

Update Digitale Zahn- heilkunde

Aktuelle Möglichkeiten und Limitationen

Ein Beitrag von ZT Josef Schweiger, M.Sc.,
Prof. Dr. Daniel Edelhoff und
Prof. Dr. Jan-Frederik Güth, München

Die Entwicklungsgeschwindigkeit im Bereich der Digitalen Zahnheilkunde hat ein enormes Tempo angenommen. Für Praktiker wird es zunehmend schwieriger, auf dem aktuellen Stand zu bleiben und das Potenzial neuer Technologien und Konzepte realistisch einzuschätzen. Im nachfolgenden Beitrag sollen einige der nach Ansicht der Autoren interessantesten digitalen Entwicklungen aus den Bereichen „Behandlungskonzepte“ sowie „Technologie- und Materialentwicklungen“ dargestellt werden. Es kann daher kein Anspruch auf Vollständigkeit gestellt werden; alle Einschätzungen stellen subjektive Sichtweisen der Verfasser dar.

Aktuelle digitale Behandlungskonzepte

Die größte Hebelwirkung der Digitalisierung in der Zahnheilkunde zeigt sich sicherlich im praktischen Einsatz durch die Anwendung neuer, digitaler Behandlungskonzepte. Beispielhaft wird hier ein Konzept aus dem Bereich der prothetischen Versorgung beschrieben.

Münchener Schienenkonzept (Polykarbonatschiene)

Traditionelle Versorgungskonzepte mit metallbasierten Kronen und Brücken werden aufgrund ihrer guten klinischen Langzeiterfolge als Goldstandard definiert [1]. Als Nachteil wird jedoch der mit der Kronen- und Brückenpfeilerpräparation verbundene hohe Zahnhartsubstanzabtrag empfunden. Messungen des Substanzabtrags in Abhängigkeit von verschiedenen Präparationsgeometrien konnten belegen, dass durch Vollkronenpräparation sowohl im Front- als auch im Seitenzahnbereich bis zu 70 Prozent der Zahnhartsubstanz der klinischen Krone abgetragen werden [2,3]. Vor diesem Hintergrund hat sich in der festsitzenden Prothetik in den letzten Jahren ein Paradigmenwechsel hin zu weniger invasiven, metallfreien Therapiekonzepten vollzogen.

Polykarbonat als Material für CAD/CAM-gefertigte zahnfarbene Okklusionschienen zeichnet sich durch überragende Materialeigenschaften aus, die sich von den Eigenschaften herkömmlicher Schienen aus transparentem PMMA erheblich unterscheiden [4,5,6]. Zu den Vorteilen der zahnfarbenen CAD/CAM-gefertigten Polykarbonatschienen zählen die bessere Passgenauigkeit – bedingt durch die Umgehung der Polymerisationsschrumpfung (bereits unter industriellen Bedingungen durchgeführt) –, eine höhere Langzeitstabilität von Form und Farbe, die günstigere Biokompatibilität, ein geringerer Verschleiß und ein besseres ästhetisches Erscheinungsbild. Zudem können zahnfarbene Polykarbonatschienen aufgrund ihrer Flexibilität ohne erhöhte Frakturgefahr auch in sehr geringen Schichtstärken (0,3 mm) hergestellt und eingesetzt werden. Der



Breite der 1-er mm	Ideale Länge mm	Ideale Shimbashi-Dimension mm
7	9	14,5
7,5	9,75	15,75
8	10,5	17
8,5	11	17,75
9	11,5	18,5
9,5	12,25	20
10	13	21
10,5	13,5	22

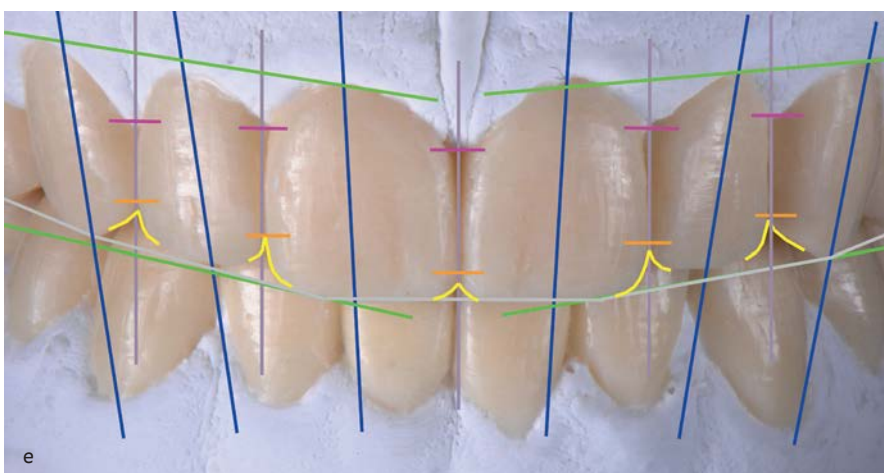
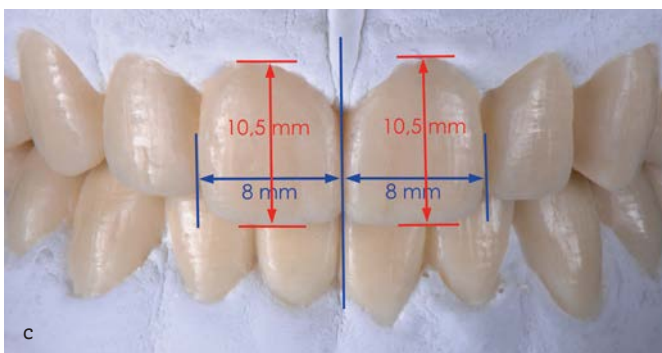


Abb. 1a: Ausgangssituation eines Patienten mit genetisch bedingter Störung der Zahnschmelzbildung (Amelogenesis imperfecta)
 Abb. 1b bis d: Das Wax-up erfolgte unter Berücksichtigung der Shimbashi-Dimensionen.
 Abb. 1e: Beim Aufwachsen der Oberkieferfrontzähne müssen die grundlegenden Merkmale berücksichtigt werden.

hohe Tragekomfort, kombiniert mit einer akzeptablen Ästhetik, führt zu einer verbesserten Compliance der Patienten im Sinne einer „23-Stunden-Schiene“. Durch die Teilung in eine Ober- und Unterkiefer-schiene bei größeren Veränderungen der Vertikaldimension können zudem die im Wax-up festgelegten ästhetischen und funktionellen Aspekte fast vollständig in die Okklusionsschienen übertragen und realitätsnah wie auch reversibel durch den Patienten erprobt werden. Dieses „Zwei Schienen-Konzept“ erlaubt zudem die parallele, konservierende, chirurgische, parodontologische, endodontische wie auch implantologische Vorbehandlung

unter den herausnehmbaren Schienen und erleichtert eine segmentale Umsetzung in die spätere definitive Restauration.

Ein definierter Behandlungsplan bildet die Grundlage des Versorgungskonzepts und besteht aus folgenden Basisschritten:

2. Wax-up
2. Mock-up
3. Münchener Schiene (Polykarbonatschiene)
4. Therapeutische Versorgung mit nichtinvasiven Restaurationen aus Hochleistungspolymeren

Es sollte betont werden, dass diese vier Schritte das Grundgerüst des Behand-

lungsablaufs darstellen und Abweichungen innerhalb der einzelnen Behandlungsschritte möglich, manchmal sogar notwendig sind.

Wax-up (Abb. 1a bis e)

Die essenzielle Grundlage der Versorgung bildet das Wax-up. Dieses kann entweder analog oder digital erfolgen. Beim Aufwachsen sollten für die Erzielung einer harmonischen ästhetischen Gestaltung die adäquaten Dimensionen (z.B. nach Shimbashi) berücksichtigt werden. Damit ist es einerseits möglich, das Längen-Breiten-Verhältnis der mittleren oberen Schneidezähne zu ermit-



Abb. 2: Die Mock-up-Einprobe ist derzeit der sicherste Weg, um die im Wax-up erarbeitete Versorgungskonzeption zu überprüfen.



Abb. 3: Basierend auf den Erkenntnissen des Wax-ups und des Mock-ups kann mithilfe moderner CAD-Software die dreidimensionale Form kopiert und für die Konstruktion von nichtinvasiven vollanatomischen zahnfarbenen Schienen (Münchener Schienen) verwendet werden.

teln, andererseits kann damit auch die Vertikaldimension festgelegt werden. Ausgangspunkt für das Aufwachsen ist die Lokalisation der Schneidekanten der Oberkieferfrontzähne nach ästhetischen und funktionellen Gesichtspunkten. Dabei sollten unter anderem folgende Grundsätze berücksichtigt werden:

- Positiver oder konvexer Frontzahnbogen (OK-Eckzähne sind kürzer als mittlere obere Schneidezähne)
- „Schneidezahntreppe“ (die seitlichen Schneidezähne sind die kürzesten Zähne im OK-Frontzahndisplay)
- Ausrichtung der Zahnachsen und Inklination der Schneidezähne
- Vertikale Abstufung der Approximalkontakte
- Höhe der Interdentalpapillen

Als besonders hilfreich hat sich die Möglichkeit erwiesen, vom Patienten einen 3-D-Gesichtsscans anzufertigen. Damit ist der Zahntechniker erstmals in der Lage, eine Evaluierung des Wax-ups am virtuellen Patienten durchzuführen. Eventuelle Korrekturen können mit geringem Aufwand und ohne einen zusätzlichen Behandlungstermin erfolgen. Die Berücksichtigung von funktionellen Kriterien ist beim derzeitigen Stand der Technik noch nicht möglich.

Mock-up (Abb. 2)

Die Mock-up-Einprobe ist derzeit der sicherste Weg, das im Wax-up erarbeitete Restaurationsziel zu überprüfen. Neben den ästhetischen Aspekten können dabei vor allem funktionelle Parameter wie beispielsweise die phonetische Interaktion

der Schneidekanten der zentralen Inzisivi des Oberkiefers mit der Unterlippe beim „F“-Laut, der Sprechabstand der Zahnreihen und die Ausprägung des bukkalen Korridors evaluiert werden. Diese klinische Einprobe zeigt aufgrund der Evaluierung der Lippen- und Zungendynamik sowie der Kaufunktion noch immer wesentliche Vorteile gegenüber einer virtuellen Einprobe mittels Gesichtsscans.

Zahnfarbene vollanatomische Simulationsschiene aus Polykarbonat (Abb. 3)

Basierend auf den Erkenntnissen des Wax-ups und des Mock-ups kann mithilfe moderner CAD-Software die dreidimensionale Form kopiert und für die Konstruktion von nichtinvasiven vollanatomischen zahnfarbenen Schienen (Münchener Schienen) verwendet werden. Diese werden aus Polykarbonat gefräst und können auf die vorhandenen Zähne im Sinne einer „snap on technique“ „aufgeschnappt“ werden. Aufgrund der gegenüber Polymethylmethacrylaten (PMMA) höheren Flexibilität sind Schienen aus Polykarbonat weniger fraktur anfällig und können somit sehr dünn ausgearbeitet werden.

Versorgung mit Restaurationen

(LZP oder definitiv) (Abb. 4)

Für eine therapeutische Versorgung im Sinne eines nichtinvasiven Konzepts eignen sich insbesondere CAD/CAM-Restaurationen aus Hochleistungspolymer, wie



Abb. 4: Die therapeutische Versorgung im Sinne eines nichtinvasiven Konzepts erfolgte mit Restaurationen aus der Resin-Nano-Keramik „Lava Ultimate“ (3M Deutschland, Seefeld).

beispielsweise aus PMMA, aus Kompositmaterialien oder Hybridkeramiken. Für die CAD-Konstruktion der Restaurationen werden die dreidimensionalen Daten des Wax-ups verwendet, sodass letztlich die Restaurationen eine identische Kopie des Wax-ups, des Mock-ups und der Münchener Schiene darstellen. Aufgrund der ausgedehnten „Testfahrt“ besteht eine hohe Vorhersagbarkeit, und „Überraschungsmomente“ sind für alle Beteiligten ausgeschlossen.

Aktuelle digitale dental-technologische Entwicklungen

Während im Bereich der subtraktiven Verfahren bereits ein hohes Produktivitätsniveau mit optimalen Passungen erreicht ist, gewinnen additive Verfahren (3-D-Druck) zunehmend an Bedeutung. Darüber hinaus zeigen auch Kombinationen aus verschiedenen Fertigungsverfahren ein enormes Potenzial, so beispielsweise die Verknüpfung des Lasersinterns mit der CNC-Bearbeitung wie auch die Kombination von digitaler Konstruktion und additiver Fertigung mit dem analogen Fertigungsweg der Keramikpresstechnik.

Digitale Technologien in der Teilprothetik

Die Befestigung von Zahnersatz mithilfe von Klammern ist eine der ältesten Formen von Verankerungselementen [7]. Klammerverankerte Prothesen, auch als Einstückgussprothesen bezeichnet, sind

eine sehr einfache Form des Zahnersatzes und zeigen eine große Variationsbreite, wodurch sie sehr universell einsetzbar sind [8]. Seit mehr als 100 Jahren sind klammerverankerte Prothesen eine probate Möglichkeit, um herausnehmbaren Zahnersatz gegen abziehende Kräfte, beispielsweise beim Sprechen oder Kauen, auf dem Kiefer in lagerichtiger Position zu halten und die Kaukräfte möglichst gleichmäßig auf Restzähne und Weichgewebe zu verteilen. Dr. F. E. Roach schrieb 1930 im „Journal of the American Dental Association“ [9]: „The clasp is the oldest and still is and probably will continue to be, the most practical and popular means of anchoring partial dentures“.

Die Einführung von digitalen Verfahren zur Herstellung von Zahnersatz, wie beispielsweise Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing (CAD/CAM) und additive Fertigungstechniken, bietet die Möglichkeit, Einstückgussprothesen digital zu planen und anschließend subtraktiv mittels CNC-Fräsmaschinen oder additiv mittels 3-D-Druckern zu fertigen [10]. Dabei können indirekte und direkte Methoden unterschieden werden. Beim indirekten Verfahren werden die Gerüste in Wachs oder Kunststoff gedruckt und anschließend in Lost-wax-Technik mittels Gusstechnik hergestellt. Beim direkten Verfahrens wird der CAD-Datensatz der Konstruktion mittels Lasersinter-Verfahren unmittelbar in die Co-Cr-Legierung umgesetzt [11,12,13]. Das letztgenannte Verfahren ist derzeit noch im

Prototypenstadium. Aktuelle Publikationen sehen in der digitalen Fertigung mittels Lasersinter-Verfahrens Vorteile in der Standardisierung, der verringerten Produktionszeit und dem einfachen Transfer von digitalen Daten. Die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens wird derzeit allerdings noch kritisch beurteilt [11,14]. Um eine endgültige Empfehlung dieser Fertigungsweise auszusprechen, sind verschiedene wissenschaftliche Studien notwendig. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die Verankerungselemente (Klammern) gelegt, da diese aufgrund ihrer Halte- und Stützfunktion hohen mechanischen Belastungen ausgesetzt sind.

In einer In-vitro-Untersuchung wurde an der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der LMU München die „mechanische Qualität gegossener versus lasergesinterter Klammern für Modellgussprothesen“ untersucht (Abb. 5 bis 11). Die Ergebnisse dieser Studie sind sehr vielversprechend und zeigen das große mechanische Potenzial von lasergesinterten Klammern. Folgende Kernaussagen können auf der Basis dieser Studie getroffen werden [15]:

1. Die notwendigen initialen Klammerabzugswerte konnten sowohl von den gegossenen als auch von den lasergesinterten Klammern erreicht werden. Nach künstlicher Alterung zeigte sich bei den lasergesinterten Klammern keine Abnahme der Retentionskraft (Abb. 12).
2. Die Fehlstellen waren bei den lasergesinterten Klammern insgesamt

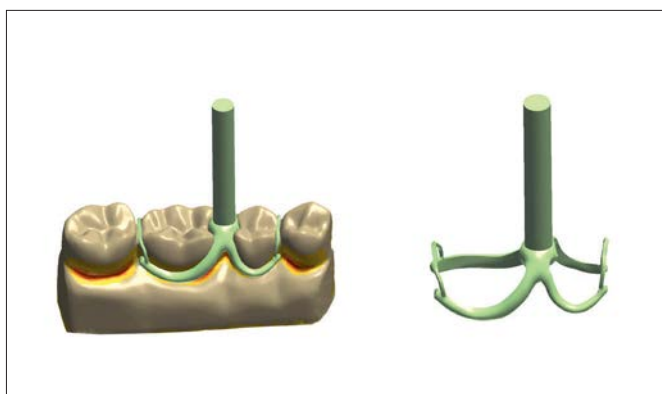


Abb. 5: Fertige CAD-Konstruktion der Bonwill-Klammer



Abb. 6: 3-D-gedruckte Klammern aus rückstandslos verbrennbarem Kunststoff für die Lost-wax-Technik

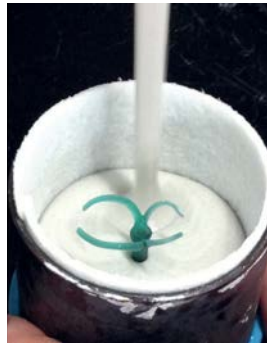


Abb. 7 und 8: Einbetten und Gießen der 3-D-gedruckten Klammern

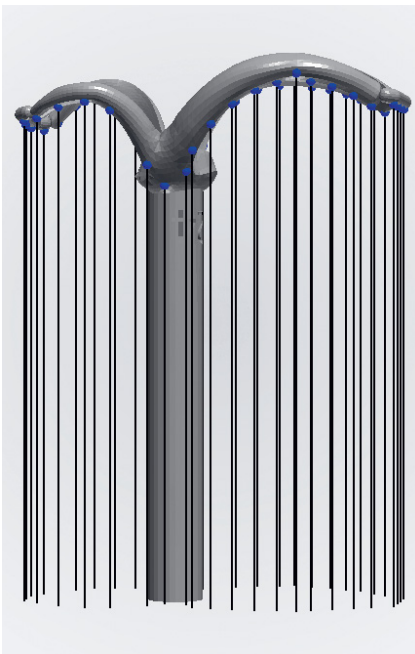


Abb. 9: Generierung der Stützstrukturen für die additive Fertigung mittels Direct metal laser sintering (= DMLS)



Abb. 10: Bauplattform nach dem additiven Bauprozess der Klammern



Abb. 11: Abzugsmodelle mit 16 lasergesinter-ten Klammern

kleiner und homogener verteilt als bei den gegossenen Klammern (Abb. 13).
 3. Im Langzeitverhalten zeigten lasergesinter- te Klammern deutliche Vorteile gegenüber den gegossenen Klammern und somit eine mehr als doppelt so hohe Überlebenswahrscheinlichkeit. Ein Grund dafür könnte in der besseren Gefügequalität der lasergesinter-ten Klammern liegen (Abb. 14).

Digitale Presstechnologie

Einen neuen Ansatz im Bereich der Presskeramik bietet die Firma Dekema (Freilasing, D) mit dem innovativen trix-System. Dabei werden die Vorteile der digitalen Konstruktion mit der sehr hohen Effizienz

der Presskeramik-Technologie kombiniert. Das System bildet den kompletten Press-Workflow digital ab, vom Aufwachsen bis zum Pressen. Am Beispiel einer Patientenarbeit werden die Arbeitsschritte nachfolgend erklärt.

Einscannen und CAD-Konstruktion

Die digitale Erfassung der Mundsituation kann entweder direkt mittels Intraoral-scanners oder indirekt über das Einscannen eines Meistermodells nach analoger Abformung erfolgen (Abb. 15 und 16). Die digitale Presstechnologie ist für beide Erfassungsmethoden geeignet. Die digitale Konstruktion der Teilkronen erfolgt hocheffizient in der CAD-Software (Abb. 17).

Automatisches Erstellen der Presskanäle und der Platzhalter für bis zu drei Pressstempel

Nach Auswahl der zu pressenden Objekte aus dem jeweiligen CAD-System konstruiert trix CAD automatisch das komplette Wax-up inklusive der Platzhalter für bis zu drei, auch verschiedenfarbige, Presspellets in einem Vorgang zu verpressen (Abb. 18 bis 20). trix CAM berechnet das Schichtmuster und schickt es an den Dekema trix print 3-D-Drucker.

3-D-Druck mit dem Dekema trix print

Die „gesliceten“ Schichtdaten werden aus druckbarem Burnout-Material (trix Cast) auf die Grundplatte des trixpress-Muffel-systems gedruckt. (Abb. 21 und 22).

Einbetten und Pressen

Anschließend an den 3-D-Druckprozess erfolgen das Reinigen und Härten der Bauteile sowie das Einbetten in die trixpress-Muffel (Abb. 23 und 24). Nach dem Aufheizen im Vorwärmofen und dem rückstandsfreien Ausbrennen wird die Presskeramik in die Muffel eingesetzt und üblicherweise mit den trixpress-Stempeln verpresst (Abb. 25). Das projektspezifische Pressprogramm wurde dafür bereits vom trix Cam zum Austromat 654 gestreamt. Alternativ können die Daten auch per USB-Stick übertragen werden.

Ausarbeiten und Glasieren

Nach dem Pressvorgang werden die Teilkronen mit den bekannten Schritten finalisiert. Es gibt dabei keinerlei Unterschied zu den Verfahrensschritten des analogen Workflows. Wird im komplett

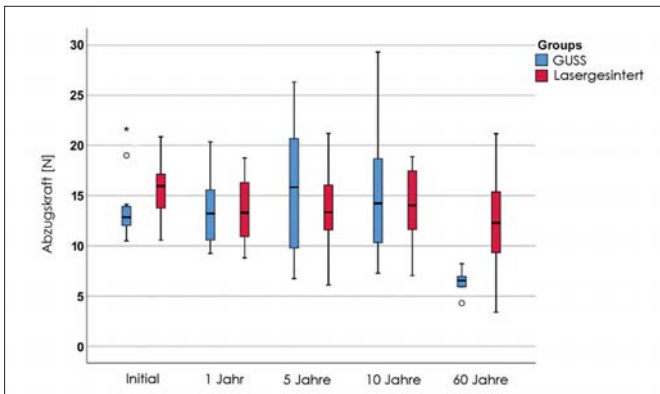


Abb. 12: Werte der Retentionskräfte der gegossenen und lasergerüsterten Klammern initial und über die Zeit

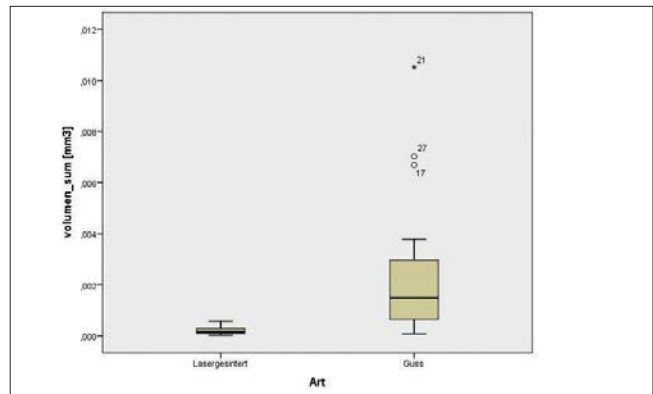


Abb. 13: Vergleich des gesamten Lunkervolumens/Klammer von lasergerüsterten Klammern und Gussklammern

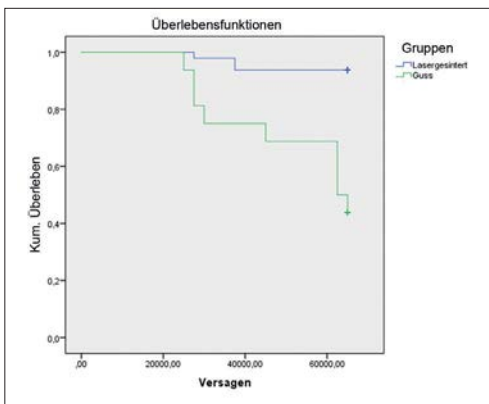


Abb. 14: Überlebenszeitanalyse mittels Kaplan Meier-Kurve über einen Zeitraum von 60 Jahren

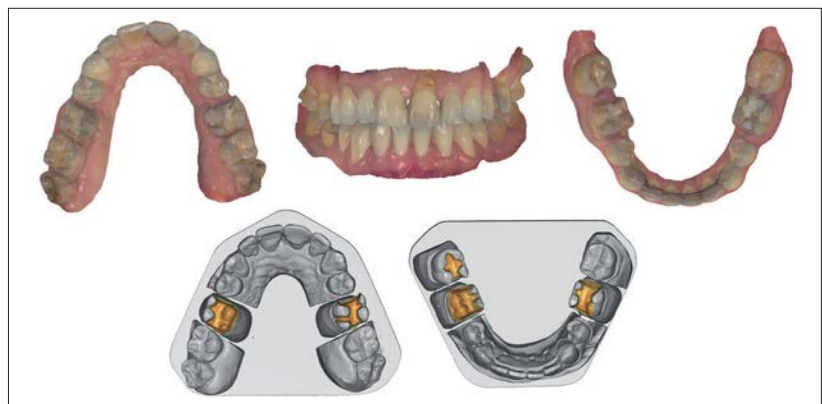


Abb. 15 und 16: Bei der digitalen Presstechnologie kann die Abformung der Kiefer sowohl digital als auch analog durch Einscannen der Meistermodelle erfolgen.

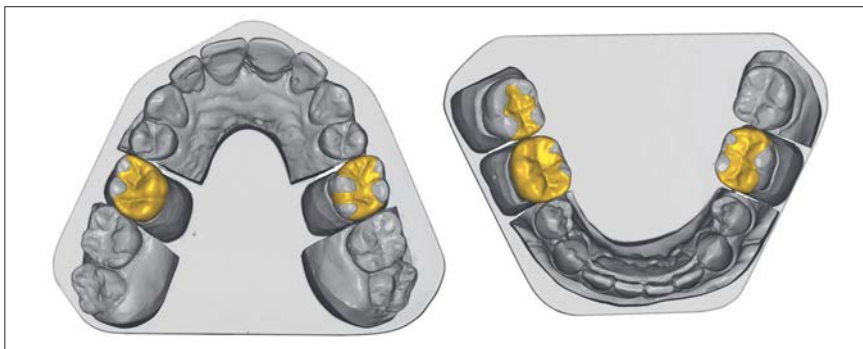


Abb. 17: Die digitale Konstruktion der Teilkronen erfolgt hocheffizient mit den üblichen CAD-Software-Tools.

digitalen Workflow gearbeitet, so ist es empfehlenswert, die Scandaten der Kiefer mittels eines 3-D-gedruckten Modells abzubilden, sodass man damit sowohl die Passung als auch die approximale und okklusale Kontaktsituation überprüfen kann. Mittels Malfarben- und Glasurmassebrands wird die Herstellung der Teilkronen abgeschlossen (Abb. 26 und 27).

Grafische 3-D-Modelle (3Dmedical print KG, Lenzing, A)

Die meisten intraoralen 3-D-Scanner bieten mittlerweile die Möglichkeit, neben den Oberflächendaten auch Farbinformationen digital zu erfassen. Dateiformate sind beispielsweise PLY-, OBJ- oder VRML-Dateien. Mittels Polyjet-Technologie ist es möglich, diese Daten in physische Modelle umzusetzen. Die

Farbinformation ist dabei geometriebezogen, das heißt, die zweidimensionale Farbinformation ist der 3-D-Oberfläche eindeutig zugeordnet (Abb. 28 und 29). Mittels Modelbuilder-Software wird ein virtuelles Farbmodell generiert, das anschließend mittels Multimaterial-3-D-Drucks (Polyjet-Technologie, Stratasys, Rheinmünster) in ein physisches Farbmodell umgesetzt wird (Abb. 30). Da die Übertragung von Farbinformationen mittels analoger Abformung nicht möglich ist, bilden grafische 3-D-Modelle eine wirkliche „Killer-Applikation“. Datengenerierung und Herstellung der Modelle sind nur im digitalen Workflow möglich. Es werden hier zukünftig völlig neue Möglichkeiten entstehen, die insbesondere bei der Herstellung von hochästhetischem Zahnersatz auf verfärbten Zahnstümpfen wie auch bei der exakten Farbcharakterisierung der Restaurationen enorme Verbesserungen und Erleichterungen bringen können.

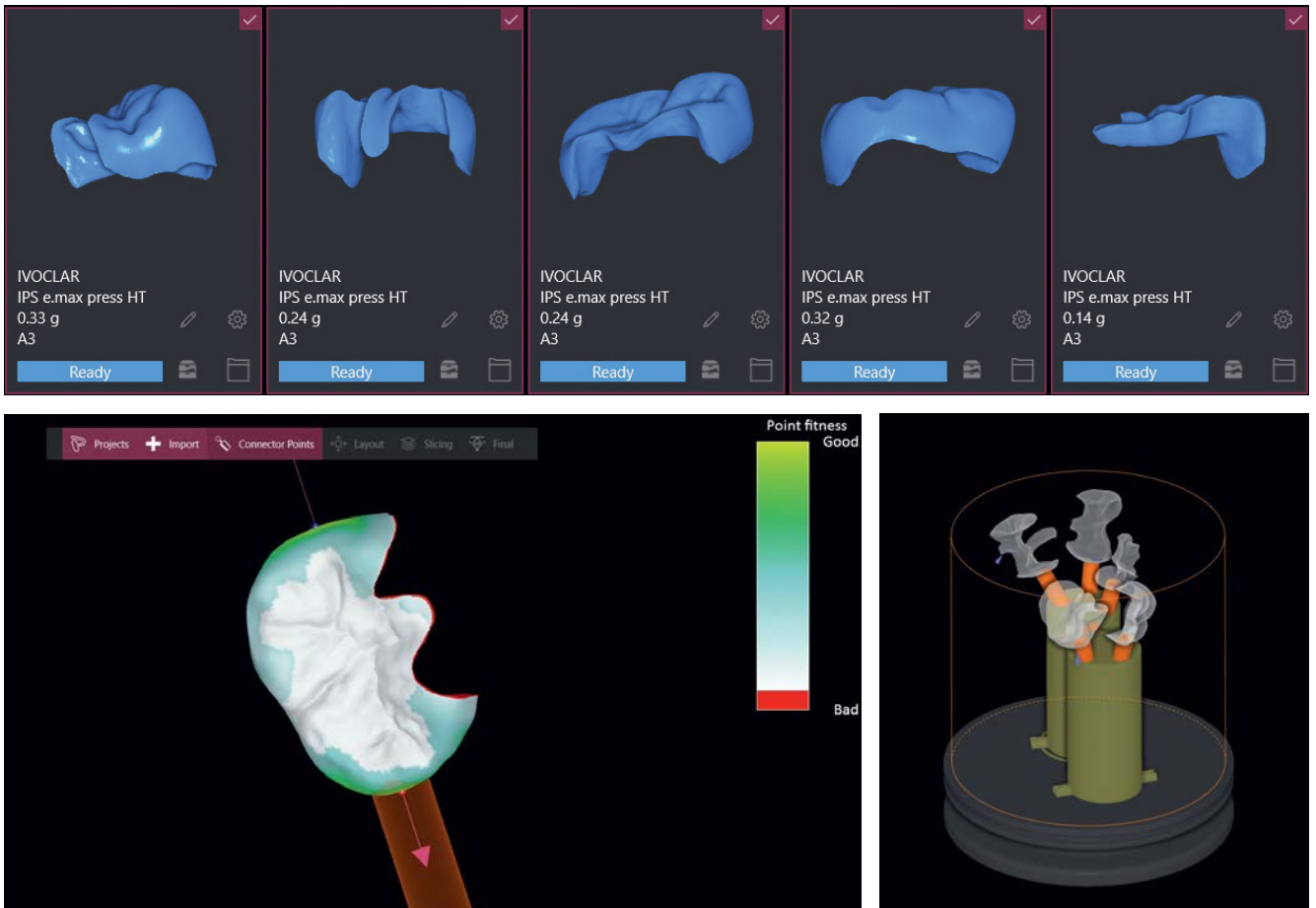


Abb. 18 bis 20: Nach Auswahl der zu pressenden Objekte konstruiert trixCAD automatisch das komplette Wax-up inklusive der Platzhalter für bis zu drei Stempel.



Abb. 21 und 22: 3-D-Druck der Teilkronen mit dem Dekema trixprint 3-D-Drucker

Aktuelle Materialentwicklungen für den digitalen dentaltechnologischen Einsatz

Neueste Zirkonoxidentwicklungen für monolithische vollanatomische Restaurationen

Unter der Vielzahl von vollkeramischen Gerüstmaterialien zeigt Zirkonoxid aufgrund seiner Transformationsverstärkung im Vergleich zu allen anderen vollkeramischen Materialien die besten mechanischen Eigenschaften [16,17,18,19]. Al-

lerdings wurden auch für vollkeramische Restaurationen auf der Basis von Zirkonoxidgerüsten klinische Rückschläge verzeichnet. An erster Stelle sind hier Abplatzungen der Verblendkeramik, das sogenannte „Chipping“, zu nennen. Wäh-

rend Frakturen der Zirkonoxidgerüste nur sehr selten verzeichnet wurden, waren Abplatzungen im Bereich der Verblendungen ein sehr häufig berichtetes Schadensereignis [20,21].

Ein möglicher Ansatz zur Vermeidung der Chipping-Problematik ist die Herstellung von vollanatomischen monolithischen Zirkonoxidkronen und -brücken ohne Verblendschicht (**Abb. 31**). Der wesentliche klinische Vorteil von monolithischen Zirkonoxidrestorationen liegt in den signifikant reduzierten Materialstärken im Vergleich zu verblendeten Versorgung oder anderen monolithischen Keramiken, beispielsweise Silikatkeramiken [22,23]. Durch die Anwendung der CAD/CAM-Technologie lässt sich mittels subtraktiver Verfahren Zirkonoxid im vorgesinterten Zustand (= „Weißling“, d.h., der organische Binder ist bereits ausgebrannt) sehr effizient und kostengünstig verarbeiten. Besonders im Vergleich zu manuell verblendeten Kronen- und Brückenversorgungen aus Zirkonoxid sind monolithische Versorgungen wesentlich preisgünstiger herzustellen und erlauben eine geringere Präparationstiefe. Das klassische Zirkonoxid mit einem Anteil von 3 Mol%-Yttriumoxid (3Y-TZP = yttriumoxide-stabilized-tetragonal-zirconia-polycrystal) ist bei Raumtemperatur in der tetragonalen Phase stabilisiert. Dies ermöglicht die sogenannte Umwandlungsverstärkung, die bei hoher mechanischer Belastung eintritt und eine Umwandlung von der tetragonalen in die monokline Phase bewirkt. Durch die dabei verursachte Volumenzunahme von circa vier Prozent werden entstehende Rissflanken quasi zusammengedrückt. Durch diese Besonderheit erhält 3Y-TZP sehr interessante mechanische Eigenschaften, die diese Oxidkeramik besonders geeignet für den dentalen Einsatz machen. Allerdings ist 3Y-TZP sehr opak, sodass ein Einsatz für monolithische Versorgungen mit großen ästhetischen Einbußen verbunden ist. Um den erhöhten Anforderungen an die Transluzenz Rechnung zu tragen, haben die meisten dentalen Zirkonoxid-Hersteller verschiedene Ansätze gefunden. Einerseits lässt sich die Lichttransmission dadurch steigern, dass

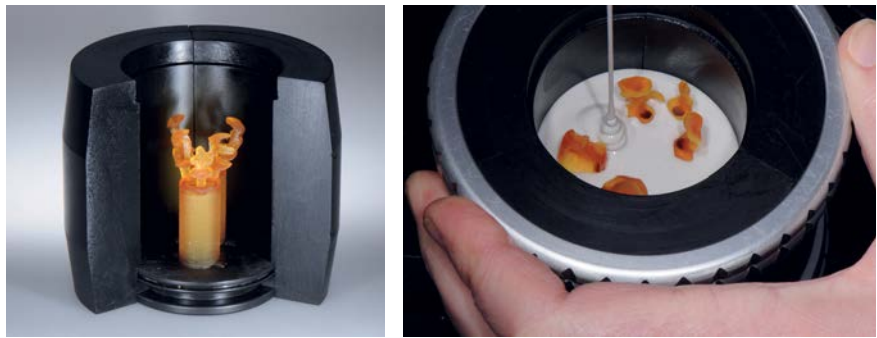


Abb. 23 und 24: Nach dem 3-D-Druckprozess erfolgen das Reinigen und Härten der Bauteile sowie das Einbetten in die trixpress-Muffel.



Abb. 25: Gegenüberstellung der 3-D-gedruckten und der gepressten Teilkronen



Abb. 26 und 27: Fertiggestellte Teilkronen nach dem Malfarben- und Glasurmassebrand

man entweder den Anteil von Aluminiumoxid reduziert oder aber den Anteil an Yttriumoxid erhöht. Beispiele dafür sind Zirkonoxide mit 4 beziehungsweise 5 Mol% Yttriumoxid-Anteil. Bei diesen sogenann-

ten kubischen Zirkonoxiden (z.B. 5Y-CZP) befinden sich mehr als 50 Prozent des Zirkonoxids in der kubischen Phase. Eine der aktuellsten Entwicklungen im Bereich der transluzenten Zirkonoxide ist kubisches



Abb. 28 und 29: Mittels 3-D-Intraoralscanners ist es möglich, neben der Oberflächengeometrie auch die geometriebezogene Farbinformation zu erfassen ...

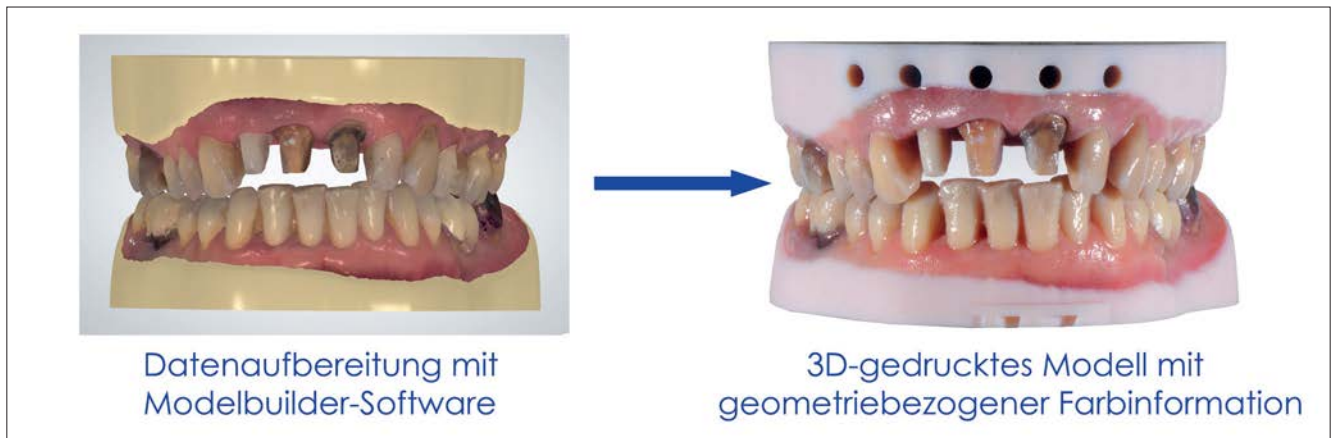


Abb. 30: ... und diese mittels Modelbuilder-Software und Multimaterial-3-D-Drucks in ein physisches Modell umzusetzen (3D medical Print KG, Lenzing, A).



Abb. 31: Ein möglicher Ansatz zur Vermeidung der Chipping-Problematik ist die Herstellung von vollanatomischen monolithischen Zirkonoxidkronen und -brücken ohne Verblendschicht.



Abb. 32: Vollanatomische monolithische Restaurationen (2. Quadrant) aus fluoreszierendem Zirkonoxid (3M Lava Esthetic) kommen dem tatsächlichen ästhetischen Erscheinungsbild natürlicher Zähne schon sehr nahe.

Zirkonoxid mit fluoreszierenden Eigenschaften bei gleichzeitigem Farbgradienten. Durch diese Kombination kommt man dem tatsächlichen ästhetischen Erscheinungsbild natürlicher Zähne schon

sehr nahe (**Abb. 32**), bei einem zudem sehr effizienten Workflow mit einfachen Verarbeitungsschritten und einer dementsprechend günstigen Kostenstruktur [24,25].

Eine andere Möglichkeit, eine hohe Festigkeit bei gleichzeitig optimaler Transluzenz zu erreichen, stellt die sogenannte Gradiententechnologie dar (**Abb. 33**). Dabei wird der basale Anteil des Roh-

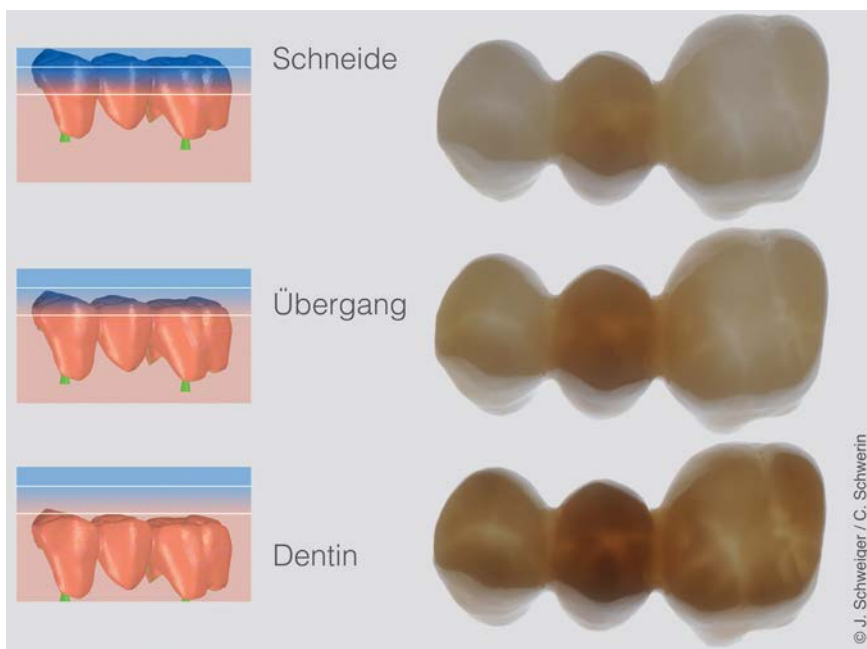


Abb. 33: Bei der sogenannten Gradiententechnologie wird der basale Anteil des Rohlings aus sehr festem Zirkonoxid aufgebaut (3Y-TZP oder 4Y-TZP), während der okklusale Bereich aus transluzentem 5Y-CZP besteht.

lings aus sehr festem Zirkonoxid aufgebaut (3Y-TZP oder 4Y-TZP), während der okklusale Bereich aus 5Y-CZP besteht. Bei der Konstruktion von Brückengerüsten ist diese Tatsache zu berücksichtigen, das heißt, die Konnektoren sollten eher im basalen Anteil des Rohlings liegen, da nur dann die hohe Festigkeit des Materials ausgeschöpft werden kann.

Charakteristisch für Gradiententechnologie sind:

- Hohe Transluzenz
- Im Inzisalbereich erhöhte kubische Phase >50 Mol%
- Im Basalbereich verminderte bis keine kubische Phase
- Gute mechanische Eigenschaften (Biegefestigkeit ca. 850 – 1200 MPa)
- Mäßiges bis geringes Risiko einer hydrothermalen Degradation
- Anwendung für monolithische, voll- oder teilverblendete Versorgungen

Beispiele sind IPS e.max ZirCAD MT Multi (4Y-TZP und 5Y-CZP) und IPS e.max ZirCAD Prime (3Y-TZP und 5Y-CZP). Durch seine hohe Stabilität deckt IPS e.max ZirCAD Prime gemäß den Herstellerangaben alle Indikationen ab – von der

Einzelzahnkrone bis zur 14-gliedrigen Brücke – und erlaubt reduzierte Materialschichtstärken für substanzschonende Präparationen. Das Material kann für alle Techniken eingesetzt werden:

- Maltechnik
- Cut-back-Technik
- Verblendtechnik

Ivotion – Neuartiger Rohling zur Herstellung von Totalprothesen

Die Versorgung des zahnlosen Patienten mittels Totalprothese ist nach wie vor ein wesentlicher Bestandteil der zahnärztlichen Prothetik. Moderne digitale Fertigungstechnologien bieten seit Kurzem die Möglichkeit, auch Totalprothesen digital herzustellen. Daraus ergibt sich eine Reihe von Vorteilen, insbesondere im Hinblick auf materialtechnische Eigenschaften des Zahnersatzes. Zusätzlich werden durch die Anwendung digitaler Techniken neue Behandlungskonzepte und Abläufe möglich, die eine Reduktion der Patientensitzungen in der Zahnarztpraxis ermöglichen. Seit einigen Jahren bieten daher verschiedene Hersteller die Möglichkeit, Totalprothesen digital herzustellen. Dabei unterscheiden sich die Herangehensweisen und die Um-



Abb. 34: Der neue Rohling „Ivotion“ (IvoclarVivadent, Schaan, FL) verbindet beide Prothesenanteile, also den Gingivabereich und den Bereich der Zähne, in einer Rohlingsgeometrie.

setzung erheblich. So ist eine Einteilung der Systeme nach der Art des Herstellungswegs ebenso möglich wie eine Einteilung nach der Art des Behandlungsablaufs.

Ein besonders interessanter Ansatz wurde dieses Jahr von Ivoclar Vivadent beim Chicago Midwinter Meeting vorgestellt – das Ivotion Denture System. Es handelt sich dabei um eine monolithische Ronde zur subtraktiven Bearbeitung mittels CAD/CAM-Technik. Das Besondere an diesem hochinnovativen Rohling besteht darin, dass er beide Prothesenanteile, also den Gingivabereich und den Bereich der Zähne, in einer Rohlingsgeometrie verbindet (Abb. 34). Der eigentliche Trick liegt darin, dass der Übergang zwischen den beiden Schichten die sogenannte „shell-geometry“ aufweist (Abb. 35). Diese ist wie die Außenfläche einer Muschel geformt und definiert den Übergang zwischen Zahn- und Prothesenbasismaterial. Damit ist es möglich, einen natürlichen Übergang zwischen den Zähnen und der Prothesenbasis im rein subtraktiven Verfahren herzustellen (Abb. 36).

Die Prothese wird nach der CAD-Konstruktion direkt aus dem Rohling herausgefräst, ohne dass zusätzliche Schritte,



Abb. 35: Der Übergang zwischen den beiden Schichten weist die sogenannte „shell-geometry“ auf (Bildquelle: IvoclarVivadent).

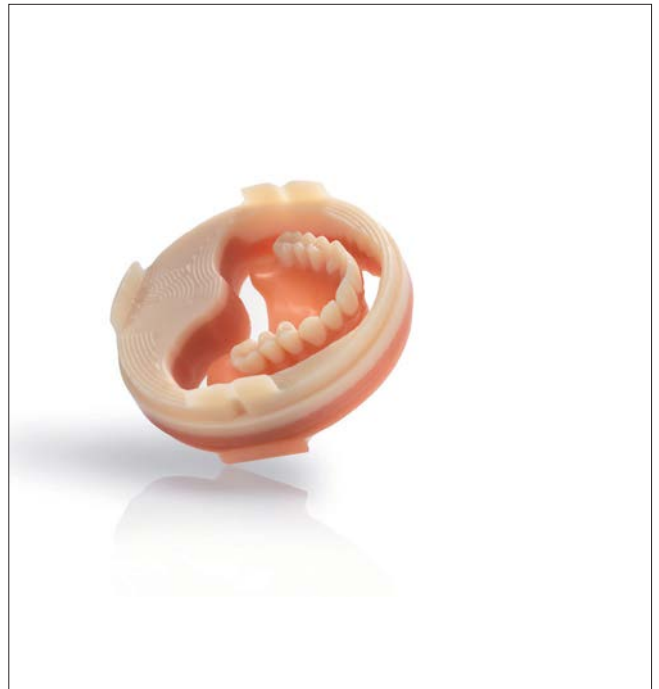


Abb. 36: Mit dem Ivotion-Rohling ist es möglich, in reiner subtraktiver Bearbeitung ohne zusätzliche Arbeitsschritte Totalprothesen herzustellen (Bildquelle: IvoclarVivadent).

wie beispielsweise ein Einkleben der Prothesenzähne, notwendig sind. Es ergibt sich dadurch eine Reihe von Vorteilen:

- Hohe Effizienz aufgrund des zweischichtigen Rohlings
- Hohe Materialgüte aufgrund der industriellen Rohlingherstellung
- Hohe Formvariabilität bei den Zahnformen

Der Rohling ist für folgende Indikationen geeignet:

- Einzel-Totalprothesen (Ober- oder Unterkiefer)
- Totalprothesen (Ober- und Unterkiefer)
- Duplikat-Totalprothesen
- Immediat-Totalprothesen
- Coverdenture auf zwei Attachments

Ivotion kombiniert bewährtes hochvernetztes PMMA-Zahnmaterial mit hochwertigem Prothesenbasismaterial. Der innovative Herstellungsprozess ermöglicht den direkten chemischen Verbund der beiden Materialien und führt so zu einer spannungsfreien monolithischen Scheibe mit einem homogenen Übergang. Das äußert sich in einer durchge-

hend hohen Festigkeit. Die Ronde wird mit einem Durchmesser von 98,5mm und einer Dicke von 38mm angeboten und ist in den Zahnfarben A1, A2 und A3 verfügbar. Ergänzt wird Ivotion durch die Zahnfleischfarben Preference und Pink-V.

Ausblick

Die Entwicklungsgeschwindigkeit im Bereich digitaler dentaler Technologien wird sich auch weiterhin auf einem sehr hohen Niveau bewegen. Dies betrifft sowohl die prothetisch-implantologische Planung als auch die zahnärztliche Behandlung und die Anfertigung des Zahnersatzes mithilfe digitaler Technologien. Additive und subtraktive Verfahren haben bereits einen festen Platz in der Zahntechnik. Der 3-D-Druck hat den wesentlichen Vorteil, dass die Eigenschaften der Bauteile während des Bauprozesses beeinflusst werden können. Dies betrifft sowohl die mechanischen als auch die ästhetischen Eigenschaften eines Bauteils. Bei subtraktiven Verfahren hingegen sind diese Charakteristika bereits mit der Herstellung des Fräsrohlings determiniert. Dieser Umstand erlaubt dem 3-D-Druck enorme

Freiheiten schon beim Designprozess. Andererseits sind die Präzision und die Effizienz der subtraktiven Bearbeitung extrem hoch, sodass die Kombination aus beiden Fertigungstechniken äußerst sinnvoll erscheint.

Dann gibt es die Bereiche, in denen die klassischen analogen Verfahren in ihrer Wirtschaftlichkeit unschlagbar sind, wie beispielsweise die Keramik-Press-Technologien. Auch hier ist die Verknüpfung mit digitalen Arbeitsschritten äußerst sinnvoll. Übertragen auf die additive Herstellung von keramischem Zahnersatz, werden zukünftig völlig neue Ansätze zur naturidentischen Herstellung von Zahnersatz und Ersatzzähnen möglich sein.

Korrespondenzadresse:
ZT Josef Schweiger, M.Sc.
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
Klinikum der Ludwig-Maximilians-Universität
München
Goethestr. 70, 80336 München
Josef.Schweiger@med.uni-muenchen.de

Literatur bei den Verfassern.