

Digital Dentistry

Neue Technologien und Verfahren in Praxis und Labor

Ein Beitrag von Prof. Dr. Daniel Edelhoff, Priv.-Doz. Dr. Jan-Frederik Güth und Josef Schweiger, München

Angesichts der ständigen Weiterentwicklungen im Bereich der digitalen dentalen Technologien ist es für den Zahnarzt nicht immer einfach, auf dem aktuellen Stand zu bleiben. Nachfolgend fassen die Autoren daher die neuesten Entwicklungen und Möglichkeiten zur digitalen Behandlung, Planung, Konstruktion und Fertigung zusammen.

Innovative Behandlungskonzepte unter Einsatz digitaler Technologien

Digitale Technologien eröffnen den Zugang zu industriell vorgefertigten Polymeren, deren Materialqualität solchen aus direkter Fertigung deutlich überlegen ist. Diese sogenannten CAD/CAM-Polymere verfügen aufgrund der optimalen Polymerisationsbedingungen und der hohen Homogenität über zahlreiche Vorteile. Dazu zählen eine höhere Langzeitstabilität, eine bessere Biokompatibilität und Passung, ein geringerer Verschleiß wie auch eine gegenüber keramischen Restaurationmaterialien günstigere CAD/CAM-Verarbeitbarkeit bei geringen Schichtstärken.

Komplexe Rehabilitationen stellen für das gesamte restaurative Team eine besondere Herausforderung dar. Dies gilt vor allem, wenn die Vertikaldimension der Okklusion (VDO) rekonstruiert oder neu definiert werden soll. Durch die Verfügbarkeit von CAD/CAM-Polymeren kann heute eine erhebliche Ausdehnung der Vorbehandlungsphase zur Erarbeitung funktioneller und ästhetischer Gesichtspunkte realisiert werden. Damit werden eine zeitlich aus-

gedehnte Überprüfung des Restaurationsentwurfs ermöglicht und eine hohe Vorhersagbarkeit für die definitive Rehabilitation geschaffen.

Herausnehmbare zahnfarbene Okklusionsschienen aus Polycarbonat stellen heute eine interessante Alternative zu herkömmlichen Vorbehandlungsmethoden dar. Sie zeigen aufgrund der CAD/CAM-Fertigung erheblich verbesserte Materialeigenschaften, die sich deutlich von herkömmlich gefertigten Schienen aus transparentem PMMA unterscheiden. Aufgrund ihrer extrem hohen Flexibilität können zahnfarbene Polycarbonatschienen ohne erhöhte Frakturgefahr auch in sehr geringen Schichtstärken von 0,3 mm hergestellt und eingesetzt werden (Abb. 1 und 2). Der verbesserte Tragekomfort kombiniert mit einer akzeptablen Ästhetik führt zu einer erheblich 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 komplett in die Okklusionsschienen übertragen und realitätsnah wie auch reversibel über einen längeren Zeitraum durch den Patienten erprobt werden (Abb. 3 und 4). Dieses „Zwei-Schienen-Konzept“ erleichtert zudem eine segmentale Umsetzung in die spätere definitive Restauration. Als besondere Vorteile lassen sich folgende sechs Punkte herausstellen: 1. Zeitnahe und reversible Umsetzung funktioneller, phonetischer und ästhetischer Veränderungen



Abb. 1 und 2: Nach einem Wax-up erstellte herausnehmbare zahnfarbene Schienen aus Polycarbonat (Temp Premium Flexible, Zirkozahn)



Abb. 3 und 4: Patientin mit Lippen-Kiefer-Gaumenspalte vor (l.) und nach der Eingliederung (r.) herausnehmbarer zahnfarbener Schienen aus Polycarbonat



Abb. 5: Nach erfolgreicher funktioneller Evaluierungsphase kann eine segmentale Überführung in definitive Restaurationen erfolgen. Dazu bietet sich eine segmentale Präparation unter wechselseitiger Übertragung der Kieferrelation mit geteilten Okklusionsschienen an.

2. Hohe Compliance des Patienten aufgrund eines restaurationsähnlichen Erscheinungsbilds
3. Erhebliche Vorteile sowohl für das restaurative Team als auch den Patienten durch die Möglichkeit, unter der jeweiligen Schiene konservierende, chirurgische, parodontologische wie auch restaurative Eingriffe vorzunehmen, ohne dass die ästhetische und funktionelle Situation beeinträchtigt wird
4. Vereinfachung komplexer Rehabilitationen durch eine segmentale Überführungsmöglichkeit in die definitiven Versorgung (Abb. 5)
5. Option einer abgestuften Exploration des Behandlungsziels durch individuelle Modifikationen des digitalen Datensatzes
6. Schnelle und einfache Reproduzierbarkeit auf der Basis der hinterlegten digitalen Daten nach Verlust oder Fraktur der Okklusionsschiene

Auf dem Midwinter Meeting 2016 in Chicago stellte Dentsply Sirona mit dem Cerec SpeedFire Sinterofen eine neue direkte und zeitsparende Chair-side-Fertigungsmöglichkeit von monolithischen Zirkonoxid-Restaurationen vor (Abb. 6 und 7). Aus



Abb. 6: Der neue Cerec SpeedFire Sinterofen (Dentsply Sirona) arbeitet mit Induktionstechnik und ist sowohl für den Sinter- als auch für den Glasurprozess einsetzbar.



Abb. 7: Trockenfräsen einer monolithischen Zirkonoxid-Molarenkrone aus dem vorgesinterten Zustand (Cerec Zirconia) in der inLab MC XL Fräs- und Schleifeinheit

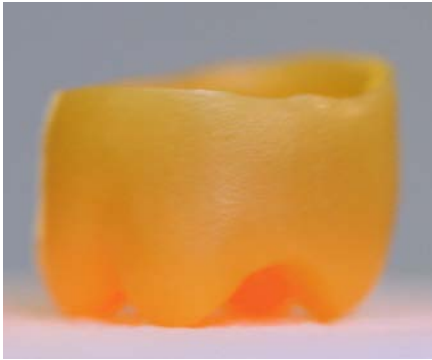


Abb. 8: Die Sinterzeit beläuft sich je nach Volumen für Einzelkronen aus Zirkonoxid nur auf etwa 10 bis 15 Minuten. Die Sinterschrumpfung beträgt circa 25 Prozent.



Abb. 9: Die ausgearbeitete monolithische Zirkonoxid-Krone kann mit einer Glasur versehen werden. Dazu wird die Kroneninnenfläche zunächst mit einer Brennpaste (SpeedPaste) gefüllt und die Krone auf einem Brennträger (Glaze Support) fixiert. Die Glasurmasse wird anschließend mithilfe einer Spraydose (SpeedGlaze) in einer möglichst gleichmäßigen Schicht aufgetragen.



Abb. 10: Der Glasurvorgang im SpeedFire Sinterofen benötigt nur wenige Minuten.

vollanatomischem Cerec Zirconia können damit Kronen und Brücken mit bis zu drei Einheiten und einer maximalen mesiodistalen Spanne von 30 mm für den Front- und Seitenzahnbereich direkt in der Praxis gefertigt werden. Hervorzuheben sind die extrem kurzen Sinterzeiten, die, abhängig vom jeweiligen Volumen, bei Einzelkronen circa 10 bis 15 und bei dreigliedrigen Brücken etwa 25 Minuten in Anspruch nehmen. Die Sinterschrumpfung beträgt circa 25 Prozent (Abb. 8).

Die Restaurationen können nach Ausarbeitung mit einer Glasur versehen werden. Dazu werden zunächst die Innenflächen der Restauration mit einer Brennpaste (SpeedPaste) gefüllt und diese auf einen Brennträger aufgesetzt (Glaze Support). Das orangefarbene Glasurspray (SpeedGlaze) wird anschließend gleichmäßig aus einer Distanz von rund 10 cm auf die Außenflächen der Restauration aufgetragen (Abb. 9). Der Glasurmassebrand nimmt nur wenige Minuten in Anspruch und wird ebenfalls im Speed-Fire Sinterofen durchgeführt (Abb. 10).

Planung und Therapie digital – Was geht?

Weiter stellt sich die Frage, welche Restaurationmaterialien sich für die langzeitstabile Versorgung abrasiv und erosiv veränderter Gebisse eignen. Hierbei steht die Abrasionsbeständigkeit der eingesetzten Materialien über eine längere klinische Funktionsphase im Mittelpunkt des Interesses und sollte vom Anwender bei der Materialauswahl beachtet werden. Vor diesem Hintergrund scheinen Keramiken unter klinischen Bedingungen heute noch die stabilere und abrasionsresistentere Alternative gegenüber Hochleistungspolymeren zu sein,

zumindest bei der Rekonstruktion einer abgesunkenen Vertikaldimension der Okklusion durch die Versorgung gesamter Kiefer. Gegenüber Schmelzantagonisten zeigen Hochleistungspolymere im Laborversuch allerdings vorteilhaftere Abrasionswerte als beispielsweise Lithium-Disilikat-Keramiken. Somit stellt das erweiterte Materialspektrum uns Zahnärzte und Zahntechniker wiederum vor neue Herausforderungen bei der Materialauswahl und wirft Fragen auf, die es zu beantworten gilt.

Ein sich stets weiterentwickelndes Feld mit laufend neuen Innovationen ist die digitale intraorale Erfassung. Aus wissenschaftlicher Sicht zeigen sich die Systeme mittlerweile auf Augenhöhe mit dem herkömmlichen Workflow, wenn sich die Erfassung auf einen Quadranten beschränkt. Bei Gesamtkieferabformungen trennt sich allerdings die Spreu vom Weizen und das gewählte System und die angewandte Scanstrategie haben durchaus Einfluss auf die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit des Scannergebnisses.

Ein weiterer Faktor ist die fortlaufende Verknüpfung immer weiter entwickelter digitaler Einzeltechnologien, wie beispielsweise digitaler und virtueller Artikulatoren, digitaler Axiografiegeräte, 3-D-Röntgendiagnostik und 3-D-Gesichtsscanner, zu funktionierenden digitalen Workflows (Abb. 11).

Bisher waren diese Technologien lediglich „Inselösungen“ und ein Datentransfer zwischen ihnen war nur vereinzelt möglich. Aktuell entstehen stetig neue Schnittstellen, die es erlauben, die vorliegenden digitalen Informationen miteinander zu verknüpfen. Dies bietet einen enormen Vorteil für die Diagnostik und Therapie. Allerdings sind die

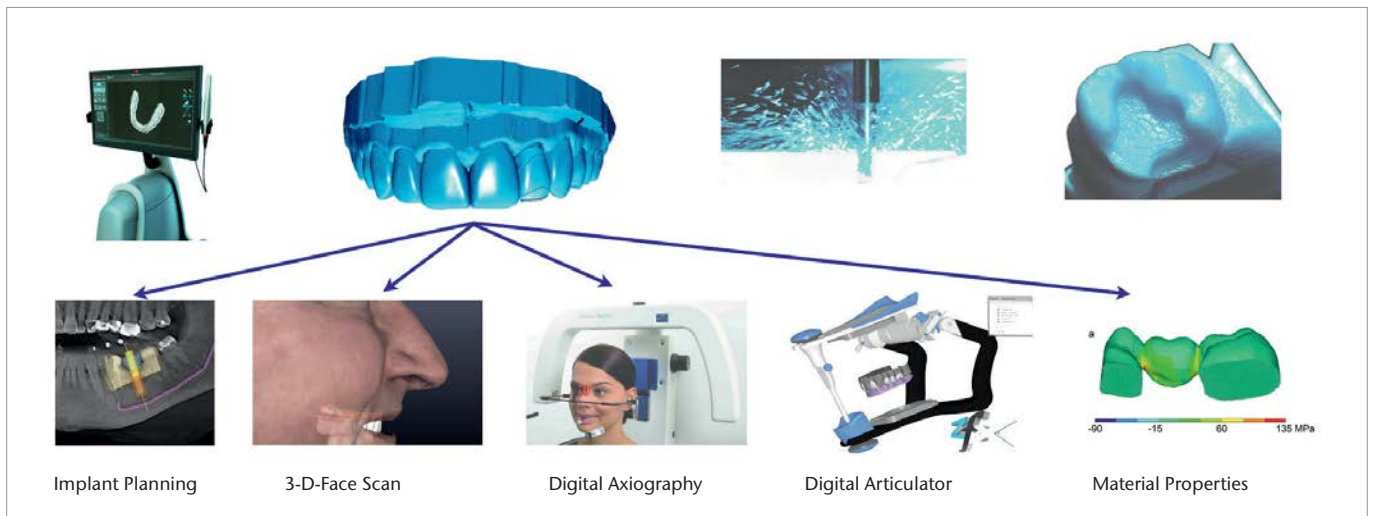


Abb. 11: Existierende Technologien im digitalen Workflow: Aktuell entstehen stetig neue digitale Schnittstellen, um die Einzeltechnologien gemeinsam in einem Workflow nutzen zu können.

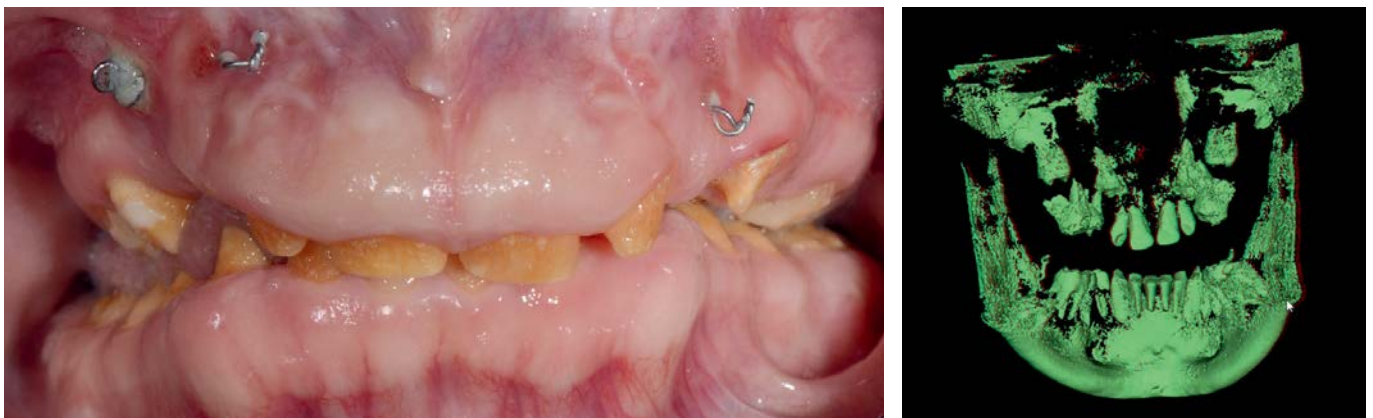


Abb. 12 und 13: Anhand der Dichteunterschiede humaner Gewebe lassen sich aus vorliegenden dreidimensionalen Radiologiedaten (DICOM) dreidimensionale Oberflächendaten im STL-Format erzeugen. Dies ermöglicht, wie hier dargestellt, eine virtuelle Freilegung der Zahnoberflächen.

gigantischen Vorteile, aber auch die Limitationen einzelner Workflows und „digitale Sackgassen“ nicht immer auf den ersten Blick zu erkennen. Ein Beispiel hierzu ist die Filterung von Oberflächendaten aus dreidimensionalen Volumendaten anhand der Dichteunterschiede der radiologisch erfassten Gewebe (Abb. 12 und 13). Die generierten STL-Daten können dann wiederum in die CAD-Software importiert werden.

Auch die digitale Planung implantologischer Versorgung auf Basis der Überlagerung von STL- und DICOM-Daten bietet enorme Vorteile – gleichzeitig müssen jedoch auch die Grenzen dieser Technologie aufgezeigt werden, um nicht über das therapeutische Ziel hinauszuschießen oder es gar zu verfehlen. Eine Grundvoraussetzung hierfür ist die exakte Datenüberlagerung von DICOM und Oberflächendaten im STL-Format (Abb. 14a bis 15). Erst die exakte Überlagerung und Ausrichtung der radio-

logischen Daten zu den Oberflächendaten der klinischen Situation ermöglichen die exakte Planung der Implantatposition (Abb. 16) und die entsprechende Anfertigung einer Chirurgeschablone.

Trotz der laufenden Weiterentwicklung bleibt auch das ausgeklügeltste digitale System nur ein Werkzeug zur Umsetzung unserer therapeutischen Ziele, das immer noch von uns als Behandler kontrolliert und evaluiert werden muss. So ersetzt auch die aktuelle Technik nicht unser Wissen und Können als Anwender.

Digitale Konstruktion und Fertigung – aktuelle Möglichkeiten und Limitationen

Laborseitig stehen aktuell zwei Bereiche im Fokus, die ein großes Entwicklungspotenzial aufweisen. Das sind zum einen die digitale Totalprothese und zum anderen der 3-D-Druck in der dentalen Anwendung.

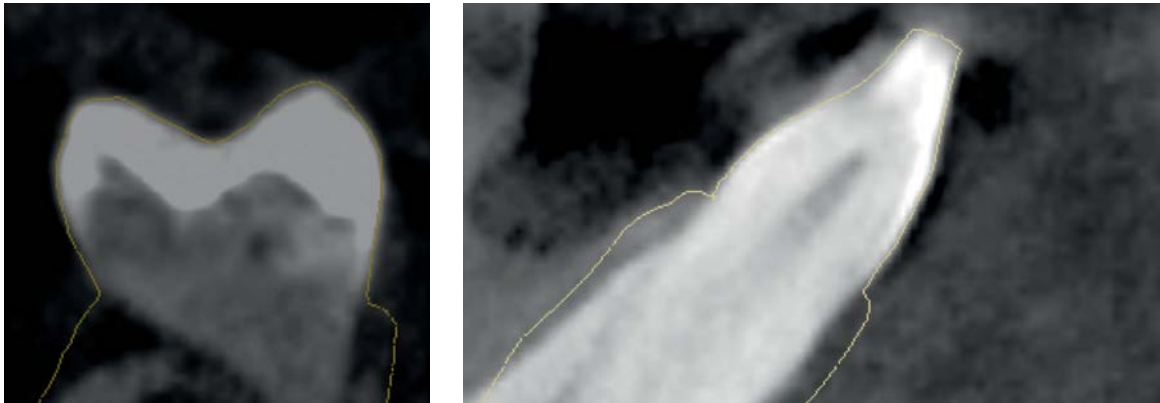


Abb. 14a und b: Darstellung der Überlagerung eines STL-Datensatzes mit einem DICOM-Datensatz im Schnittbild

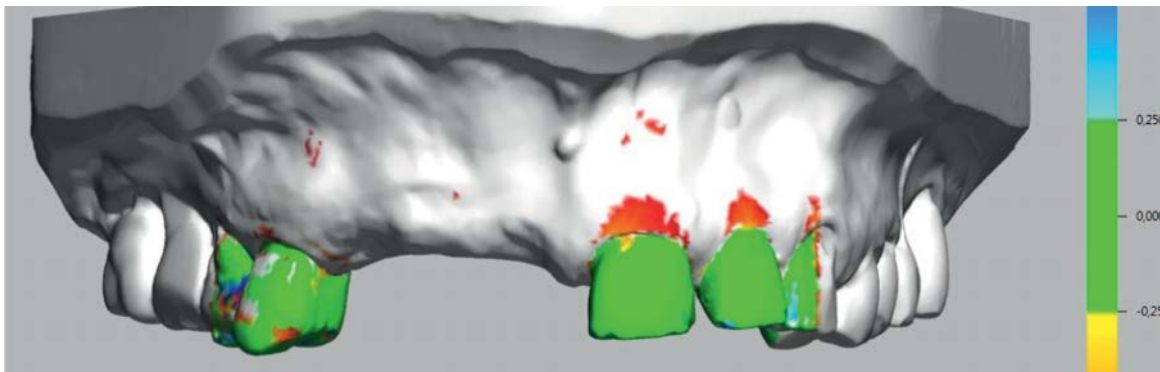


Abb. 15: Darstellung der Überlagerung eines STL-Datensatzes mit einem DICOM-Datensatz durch eine farbkodierte Oberfläche. Diese Darstellung erleichtert die Kontrolle der Ausrichtung durch den Anwender.

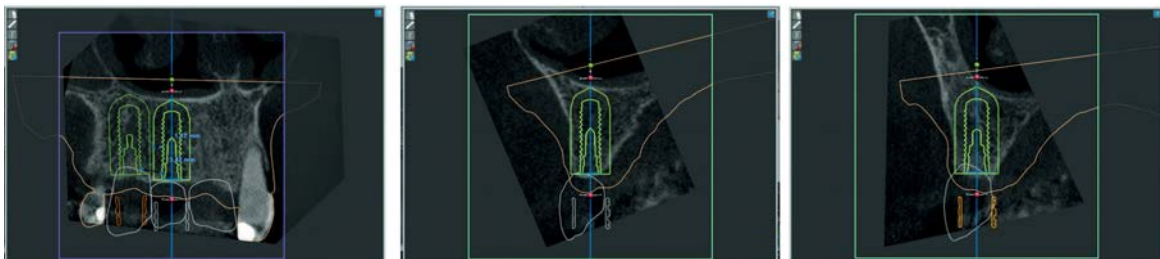


Abb. 16: 3-D-Planung der Implantatposition

Die „digitale Totalprothese“

Bereits vor zwei Jahren war auf der IDS in Köln die Anfertigung von Totalprothesen mittels digitaler Technologien ein Thema, welches von mehreren Herstellern vorgestellt wurde. Das Spektrum reichte dabei von der semidigitalen Fertigung, bei der die digitale Aufstellung mit einer analogen Fertigstellung kombiniert wird, bis hin zum volldigitalen Ansatz mit Fräsrohlingen, in welche die aufgestellten Konfektionszähne bereits integriert sind. Viel wichtiger als die technischen Details der Fertigung ist jedoch das komplette Behandlungskonzept, das hinter den einzelnen Systemen steht. Und spätestens hier wird klar, dass es derzeit wohl noch keine perfekte Lösung gibt.

Wird semidigital gearbeitet, kann zwar eine Wachs-einprobe durchgeführt werden, jedoch wird diese Option mit den Nachteilen der analogen Fertigung erkauft: Die dann nach wie vor bestehende Polymerisationsschrumpfung führt – im Vergleich zu einem volldigitalen Ansatz – zu einer geringeren Passgenauigkeit, einem höheren Restmonomergehalt und nicht zuletzt schlechteren mechanischen Eigenschaften. Arbeitet man dagegen gleich mit dem definitiven Prothesenrohling aus Hochleistungspolymer, so ist eine Einprobe nur mithilfe sogenannter „Try-in-Prothesen“ möglich, die zusätzliche Kosten verursachen und eine weitere Behandlungssitzung erfordern. Eine mögliche Lösung könnte hier die „virtuelle Wachs-einprobe“ sein, bei



Abb. 17 bis 20: Der Workflow der virtuellen Wachseinprobe am Beispiel einer Avadent-Totalprothese: Abformung und Registrierung (Abb. 17), CAD-Konstruktion (Abb. 18), virtuelle Wachseinprobe (Abb. 19) und CNC-gefertigte Totalprothesen (Abb. 20)

der mithilfe eines Gesichtsscans die CAD-Konstruktion der Prothese im Patientengesicht analysiert werden kann, ohne dass für den Patienten eine zusätzliche Behandlungssitzung erforderlich wird (Abb. 17 bis 20).

Der 3-D-Druck in der dentalen Anwendung – Wo stehen wir heute?

Im allgemeinen Sprachgebrauch findet man in jüngster Zeit den Begriff „3-D-Druck“ als Oberbegriff für alle additiven Verfahren, wobei die Bezeichnung insbesondere für die mittlerweile auch im Privatbereich verfügbaren Extrusionsverfahren verwendet wird (Abb. 21 bis 28). Bei exakter Betrachtung des Begriffs „3-D-Druck“ fällt auf, dass diese Bezeichnung tatsächlich nur einen kleinen Teil der additiven Verfahren (= Generative Verfahren = Rapid Prototyping = RP-Verfahren) abdeckt. Eine eindeutige Klassifizierung lässt sich nach der VDI-Richtlinie 3404 beziehungsweise der ISO/DIS 17296 machen. Dabei lassen sich die additiven Verfahren in zwei Gruppen unterteilen:

Binderverfahren

Bei den Binderverfahren wird zunächst eine komplette Schicht eines Materials (flüssig, pulvrig, fest)

ausgelegt und entsprechend den Konturen des Objekts in geeigneter Weise verfestigt. Zu diesen Verfahren zählen beispielsweise:

- Stereolithografie (SLA)
- Maskenbelichtungsverfahren (= Digital Light Processing = DLP)
- Selektives Lasersintern (SLM, DMLS)
- Indirekter 3-D-Druck (Pulverbettendrucker)
- LOM-Verfahren (Laminated Object Manufacturing)

Abscheidungsverfahren

Bei den Abscheidungsverfahren wird über eine Düse oder einen Druckkopf Material kontinuierlich oder tropfenförmig abgegeben und als Punkt- oder Linienmuster Schicht für Schicht abgelegt. Zu diesen Prozessen gehören beispielsweise:

- FDM-Verfahren (Fused Deposition Modeling)
- Direkter 3-D-Druck (3DP)
- 3-D-Extrusion von Pasten
- Polyjet-Verfahren, bei dem Fotopolymere tropfenförmig über einen Druckkopf abgesetzt werden

Nicht jedes dieser Verfahren ist jedoch für eine dentale Anwendung geeignet.

Neueste Entwicklungen können verschiedene Materialien mit unterschiedlichen mechanischen und

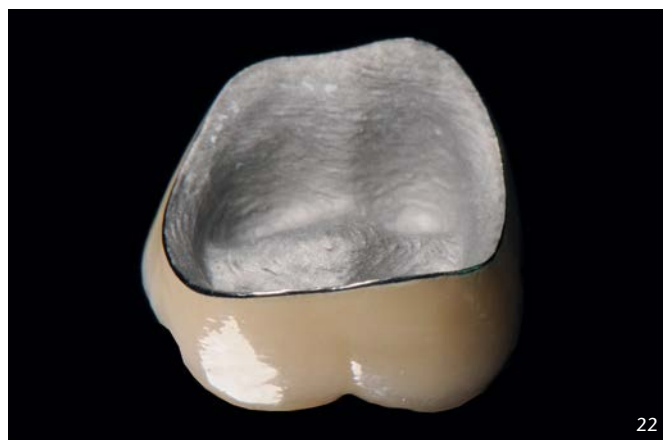


Abb. 21 bis 24: Das Lasersintern wird im Dentalbereich seit mehr als einem Jahrzehnt erfolgreich eingesetzt.

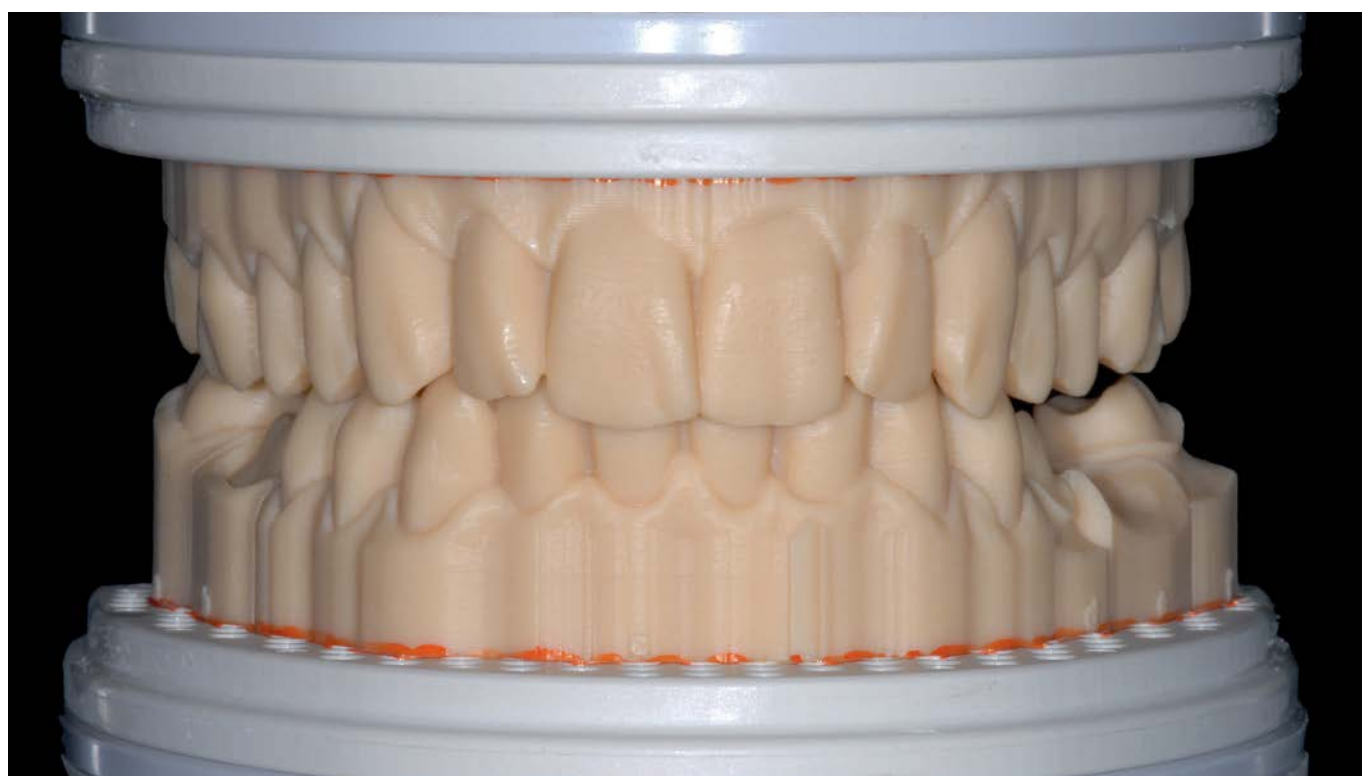


Abb. 25: Die additive Herstellung von Modellen auf der Basis von intraoral erfassten Daten ist eine Möglichkeit für die Anwendung des dentalen 3-D-Drucks.



Abb. 26 und 27: Additiv gefertigte Bohrschablonen für die navigierte Implantatinsertion

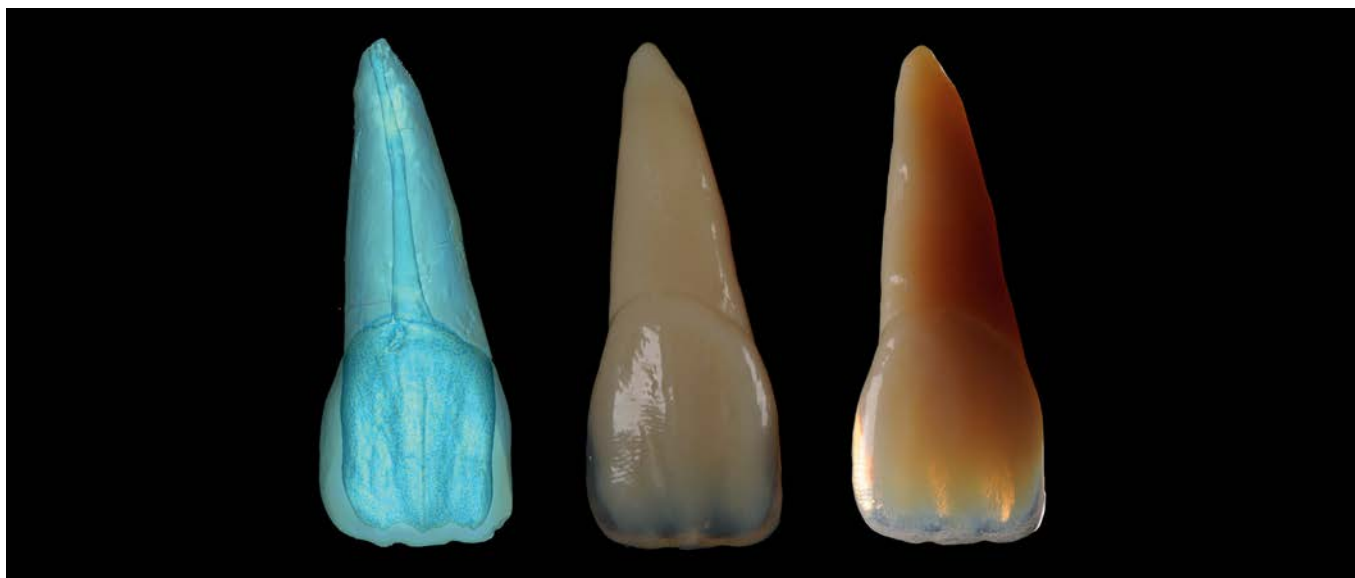


Abb. 28: Auf der Basis einer Zahnstrukturdatenbank und mittels Multimaterial-3-D-Druck gefertigter Zahn

optischen Eigenschaften gleichzeitig innerhalb eines Bauzyklus auftragen. Dieses Verfahren wird als „Multimaterial-3-D-Druck“ (3D-MMP) bezeichnet. 3D-MMP macht Prozesse, die bisher mehrere Fertigungsschritte benötigten, in einem Arbeitsgang möglich. Mehrere Hersteller von additiven Fertigungssystemen bieten diese Technologie mittlerweile an. Dabei werden FDM-Verfahren sowie direkte und indirekte 3-D-Drucker (Pulverbett-drucker) eingesetzt.

Am MIT (Massachusetts Institute of Technology) in Boston/USA wurde jüngst eine Entwicklung vorgestellt, die als „4-D-Druck“ bezeichnet wird. Tatsächlich wird dabei zu den drei Dimensionen des Raums die vierte Dimension „Zeit“ hinzugefügt. Das Ergebnis sind erstaunliche Möglichkeiten, die zukünftig auch den Medizinbereich erheblich beeinflussen könnten.

Ausblick

Bei aller Begeisterung für die digitalen Technologien und deren Möglichkeiten dürfen wir nicht vergessen, diese als Werkzeuge zu verstehen, die uns bei der Entwicklung und Umsetzung vorteilhafter innovativer, vorhersagbarer und minimal-invasiver Behandlungskonzepte unterstützen. Der Mensch hinter der Maschine wie auch der Patient stehen immer noch im Mittelpunkt des Geschehens – denn der einzugliedernde Zahnersatz ist „analog“.

Korrespondenzadresse:
Prof. Dr. Daniel Edelhoff
Poliklinik für zahnärztliche Prothetik
Ludwig-Maximilians-Universität München
Goethestraße 70, 80336 München
daniel.edelhoff@med.uni-muenchen.de