Biegesteifigkeit bei diesem Prozess zu ungewünschten Formveränderungen. Bei größeren Wandstärken (≥ 1 mm) hingegen verhält es sich umgekehrt: sie sind biegesteif und kommen ohne zusätzliche Stützstrukturen aus, benötigen allerdings schonendere, längere Entbinderungszeiten.

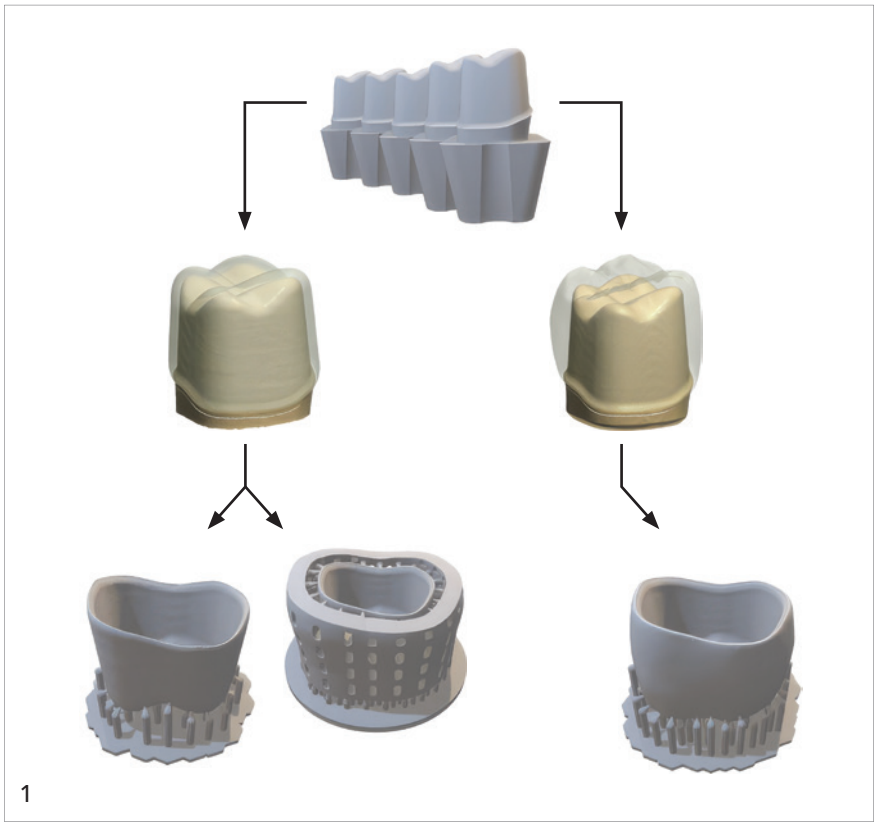
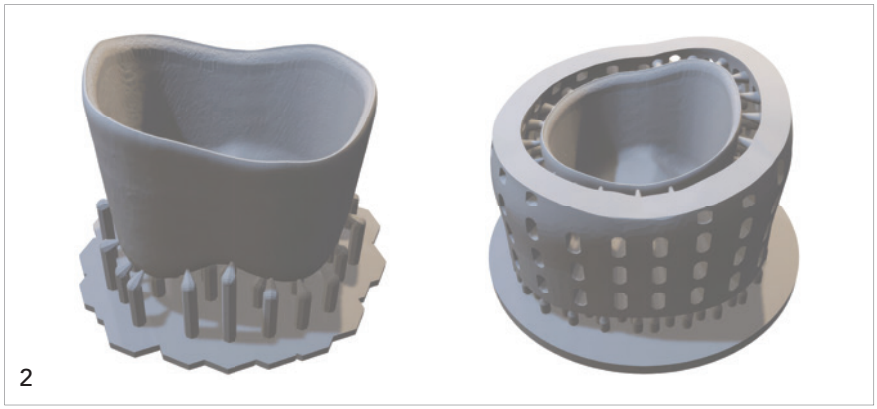


Abb. 1: *Kronendesign und Nesting der Versuchsgruppen, die sich in Wandstärke (0,5 mm | 1 mm) und Supportstruktur (Standardsupports okklusal | Supportring) unterscheiden.*

Bei der Gestaltung der Kronenränder ist zu berücksichtigen, dass die Lichtstreuung in partikelbeladenen Suspensionen zu einer Ausdehnung des polymerisierten Bereichs über die geometrisch projizierte Kontur hinaus führen kann. Um dies zu korrigieren, wird das zu druckende digitale Objekt nach dem Nesting in horizontaler Richtung um einen sogenannten xy-Offset reduziert. Bei dünn auslaufenden Kronenrändern würde dies dazu führen, dass die Spitzen der Kronenränder verschwinden und diese dann beim gedruckten Objekt zu kurz ausfallen. Daher sollte die Randstufe am designten Kronenrand unter Berücksichtigung der lateralen Voxelgröße des Druckers mindestens dem doppelten Offset-Wert entsprechen.



2

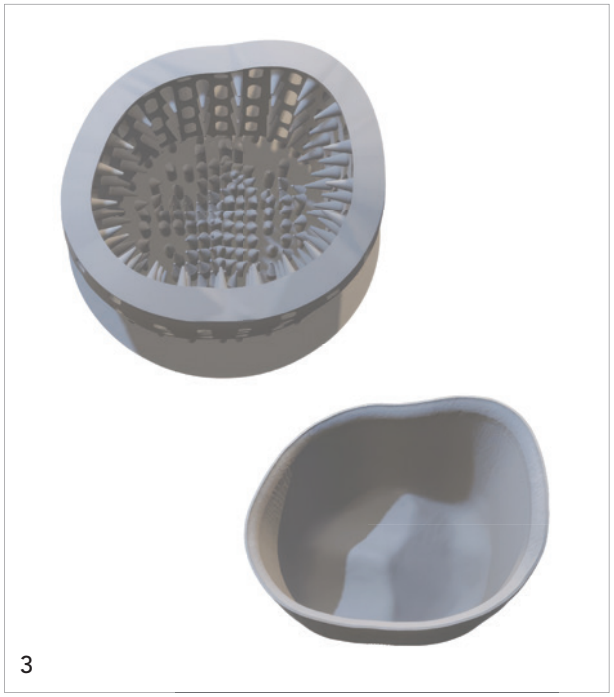
Abb. 2: *Genestete Kronen mit Standardsupports (links) und zusätzlichem Supportring (rechts).*

Spezifische Herstellungsparameter wie Schichtdicke, Druckorientierung und Sinterprotokoll beeinflussen die Passgenauigkeit von Zirkoniumdioxidkronen.

Für einen präzisen 3D-Druck von Zirkoniumdioxid und nachfolgend reproduzierbar akzeptable Passungswerte ist es Voraussetzung, die Skalierungswerte der zu verdruckenden Suspension zu bestimmen, um damit den Schrumpf über die gesamte Prozesskette vorhersagbar zu steuern. Zwar wird das klinisch zugelassene Material, welches wir verwenden, herstellerseits mit entsprechenden Empfehlungen für Skalierungswerte ausgeliefert, es zeigten sich aber chargenabhängig bzw. geräte- und prozessabhängig kleinere Abweichungen der bei uns real beobachteten Skalierungswerte. Folglich brachte die individuelle Bestimmung dieser Faktoren über sog. Kalibrierkörper, sowie der Einsatz zusätzlicher Supportstrukturen – neben weiteren Standardisierungen den Durchbruch hin zu Passungsparametern, die vergleichbar sind mit denen gefräster Restaurationen.

Wie zuvor erwähnt empfiehlt sich insbesondere bei dünnwandigen Objekten der Einsatz von zusätzlichen Supportstrukturen, weshalb die Kronen mit 0,5 mm Wandstärke in unseren vorklinischen Studien neben der okklusalen Abstützung zusätzlich an den Restaurationswänden mithilfe eines Ringes versteift wurden. Dieser Ring erwies sich auch beim Post-Processing als entscheidender Faktor, um die Form und damit vielversprechende Passungswerte zu gewährleisten. Die beim Ablösen von der Bauplattform aufzuwendenden Kräfte sind gerade bei dünnwandigen Objekten ein Risiko und können durch den Einsatz des Ringes reduziert werden.

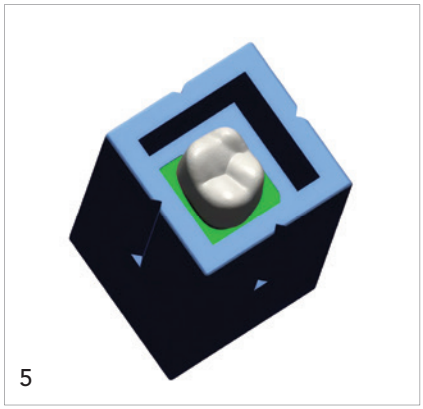
In Vorläuferstudien konnte mit dem Reinigungsverfahren des „Airbrushing" ein weiterer Einflussfaktor für die Passung der späteren Kronen identifiziert werden. Dabei wird das Objekt zur Entfernung von überschüssiger Suspension manuell mittels aufgesprühtem Isopropanol gereinigt. Wir haben zusätzlich untersucht, welchen Einfluss die Höhe des Reinigungsdruckes dabei hat. Insgesamt konnten folgende Ergebnisse gesichert werden: Verglichen mit einem Reinigungsdruck von 2 bar führte ein reduzierter Reinigungsdruck von 1 bar zu signifikant besseren Passungswerten. Bei dünnwandigen (0,5 mm) Kronen verbesserte der Einsatz eines Supportrings signifikant sowohl die Rand- als auch die Innenpassung, sodass für diese Kronen sowohl gegenüber dickwandigen (1 mm) Kronen ohne Supportring als auch gegenüber gefrästen Kronen ein ähnliches Niveau hinsichtlich ihrer Passgenauigkeit erreicht werden konnte.



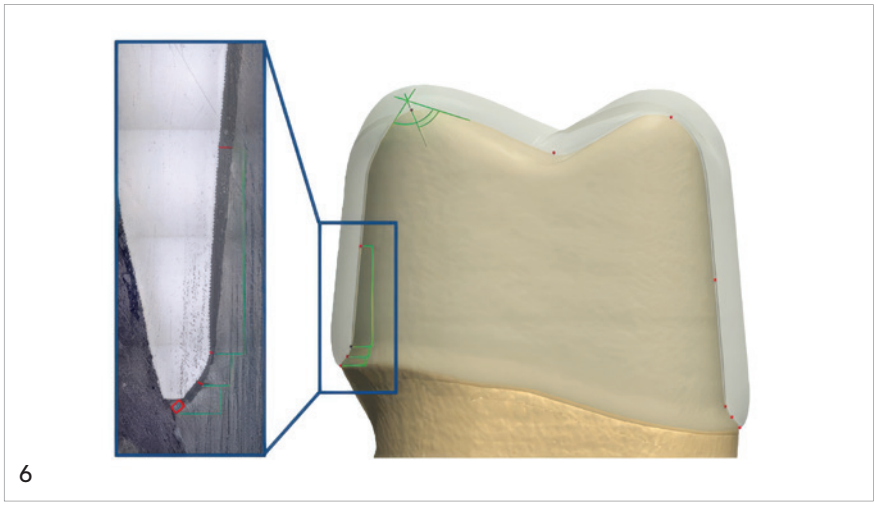
3

Abb. 3: *Abgebildet sind der individuell an die Krone angepasste Supportring und separat davon die zuvor darin stabilisierte Krone. Die Krone wird nach dem Entbindern vom Supportring befreit. Er stabilisiert die Krone während des Druckvorgangs und fängt formgefährdende Kräfte bei Reinigung und Entbinderung ab. –* ***Abb. 4:*** *Manuelle Reinigung (Airbrushing) der gedruckten Kronen zur Entfernung überschüssiger Suspension mittels aufgesprühtem Isopropanol unter kontrolliertem Druck.*

4



5



6

Abb. 5: *Kronen-Stumpf-Komplexe nach der adhäsiven Zementierung eingebettet in ein Förmchen, durch deren Einkerbung der Sägeschnitt zur anschließenden Passungsauswertung des Zementspalts im Mikroskop erfolgt.* – ***Abb. 6:*** *Digital-mikroskopische Ausmessung des Zementspalts an vorher festgelegten Punkten.*

Zur Bewertung der Passung wurden verschiedene Messmethoden eingesetzt und bezüglich ihrer Aussagekraft für die klinische Praxis betrachtet.

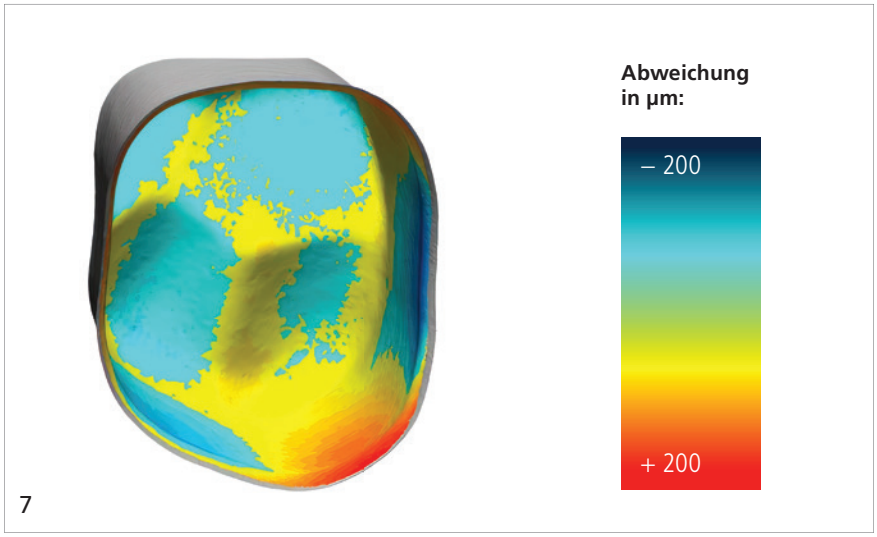
Wie auch im klinischen Alltag wurde die Passung vor dem adhäsiven Zementieren optisch und taktil überprüft. Darüber hinaus wurden 3D-Scans von Stumpf und Restauration angefertigt, um mögliche Abweichungen vom digitalen Datensatz abschätzen zu können. Zur weiteren Objektivierung der Passung wurden die Kronen dann mit Adhäsiv-Zement unter definierter Kraft (200 N) auf ihre Stümpfe gefügt.

Die Kronen-Stumpf-Komplexe wurden in eine Kunststoffform eingebettet, an vorab definierten Schnittebenen mit einer Präzisionssäge zerteilt und hinsichtlich der Passungsparameter mittels Digitalmikroskopie untersucht.

Diese Methodik hat den Vorteil, dass die Passgenauigkeit mit einem klinisch eingesetzten Adhäsiv-Werkstoff ermittelt wird. Im Gegensatz dazu werden bei der hier nicht verwendeten Dubliermethode dünnfließende Abformmaterialien eingesetzt, die viel geringere Filmstärken aufweisen. Da sich verschiedene zahnärztliche Zemente und Adhäsive auch in ihrer Filmdicke unterscheiden können, sind unsere Ergebnisse zunächst nur für den hier verwendeten Adhäsiv-Werkstoff gültig. Nachteil aller Schnittmethoden ist, dass die Passungsparameter nicht entlang des gesamten Randes bzw. der gesamten präparierten Zahnoberfläche erfasst wird, sondern nur an ausgewählten Stellen.

Die Ergebnisse meiner Untersuchungen zeigen Implikationen für den klinischen Einsatzadditiv gefertigter Zirkoniumdioxidkronen hinsichtlich Langzeitstabilität und Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu etablierten CAD/CAM-Verfahren.

Subtraktive Verfahren wie das Fräsverfahren aus Vollmaterial (Ronden, Blöcke) sind aktuell der Goldstandard, wenn es um die Herstellung von Zirkoniumdioxid-Restaurationen geht. Allerdings bietet der 3D-Druck theoretisch vielfältige Vorteile wie zum Beispiel Material- und Zeitersparnis und eine fast grenzenlose Designfreiheit. Zudem werden Randaussprengungen durch sog. „Tooling Stress" vermieden. Im Rahmen unserer unter anderem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanzierten Projekte konnten wir verschiedene Ansätze für die Optimierung dieser neuen Technologie erproben. Wir haben es für verschiedene prothetische Versorgungen einschließlich Brücken geschafft, mittels 3D-Druck ähnliche Bruchlasten und Passgenauigkeiten zu erzielen, wie sie bei frästechnischer Herstellung vorliegen.



7

Abb. 7: *Visualisierung der Abweichung von Innenoberfläche der gedruckten und eingescannten Krone zum digitalen Datensatz.*

Mittlerweile wurde sogar eine erste klinische Studie mit 3D-gedruckten Molarenkronen durchgeführt. Hier zeigte sich, dass die Kronen, wenn überhaupt, vor dem Einsetzen nur minimal angepasst werden mussten. Bislang wurden auch keinerlei Komplikationen in der Studie beobachtet. Im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit muss man allerdings fairerweise sagen, dass momentan bereits etablierte CAM-Verfahren noch wirtschaftlicher und zielführender sind. Beim 3D-Druck müssen aktuell noch vergleichsweise viele Parameter kontrolliert werden, um möglichst gute Ergebnisse mit gleichbleibender Qualität zu erzielen. Auch die Materialersparnis wird durch das nötige Vorlegen größerer Mengen von Suspensionen konterkariert und das prolongierte Entbindern bzw. Sintern kostet Zeit und Energie. Wir arbeiten momentan an vielen Stellschrauben, um das 3D-Druck-Verfahren weiter zu optimieren und damit einfacher, schneller und insgesamt praxistauglicher zu gestalten. Hier ist zum Beispiel auch die Entwicklung lösemittelfreier Suspensionen zu nennen, sowie der Ansatz des Multimaterialdrucks. Stand heute kann der 3D-Druck von Zirkoniumdioxid eine ergänzende, aber anspruchsvolle Lösung für die Herstellung von beispielsweise streng defektorientierten Restaurationen oder Zahnersatz mit spezifischen Retentionselementen wie Adhäsivbrücken sein.

Für Kunststoffe hat sich der 3D-Druck in vielen Bereichen der Zahnmedizin bereits etabliert. Auch ein möglicher wirtschaftlicher Vorteil könnte in der Massenfertigung von gleichzeitig zu belichtenden unterschiedlichen Druckobjekten liegen, während subtraktiv nach Reihenfolge vorgegangen werden muss. Zudem entstehen keine Kosten für Fräser. Auch eine Materialersparnis wäre perspektivisch denkbar, wenn kleinere Suspensionsvolumina vorgelegt werden müssen. Auch hier sind wir in engem Austausch mit der Industrie. Gelingen diese Optimierungen hin zu einer intuitiven Alltagstechnik, stünde unserer Meinung nach einer flächendeckenden Verbreitung dieser innovativen Technologie nichts im Wege.

Der Verfasser des Textes pflegt keinerlei wirtschaftliche oder persönliche Verbindung zu den genannten Unternehmen.

Abbildungen: © Johannes Rossipal

JOHANNES ROSSIPAL
Universitätsklinikum Heidelberg
Im Neuenheimer Feld 400
69120 Heidelberg
Tel.: +49 6221 56-6052
Johannes.Rossipal@med.uni-heidelberg.de
https://www.klinikum.uni-heidelberg.de/mund-zahn-kieferklinik/poliklinik-fuer-zahnaerztliche-prothetik/

Johannes Rossipal

ANZEIGE

Oberflächenreinigung- und desinfektion mit den VAH zertifizierten ALPRO-Wipes.

PlastiSept *eco* Wipes: Alkoholfreie, gebrauchsfertige und fusselfreie Feuchttücher zur schnellen und gründlichen Reinigung und Desinfektion empfindlicher Oberflächen von Medizinprodukten.

MinutenWipes: Alkoholische, gebrauchsfertige und fusselfreie Feuchttücher zur schnellen und gründlichen Reinigung und Desinfektion der Oberflächen von Medizinprodukten.

In 3 Größen erhältlich
- **Wipes** 30 oder 50 g/m²
- **JumboWipes** 30 oder 50 g/m²
- **MaxiWipes** 50 g/m²

ALPRO®
ALPRO MEDICAL GMBH