

Die nachstehende Betrachtung und der darauf folgende Beitrag verbindet mehr als dass beides Fachtexte sind. Sie haben zum einen jeweils ein sehr materialtechnisches Teilgebiet der Zahnmedizin zum Inhalt. Diese Facette der zahnärztlichen Tätigkeit ist eine sehr reizvolle, denn man kann darin seine persönliche fachliche Herausforderung sehen und auch darin aufgehen. Zum anderen fokussieren die Betrachtung und der Fachbeitrag darauf, welchen Stellen- und Erwartungswert hochtechnisierte Prozesse im Behandlungskonzept haben sollten.

Der Mensch mit kaufunktionellen Problemen steht im Mittelpunkt, nicht das Problem am Menschen

Der Einladung für ein Statement zum Thema Implantologie(markt) für die ZWP *Zahnarzt Wirtschaft Praxis* bin ich sehr gerne gefolgt, umso mehr, weil ich als langjähriger Praktiker die Implantologie seit 1988 selbst als das bereichernde Teilgebiet der zahnärztlichen Prothetik begleiten durfte.

In den wilden 1960er-Jahren – mit Beatles und 68er-Revolutzern – nahmen Pioniere der Implantologie, wie Per-Ingvar Branemark in Schweden oder zum Beispiel Ernst-Helmut Pruin in Deutschland, ihren Anfang. Der Orthopäde Brane-mark setzte 1965 sein erstes Titan-implantat, welches der Patient nach vierzigjähriger Tragezeit mit ins Grab nahm. Gleichzeitig prägte Branemark 1966 den Begriff der „Osseointegration“. Und in Deutschland gab es 1968 die Nadelstraßen von Pruin oder subperiostale Gerüstimplantate.

Hans L. Grafelmann hat zu dieser Zeit begonnen, erste Implantate zu entwickeln und zu setzen. Von universitärer Seite wurden diese Anfänge beargwöhnt und als Rotlichtmilieu der Zahnmedizin bezeichnet.

Das ist reichlich 50 Jahre, ein halbes Jahrhundert her.

Neben den wissenschaftlichen Vorsprüngen nahm eine gegenseitige Partnerschaft zwischen Pionieren der Implantologie und Industrie Fahrt auf. Es folgten deutsche Hochschulen und erste Implantatkongresse in den 1970er-Jahren. In den 1980er-Jahren kam mit der „wissenschaftlichen Anerkennung“ der Implantologie 1983 die deutsche universitäre Partnerschaft dazu. Man

wollte den Zug nicht verpassen. Auch in Leipzig haben Wolfram Knöfler und Hans-Ludwig Graf Blattimplantate selbst „gebastelt“, inseriert und schon 1985 das Prinzip der „Anodischen Oxidation unter Funkenentladung“ als eine doch bedeutende Oberfläche für Implantate entwickelt.

Im Juni 1990 stand für mich fest, dass die implantologische Therapie Teil meiner freiberuflichen Zukunft wird. Dabei ist bzw. bleibt sie ein wichtiger, aber dennoch bescheidener Teil der gesamten modernen Zahnmedizin. Von damals bis heute ist vergleichsweise viel passiert und auch viel publiziert worden. Aber haben zum Beispiel die chirurgischen Orthopäden in den letzten 25 Jahren für Osteosyntheseschrauben einen ähnlich aufgeblähten Forschungszirkus über Geometrie und Oberflächen (geätzt, gestrahlt, beschichtet, bioaktiv ...) betrieben, wie in der zahnärztlichen Implantologie? Nein! Daher stellt sich die Frage: Warum dann in der Implantologie?

In einer Marktwirtschaft müssen Unternehmen Rendite erzielen. Ich möchte nicht falsch verstanden werden, das ist grundsätzlich in Ordnung. Nur sollte dies in der Medizin so nicht im Vordergrund stehen. Denn ich behandle noch immer Menschen, mit beispielsweise kaufunktionellen Problemen, und nicht Probleme mit Menschen daran.

Und das sollte auch so bleiben. Dies wird logischerweise mit einer absatzorientierten Industrie und drittmittelabhängigen Hochschulen immer schwieriger. Jahr für Jahr wird immer schneller eine neue oder neu gemacht wiederbelebte

„Sau“ durchs junge und dynamische Implantologendorf getrieben – natürlich mit Studien belegt und nachweislich noch nie dagewesenen, einmaligen Verbesserungen für die moderne, zunehmend digitale zahnärztliche Praxis. Doch wie sieht es dabei mit der medizinischen Notwendigkeit für unsere Patienten aus?

Mein Fazit: Es wird, so glaube ich, in naher Zukunft nichts sensationell Neues auf dem Gebiet der zahnärztlichen Implantologie geben. Das Implantat ist eine Schraube aus Titan (für die Bedürftigen auch gern aus Keramik), hat eine beschichtete oder zumindest raue Oberfläche, eine konische oder Stoßverbindung zum Abutment und einen Aufbau (Krone) aus Keramik, zum Beispiel mit einer Titanbasis. Die digitale Technik ist natürlich in aller Munde – getrieben von Zahntechnikern und der Industrie. Mitunter scheint es aber, dass Umsätze offenbar wichtiger sind als der reale Nutzen für unsere Patienten. Und wenn einstmals alle Algorithmen der DNS des Homo sapiens entschlüsselt sind (auf dem Weg zum „ewigen Leben“?), brauchen wir die Implantate vielleicht gar nicht mehr. Vorerst aber gilt: Implantate sind und bleiben ein sehr, sehr guter, mit Erfahrung, Können und etwas Demut inserierter Ersatz mit, unter Umständen, erstaunlicher „Nutzungsdauer“!

Dr. Thomas Barth, Leipzig

Wir danken der ZWP für die freundliche Nachdruckgenehmigung.



3-D-Druck in der Zahnheilkunde Zwischen Hype und Produktivitätssteigerung

Die additive Fertigung – speziell der 3-D-Druck – erfährt aktuell ein großes Interesse in der Zahnheilkunde. Noch ist allerdings für viele Indikationen nicht klar, ob die immensen Erwartungen an die einzelnen Fertigungstechnologien bereits erfüllt werden oder ob es sich aktuell noch um Wunschvorstellungen und Zukunftsmusik handelt. Bei aller verständlichen Begeisterung für diese faszinierenden Technologien sollten Zahnärzte und Zahntechniker achtsam sein, um keinen Trugschlüssen oder leeren Versprechungen aufzusitzen und eventuelle Fehlinvestitionen zu vermeiden. Zudem kann nicht allgemein von „dem 3-D-Druck“ gesprochen werden. Vielmehr müssen Einzeltechnologien voneinander unterschieden und nach ihren Möglichkeiten, Limitation und daraus resultierenden Anwendungsgebieten differenziert werden.

Dieser Artikel soll helfen, die verschiedenen in der Dentalwelt zur Anwendung kommenden additiven Verfahren vorzustellen und einzuordnen, um Praktikern einen aktuellen Überblick sowie eine aus Sicht der Autoren neutrale Einschätzung über das heute Anwendbare und in Zukunft Mögliche zu geben. Denn wenn einer spezifischen Indikation das adäquate 3-D-Verfahren zugeordnet wird, bieten additive Technologien ein enormes Potenzial und erhebliche Vorteile.

Erwartungen an den 3-D-Druck Hype Cycle und Produktivität

An die additive Fertigung werden hohe Erwartungen geknüpft und das allge-

meine Marktpotenzial wird als extrem hoch bewertet. Eine grafische Darstellung zu aktuellen technologischen Entwicklungen/Trends bietet der „Gartner Hype Cycle“ (Abb. 1). Dabei wird das öffentliche Aufmerksamkeitsniveau für eine bestimmte Technologie gegen den zeitlichen Verlauf aufgetragen – so auch zum Thema 3-D-Druck.

Der Hype Cycle wird in vier Zyklen unterteilt, wobei am Anfang immer eine technologische Entwicklung als Auslöser steht. Danach folgt ein steiler Anstieg der öffentlichen Aufmerksamkeit, welche im „Gipfel der überzogenen Erwartungen“ den Höhepunkt erreicht. Werden in dieser Phase die Erwartungen zusätzlich hochgeschraubt, entstehen unrealistische Erwartungen, die

nicht erfüllt werden können. Es folgen das „Tal der Enttäuschungen“ und der „Pfad der Erleuchtung“, in dem das öffentliche Interesse zwar abgenommen hat, die Technologie jedoch weiterentwickelt wird. Auf dem „Plateau der Produktivität“ ist die Technologie anerkannt und reift aus. Diesem Hype Cycle folgt auch der 3-D-Druck. Irreführend ist, dass im Hype Cycle 2017 zum Thema 3-D-Druck der Punkt „3-D-Printing of Dental Devices“ bereits das Plateau der Produktivität erreicht hat. Allerdings muss bei der Interpretation beachtet werden, dass dies vor dem Hintergrund der zahlreichen unterschiedlichen Anwendungen lediglich die additive Herstellung lasergesinterter Gerüste aus CoCr beinhaltet (Abb. 2).

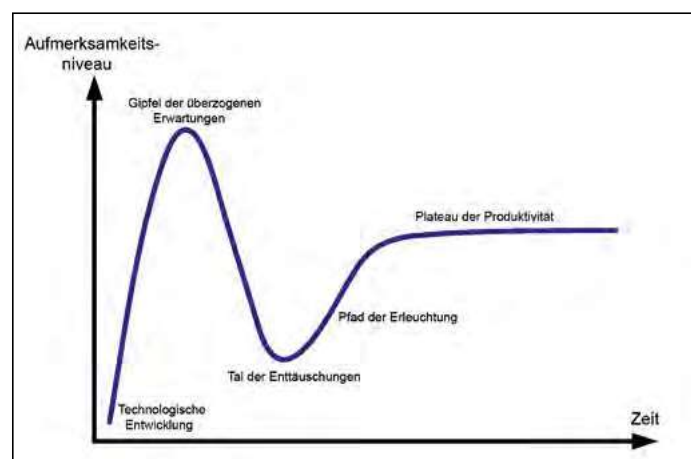


Abb. 1 – Der Gartner Hype Cycle trägt die öffentliche Aufmerksamkeit für eine bestimmte Technologie gegen den zeitlichen Verlauf auf, um Informationen zur Einschätzung des Entwicklungsstadiums neuer Technologien und Trends zu erhalten



Abb. 2 – Im direkten Lasersinterverfahren hergestellte Gerüste für festsitzenden Zahnersatz aus CoCr



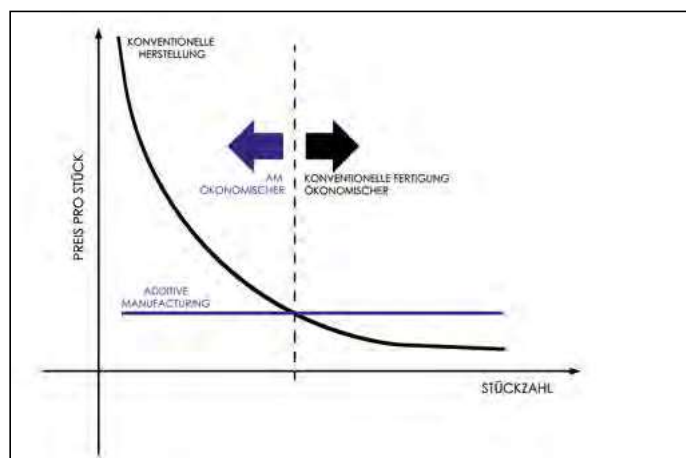


Abb. 3 – Darstellung der stückzahlabhängigen Kostenrechnung

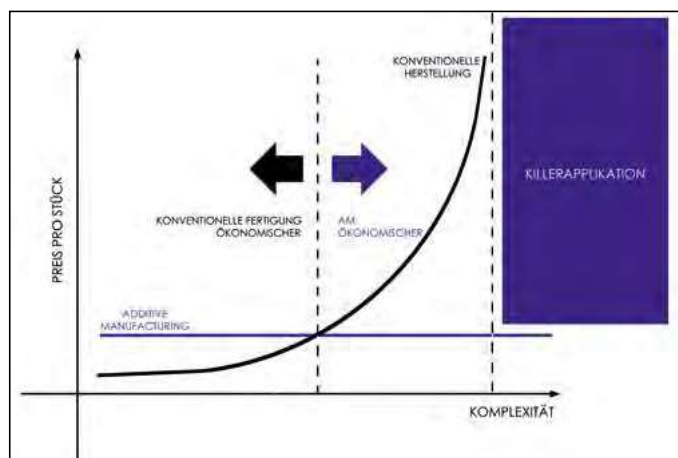


Abb. 4 – Darstellung der komplexitätsabhängigen Kostenrechnung

Allerdings sollte sich jeder interessierte Anwender die Frage stellen, wo sich seiner Meinung nach die einzelne Technologie beziehungsweise die individuelle Anwendung einer Technologie für eine spezifische Indikation auf dem Hype Cycle befindet. Die Autoren versuchen am Ende des Beitrags, eine Einordnung aktueller Anwendungen des 3-D-Drucks im Dentalbereich vorzunehmen (s. Abb. 28). Ob die Herstellung eines Produkts ökonomischer mit herkömmlichen Fertigungsmethoden wie beispielsweise

Spritzgusstechnik oder mittels 3-D-Druck erfolgt, hängt in erster Linie von der Stückzahl und der Komplexität des Bauteils ab. Je geringer die Stückzahl ist, desto stärker kommen die Vorteile der additiven Fertigung zur Geltung. Da man im Dentalbereich in der Regel die Losgröße 1 hat, erscheint die additive Fertigung aus diesem Blickwinkel als sehr interessante Herstellungsmethode (Abb. 3). Ein weiteres Beurteilungskriterium ist die Komplexität eines zu fertigenden Bauteils. Je komplexer dieses

ist, desto effizienter ist der 3-D-Druck. Es gibt auch Bauteile, die ausschließlich durch additive Technologien gefertigt werden können, wie beispielsweise un stetig gekrümmte Bohrungen. Man spricht dann von einer „Killerapplikation“ (Abb. 4).

Einteilung additiver Fertigungsverfahren

Grundsätzlich lassen sich additive Fertigungsverfahren nach der VDI-Richtlinie 3404 beziehungsweise der ISO/DIN 17296 in Bindeverfahren und Abscheideverfahren unterteilen (Abb. 5). Bei den Bindeverfahren wird zunächst eine komplette Schicht eines Materials (flüssig, pulvrig, fest) ausgelegt und entsprechend den Konturen des Objekts in geeigneter Weise verfestigt. Bei den Abscheideprozessen wird über eine Düse oder einen Druckkopf Material kontinuierlich oder tropfenförmig abgegeben und als Punkt- oder Linienmuster Schicht für Schicht abgelegt. Nicht jedes dieser Verfahren ist für eine dentale Anwendung geeignet. Bevorzugt eingesetzt werden derzeit im Dentalbereich die Lasersintertechnologie (SLS, SLM etc.), die Stereolithografie (SLA), das Maskenbelichtungsverfahren (DLP) sowie das Polyjet-Verfahren. Andere Differenzierungsmöglichkeiten sind die Einteilung nach den verwendeten Materialien, wie beispielsweise

Additive Technologien

Bindeverfahren

Stereolithografie (SLA)

Hierzu zählt auch das Maskenbelichtungsverfahren, auch Direct Light Processing (DLP) genannt.
Beispiel: Modellherstellung (Drewe Medical)

Selektives Lasersintern (SLM, DMLS)

Aktuell im Dentalbereich vor allem zur Herstellung von Restaurationsgerüsten aus CoCr eingesetzt.
Beispiele: EOS GmbH, Realizer GmbH, Concept Laser GmbH

Indirekter 3-D-Druck/Pulverbett drucken

Das Pulverbett drucken wird aktuell bei der Herstellung von keramischen Sinterschalen angewendet
Beispiel: WZR ceramic solutions GmbH

Laminated Object Manufacturing (LOM)

Die LOM-Verfahren werden derzeit im Dentalbereich nicht eingesetzt.

Abscheideverfahren

Fused Filament Fabrication (FFF)

Auch FDM (Fused Deposition Modeling) genannt. Derzeit werden im Prototypenstadium partielle Prothesen aus thermoplastischem Nylon gefertigt.
Beispiel: Valplast (Valplast Int. Corp., Westbury, NY)

Direkter 3-D-Druck (3DP)

Bei diesem Verfahren wird das Material direkt über einen Druckkopf auf das Baufeld aufgetragen.

Polyjet-Verfahren

Das Fotopolymer wird direkt über einen Druckkopf auf die Bauplattform aufgespritzt und mit Licht ausgehärtet.
Beispiele: Multijet-Modelling, Multimaterial-3-D-Druck (Stratasys), Multijet-Printing (3D-Systems)

3-D-Extrusion von Pasten

Dieses Verfahren wird aktuell im Dentalbereich nicht verwendet

Abb. 5 – Einteilung der additiven Fertigungstechnologien





Abb. 6 a – Lasergesinterter Brückengerüst aus CoCr-Legierung



Abb. 6 b – Brückengerüst nach manueller Verblendung von basal



Abb. 6 c – Fertiggestellter Zahnersatz auf dem Modell

Metalle, Kunststoffe oder Keramiken, sowie die Unterteilung nach den verschiedenen Anwendungsindikatoren. Letztere scheint nach Ansicht der Autoren derzeit für den Praktiker der interessanteste Ansatz zu sein, um sich einen praxisrelevanten aktuellen Überblick zu verschaffen.

Festsitzender und herausnehmbarer Zahnersatz aus CoCr

Die Hauptindikation für die Lasersinter-technologie ist der Kronen- und Brückenzahnersatz aus einer CoCr-Legierung (Abb. 6 a bis c). Unter betriebswirtschaftlicher Betrachtung ist das La-

asersintern im Vergleich zum Fräsen von CoCr-Restaurationen unabhängig von der Stückzahl immer das kostengünstigste Verfahren. Insbesondere dieser Aspekt hat zur starken Verbreitung dieser Technologie im Dentalmarkt beigetragen. Neben dem festsitzenden Zahnersatz liegt der Fokus der Hersteller und



Abb. 7 – Im direkten Lasersinterverfahren hergestelltes Modellgussgerüst



Abb. 8 – Lasergesinterte Modellgussklammern (Studie)



Abb. 9 a und b – Hybridfertigung: Additiv im Lasersinterverfahren hergestellte CoCr-Gerüste werden durch eine CNC-Nachbearbeitung subtraktiv in der Passgenauigkeit verfeinert (Quelle: Datron – hochkant in/am Bild a und b).



Abb. 10 – Subtraktiv auf Basis eines Intraoralscans gefertigte Langzeitprovisorien auf dem entsprechenden additiv im 3-D-Druck (DLP-Verfahren) gefertigten Modell



Abb. 11 a und b – Modelbuilder-Software: a) Datensatz nach Intraoralscan (Trios, 3Shape) mit positionierten Implantatanalogen. b) Datensatz des Oberkiefers mit Aussparungen für die spätere Insertion der Implantatlaboranaloge.



Abb. 12 – Mittels DLP-Verfahren gedrucktes Implantat- und Gegenkiefermodell mit Laboranalogen



Abb. 13 – Das Sockeln des digitalen Modells in der Modelbuilder-Software ermöglicht eine Montage im klassischen Artikulator zur Ausarbeitung und Kontrolle

Forschungseinrichtungen derzeit auf der Anfertigung von Modellgussprothesen im direkten Lasersinterverfahren (Abb. 7).

Erste wissenschaftliche Untersuchungen zeigen das hohe Potenzial dieser Technik. So konnte in einer aktuellen Studie der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der LMU München gezeigt werden, dass lasergesinterter Modellgussklammern den gegossenen Klammern sowohl in der Gefügequalität als auch der Überlebensrate signifikant überlegen sind (Abb. 8). Allerdings muss im Lasersinterverfahren noch häufig manuell nachgearbeitet werden, um die endgültige Oberflächenqualität zu erreichen. Eine Lösung hierfür könnte in der sogenannten Hybridfertigung (Abb. 9a und b) liegen.

Die Kombination aus additiven Fertigungstechnologien mit subtraktiver CNC-Bearbeitung könnte zukünftig die kostengünstige Herstellung von NEM-Restorationen mit höchster Passgenau-

igkeit ermöglichen. Insbesondere im Bereich der Implantatprothetik verspricht dieser Ansatz interessante Lösungsmöglichkeiten. Verschiedene Anbieter aus dem Bereich des Lasersinterns, der CNC-Bearbeitung und der CAM-Programmierung haben hier individuelle Lösungsmöglichkeiten erarbeitet.

Modellherstellung

Die intraorale (direkte) dreidimensionale Erfassung von Daten mit Scansystemen gewinnt zunehmend an Bedeutung. Da nicht alle Indikationen modellfrei versorgt werden können, erlangt die digitale Herstellung von Meistermodellen zunehmend an Bedeutung. Grundsätzlich können die Modelle dabei subtraktiv oder additiv hergestellt werden. Beide Technologien bieten Vor- und Nachteile. Erkennbar ist allerdings, dass die meisten Hersteller mittlerweile auf den 3-D-Druck dieser Modelle setzen (Abb. 10).

Bevor das Modell additiv gebaut werden kann, muss der gescannte Datensatz zunächst in einer Modelbuilder-Software verarbeitet werden, um beispielsweise Aussparungen für Implantatanaloge oder eine Gingivamaske anzulegen (Abb. 11 a bis 12) und um das Modell zu „sockeln“ (Abb. 13). Es existieren allerdings aktuell kaum wissenschaftliche Daten zur Langzeitstabilität und Lagerfähigkeit von 3-D-gedruckten Modellen. Diese könnten jedoch – bei Bedarf – jederzeit erneut aus dem vorliegenden Datensatz generiert werden. Das meistverwendete additive Verfahren zur Modellherstellung ist die Stereolithografie beziehungsweise das Maskenbelichtungsverfahren. Die Stereolithografie ist das älteste 3-D-Druckverfahren. Es wurde 1986 von Charles Hull (Firmengründer von 3-D-Systems) zum Patent angemeldet. Das erste Einsatzgebiet zur Herstellung von Modellen mittels Stereolithografie ist seit den 1990er-Jahren die additive Anfertigung von



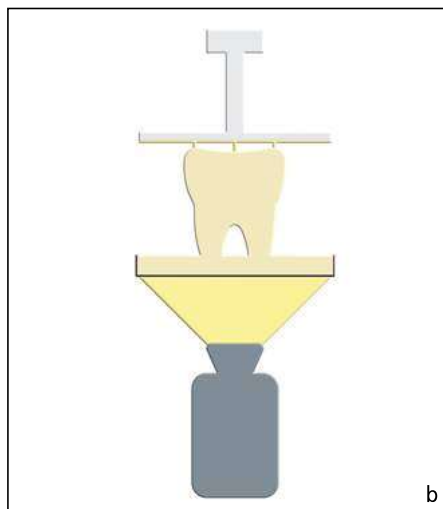
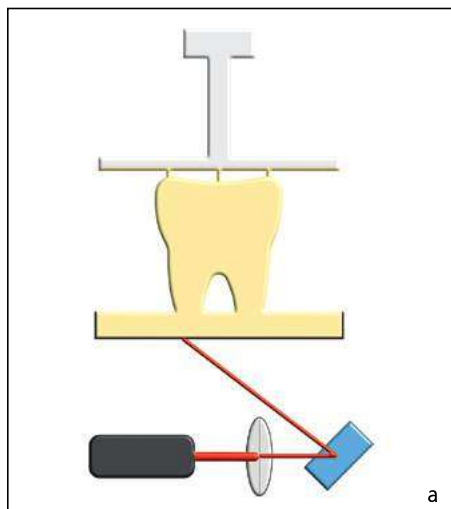


Abb. 15 – Die Oberflächenqualität wird maßgeblich von der Dicke der einzelnen Schichten und der damit verbundenen Stufenbildung (Z-Stufung) beeinflusst

Abb. 14 a und b – Schematische Darstellung der zugrunde liegenden Technologie für a) Stereolithografie und b) die Maskenbelichtung



Abb. 16 – Additiv im DLP-Verfahren gefertigtes Modell mit Gingivamaske



Abb. 17 – Lehrmodell in der Phantomkopfvorrichtung. Mittels 3-D-Druck lassen sich klinische Situationen unmittelbar in die Lehre übertragen (patientenindividuelle Schulungsmodelle).

„Belichtungsschuss“ ausgehärtet. Die pixelweise Ansteuerung der Belichtung erfolgt über einen Beamer mit DMD (Digital Micromirror Device). Damit ist es möglich, Lichtsignale pixelweise ein- und auszuschalten. Die beiden Verfahren sind schematisch in *Abbildungen 14 a und b* dargestellt.

Die Qualität der Bauteile hängt einerseits von der Auflösung in der XV-Ebene ab, andererseits wird diese maßgeblich von der Dicke der einzelnen Schichten und der damit verbundenen Stufenbildung (Z-Stufung) beeinflusst (*Abb. 15*). Mittlerweile lassen sich unter Verwendung verschiedener 3-D-Druck-Technologien neben Modellen für die Aufnahme von Implantatanalogen auch Modelle mit individueller Gingivamaske (*Abb. 16*) und Modelle zu Lehr- und Übungszwecken (*Abb. 17 bis 18 d*) drucken.

Sehr hilfreich und mit einem echten Mehrwert verknüpft ist die Verwendung von additiv gefertigten Modellen zur Umsetzung eines digitalen Mock-ups. Das digitale Mock-up wird als Modelldatensatz exportiert und additiv gefertigt. Nun können auf Basis der physischen 3-D-gedruckten Modelle entsprechende Tiefziehschienen gefertigt werden, mit denen das individuelle Mock-up am Patienten durchgeführt werden kann (*Abb. 19 a bis i*). Sicherlich kann hier in Abhängigkeit der Geometrie, Schichtdicke und Optik auch der direkte 3-D-Druck des Mock-ups diskutiert werden.

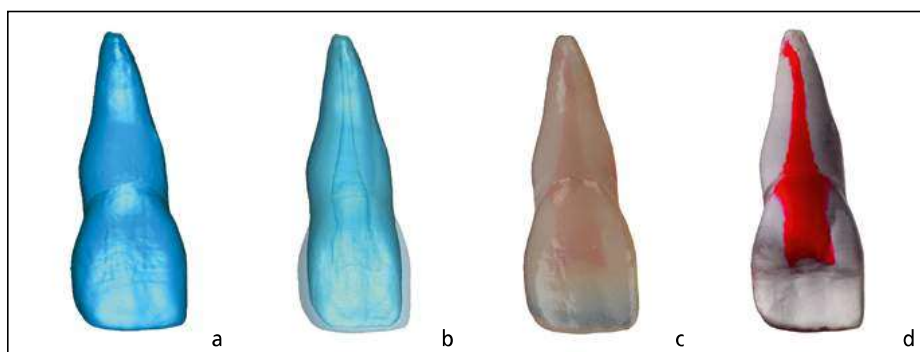


Abb. 18 a bis d – a) Datensatz eines natürlichen Zahns, b) Separieren des Datensatzes in Pulpa, Dentin und Schmelzanteil, c) Multimaterial-3-D-Druck in naturnaher Farbgebung, d) Multimaterial-3-D-Druck mit transparentem Dentin und Schmelzanteil sowie roter Pulpa (Drucker: J750, Stratasys)

Modellen zum Tiefziehen von Aligner-Schienen (Align Technology, San Jose, CA, USA). Zur Stereolithografie gehören insbesondere auch die DLP-Drucker

(DLP = Digital Light Processing), welche nach dem Maskenbelichtungsverfahren arbeiten. Hierbei werden die einzelnen Schichten des Bauteils mit einem





Abb. 19a – Ausgangssituation: Zustand nach bimaxillärer Umstellungsosteotomie bei Amelogenesis imperfecta

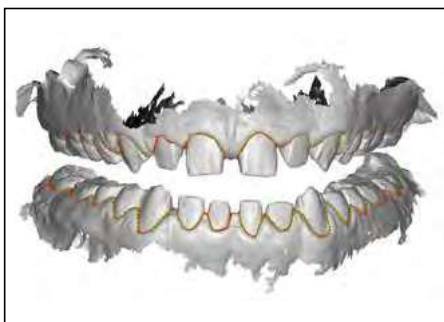


Abb. 19b – Intraoralscan der Situation. Die Kieferrelationsbestimmung erfolgte anhand eines Vestibulärscans bei eingesetzter Aufbissschiene.

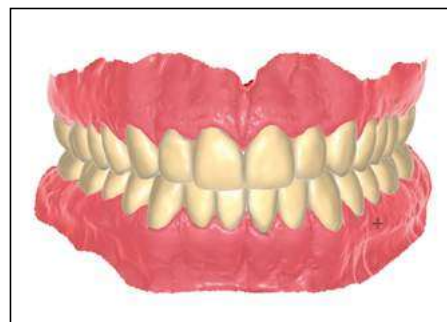


Abb. 19c – Digitales Wax-up



Abb. 19d – Virtual Try-in: Überprüfung des Wax-up-Entwurfs mittels 3-D-Gesichtsscans (Facehunter, Zirkonzahn, Gais, Italien)



Abb. 19e – Additiv gefertigte Modelle des Wax-ups



Abb. 19f – Tiefziehfolien aus Polyester (Duran), hergestellt mithilfe der 3-D-gedruckten Modelle



Abb. 19g – Auffüllen der Tiefziehschienen mit Provisorienmaterial (Protemp 4, 3M Deutschland)



Abb. 19h – Einsetzen der Tiefziehschienen



Abb. 19i – Mock-up vor Entfernung der eingesetzten Tiefziehschienen

Aufbissschienen

Neben der klassischen Fertigung im Streu- und Pressverfahren und der subtraktiven Fertigung durch Fräsen ist es heute auch möglich, passgenaue Aufbissschienen im 3-D-Druckverfahren herzustellen. Neben der Genauigkeit der Herstellung sind hier jedoch die Materialqualität und die damit verbundene Langzeitstabilität sowie die Biokompati-

bilität entscheidende Faktoren. Aktuell liegen noch keine klinischen Langzeiterfahrungen mit additiv gefertigten Aufbissschienen vor. Gleichzeitig muss untersucht werden, welches Elutionsverhalten additiv hergestellte Schienen unter Labor- und Mundbedingungen aufweisen. Ein Vergleich mit den heute gängigen Verfahren wäre daher wünschenswert, um zu entscheiden, welches Fertigungsverfahren zu den besten

langfristigen Ergebnissen für unsere Patienten führt.

Allgemein liegt die Messlatte für die erreichbare Homogenität und Biokompatibilität durch im subtraktiven CAD/CAM-Verfahren bearbeitete Hochleistungspolymere (z. B. gefräste Schienen) sehr hoch. Zudem müssen ebenso Einflussfaktoren, wie beispielsweise die Positionierung und Ausrichtung der Werkstücke sowie deren Einfluss auf die



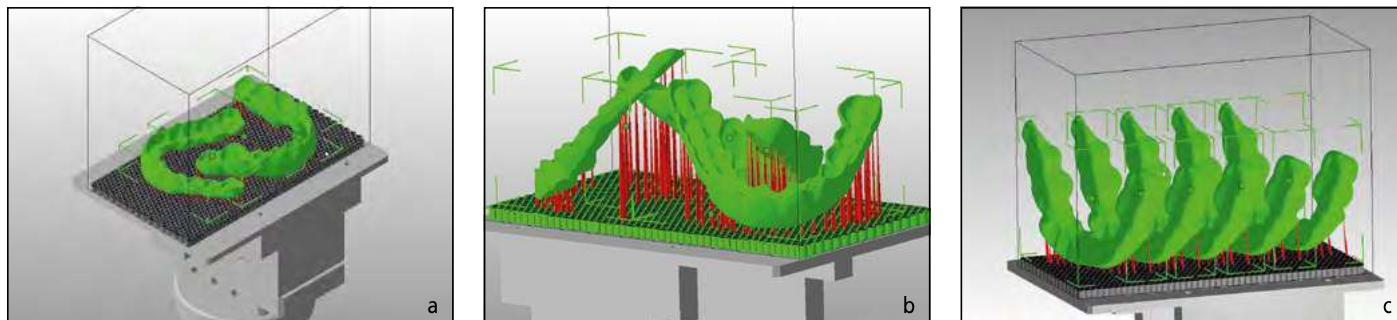


Abb. 20 a bis c – Darstellung unterschiedlicher Positionierungsoptionen mit unterschiedlichen Anstellwinkeln. Der Anstellwinkel hat Einfluss auf die Dauer und Effizienz des Bauprozesses, die Anzahl der Schienen auf der Bauplattform sowie auch auf den Verlauf der Z-Stufung (Binderlinien) innerhalb des Bauteils.

Stabilität und Haltbarkeit, untersucht werden. Hierbei scheinen insbesondere der Anstellwinkel auf der Bauplattform und somit der Verlauf der Bauschichten von Bedeutung zu sein (Abb. 20 a bis c).

Chirurgieschablonen

Die Fertigung von Chirurgieschablonen, beispielsweise für die geführte Insertion dentaler Implantate, stellt aktuell bereits ein Standardverfahren im Bereich des 3-D-Drucks dar (Abb. 21 a und b). Grund hierfür sind sicherlich die Vorteile der 3-D-Druckverfahren, wie kostengünstige Fertigung, Schnelligkeit und geringer Materialeinsatz, die bei dieser Indikation voll zum Tragen kommen. Viele Materialhersteller bieten mittlerweile Materialien zur Fertigung von Implantatchirurgieschablonen an, einige davon sind auch sterilisierbar (Abb. 22). Durch die Möglichkeit, vorbereitende Arbeitsschritte beispielsweise an das zahntechnische Labor oder einen Pla-

nungsservice delegieren zu können, gewinnen die dreidimensionale implantologische Planung und die Herstellung einer Chirurgieschablone auch unter dem wirtschaftlichen Aspekt an Attraktivität. Die Verantwortung für die Planung der Implantatposition bleibt dabei selbstverständlich immer beim Operateur, der die Planung in jedem Fall kontrollieren und freigeben muss. Ebenso kann individuell entschieden werden, ob die additive Herstellung in der Praxis, dem zahntechnischen Labor oder im zentralen Fertigungszentrum erfolgen soll. Hierbei sollten jedoch neben den wirtschaftlichen Aspekten sowohl der technische, zeitliche und personelle Nachbearbeitungsaufwand (Abb. 23) als auch die Lizenzkosten für die entsprechende Planungssoftware in die Entscheidung einfließen. Interessierte Zahnärzte und Zahntechniker können sich in Kursen von Fachgesellschaften (z. B. DGI-Continuum) und Fortbildungsanbietern (z. B. teamwork

media – Curriculum Implantatprothetik) entsprechendes Fachwissen aneignen, um entscheiden zu können, ob und wie die 3-D-Planung in den täglichen Praxis- und Laborablauf integriert werden kann.

Individuelle Abformlöffel

Die Fertigung individueller Abformlöffel (Abb. 24) oder Registratschablonen ist ein weiteres Einsatzgebiet für den 3-D-Druck im Dentalbereich. Als klarer Vorteil muss hier der definierbare und gut kontrollierbare Abstand zu den oralen Geweben genannt werden, da dies sowohl eine homogene Schichtstärke des Abformmaterials als auch im Bereich von Unterschnitten eine ausreichende Rückstellfähigkeit gewährleistet. Allerdings muss sich nach Meinung der Autoren durch die Verwendung im 3-D-Druckverfahren hergestellter Abformlöffel oder Registratschablonen auch ein klarer Vorteil in der Arbeitsweise (digitale Totalprothetik, Implantatab-



Abb. 21 a und b – Unterschiedliche Designs additiv hergestellter Chirurgieschablonen für die geführte Implantatinserion



Abb. 22 – Sterilisierbare Bohrschablone, hergestellt mittels DLP-Druckverfahren (SheraPrint)

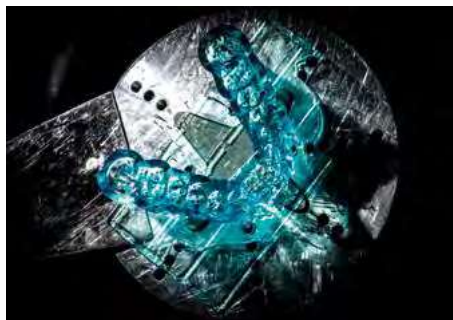


Abb. 23 – Das Post-Processing und der entsprechende Nachbearbeitungsaufwand sollten auch bei der Herstellung von Implantatschablonen nicht unterschätzt werden. Hier: Abheben der additiv gefertigten Chirurgieschablone von der Bauplattform vor dem Post-Processing.



Abb. 24 – Mittels 3-D-Druck hergestellter individueller Abformlöffel

formung) ergeben, um den zeitlichen und wirtschaftlichen Aufwand rechtfertigen zu können. Eine beispielhafte Möglichkeit sind das Design und die Herstellung von Implantatabformlöffeln bereits auf Basis der dreidimensionalen

Implantatplanung. Hierzu ist es notwendig, die Position der geplanten Implantate aus der 3-D-Planungssoftware in die CAD-Software zu importieren, um dann einen individuellen Abformlöffel mit Aussparungen an den Durchtrittsstellen der zu inserierenden Implantate zu konstruieren. Auch hier sollte die Wirtschaftlichkeit nicht aus den Augen verloren werden.

Provisorien

Ein weiterer interessanter Einsatzbereich der additiven Fertigung entwickelt sich aktuell im Bereich der Provisorien. Einige Hersteller, wie DMG und Bego, bieten hierzu bereits zahnfarbene Materialien mit einer Zulassung als Medizinprodukt Klasse II a an. Vor dem Hintergrund des zunehmenden Einsatzes von Intraoralscannern scheint durchaus Bedarf nach einer schnellen Fertigung von Provisorien auf Basis digitaler Datensätze vorhanden zu sein. Es sei an dieser Stelle allerdings auch wiederum auf die spärliche wissenschaftliche Datenlage zu diesen neuen provisorischen Materialien hingewiesen.

Prothesen-Try-in

Im Kontext digital gefertigter Totalprothesen umgehen die meisten Systeme die Möglichkeit einer Wachseinprobe.



Abb. 25a und b – Additiv hergestellte Try-in-Totalprothese

Um das Ergebnis der CAD-Konstruktion trotzdem vor der Herstellung intraoral überprüfen zu können, bietet sich die schnelle, kostengünstige Fertigung einer Try-in-Prothese im 3-D-Druckverfahren an. Zwar sind einerseits ästhetische Limitationen zu akzeptieren, andererseits können relevante Parameter, wie die Ausrichtung der Kauebene, Zahnposition und -stellung, die Gestaltung des Bukkal corridors sowie die Kieferrelation, überprüft werden, bevor die definitive Prothese subtraktiv hergestellt wird (Abb. 25a und b).

Anzeige

Deutsche Bank

Mehr Zeit für Ihre Patienten.

Möglich mit dem medKonto, das Ihren Zahlungsverkehr effizient regelt.

#PositiverBeitrag

Heilberufezentrum Sachsen
Martin-Luther-Ring 2, 04109 Leipzig
Frank Streek, Telefon (0341) 120-2585, frank.streek@db.com

Besuchen Sie unseren Stand zur „Fachdental Leipzig 2019“
am 13. und 14. September, Leipziger Messe

deutsche-bank.de/medkonto

Anbieter: DB Privat- und Firmenkundenbank AG, Theodor-Heuss-Allee 72, 60486 Frankfurt am Main



Jetzt medKonto
abschließen und ohne
Grundpreis nutzen!





Abb. 26 – Im Multimaterialdruckverfahren hergestellte Try-ins aus Polymer an den Zähnen 13 bis 23 (Dentinkern Farbe A3, Schmelzhülle Transparent)

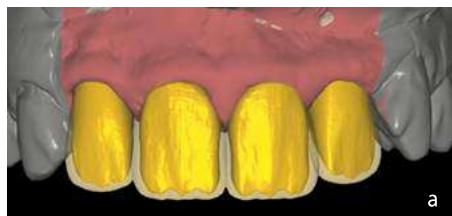


Abb. 27a und b – Der Schlüssel zur digitalen Ästhetik? a) Naturidentische Dentinkerne auf Basis der Zahnstrukturdatenbank, b) Umsetzung des Restaurationsentwurfs im Multimaterial-3-D-Druckverfahren in Polymer

Ausblick

Die in diesem Artikel dargestellte Momentaufnahme einiger klinischer Anwendungen öffnet den Blick auf zahlreiche weitere Entwicklungen und zukünftige Anwendungsgebiete der additiven Fertigung. Ein Forschungsansatz der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der LMU München zeigt den simultanen 3-D-Druck eines Zahns aus Polymer nach dem Vorbild der Natur im Multimaterialdruckverfahren. Auf Basis einer Zahnstrukturdatenbank können bereits heute Polymer-Try-ins mit individuellem Dentinkern und umhüllender Schmelzstruktur in einem einzigen Druckvorgang mit unterschiedlicher Farbgebung und Transluzenzeinstellung gedruckt werden. Diese Try-ins im Sinne

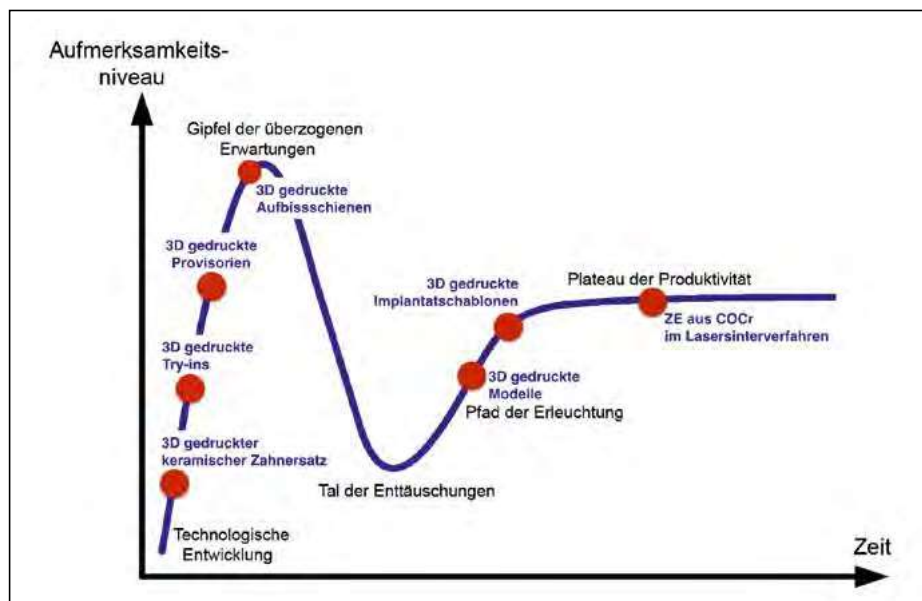


Abb. 28 – Einschätzung der Autoren über den Stand der Einzelanwendungen anhand einer Modifikation des Gartner Hype Cycles in Bezug auf die Anwendung des 3-D-Drucks in der Zahnheilkunde

von Dentinkernkronen können bei der Anfertigung des definitiven Zahnersatzes wertvolle Informationen für dessen ästhetische und biomechanische Gestaltung geben (Abb. 26 bis 27b). Diese Forschungsarbeiten sind die Grundlage für jegliche zukünftige additive Fertigung von feststehendem Zahnersatz.

Auch im Bereich des 3-D-Drucks keramischer Materialien existieren verschiedene Technologien auf unterschiedlichen Entwicklungsstufen, die es gilt, in Zukunft klinisch zu bewerten und weiterzuentwickeln. Sicherlich liegt das enorme Potenzial der additiven Fertigung in der zukünftigen Möglichkeit, Zahnersatz hinsichtlich seiner Ästhetik und Biomechanik „automatisiert“ zu individualisieren und ihn auf die spezifische klinische Situation exakt maßzuschneidern.

Die große zukünftige Herausforderung besteht in der genau aufeinander abgestimmten Synchronisation von der Optimierung der 3-D-Drucktechnologie mit der Materialentwicklung. Als Referenz in Bezug auf die Homogenität und Biokompatibilität sind heute subtraktiv bearbeitbare Materialien im Metall-, Polymer- und Keramikbereich anzusehen, die eine sehr hohe Messlatte darstellen.

Abschließend sei auf die noch sehr spärliche wissenschaftliche Datenlage und noch nicht vorhandene klinische Langzeiterfahrung zum Thema 3-D-gedruckter Zahnersatz hingewiesen. Eine Ausnahme stellt nur das Lasersintern von CoCr dar. Aktuelle und zukünftige Studien müssen sich mit den Themen Biokompatibilität, Elution, Langzeitstabilität und Wirtschaftlichkeit auseinandersetzen, um es uns zu ermöglichen, im Sinne unserer Patienten die bestmögliche Fertigungsvariante und Materialauswahl treffen zu können.

Bereits heute bieten additive Fertigungstechnologien unter Einsatz verschiedenster Materialien eine große Bandbreite an Einsatzmöglichkeiten. Inwieweit diese bereits das Plateau der Wirtschaftlichkeit erreicht haben, hängt stark von der Einbindung der Technologie in den Arbeitsablauf der einzelnen Praxis oder des einzelnen Labors ab. In Abbildung 28 beschreiben die Autoren ihre Einschätzung über den Stand der Einzelanwendungen anhand einer Modifikation des Gartner Hype Cycles in Bezug auf die Anwendung des 3-D-Drucks in der Zahnheilkunde. Letztlich sollten jedoch nicht die Einsatzmöglichkeiten für eine bestimmte Technologie



ausschlaggebend sein, sondern die Entscheidung sollte immer mit Blick auf den Vorteil für die Behandlung im Sinne einer Vereinfachung, Erhöhung der Qualität und Verbesserung der Wirtschaftlichkeit im Sinne unserer Patienten erfolgen. Diese Perspektive hilft, neue Technologien und Entwicklungen aus einer realistischen und praktischen Sicht heraus zu beurteilen und eine adäquate Entscheidung zum richtigen Zeitpunkt treffen zu können. Es bleibt also spannend im Bereich 3-D-Druck in der Zahnheilkunde.

*Priv.-Doz. Dr. Jan-Frederik Güth,
Johannes Trimpl,
Prof. Dr. Daniel Edelhoff,
Josef Schweiger MSc,
München*

*Korrespondenzadresse:
Priv.-Doz. Dr. Jan-Frederik Güth
Poliklinik für zahnärztliche Prothetik
L.-M.-Universität München
Goethestraße 70, 80336 München
Jan_Frederik.Gueth@med.uni-
muenchen.de*

Literatur bei den Verfassern

aus: BZB September 2018
Wir danken für die freundliche Nach-
druckgenehmigung.

Mustervertrag zwischen mehreren Strahlenschutzverantwortlichen

In der Januarausgabe des ZBS wurden Informationen zur neuen Strahlenschutzgesetzgebung publiziert, die am 1. Januar 2019 in Kraft getreten sind. Das neue Gesetz fordert u. a.: Werden Röntgeneinrichtungen durch mehrere Strahlenschutzverantwortliche genutzt, sind die Pflichten und die Verantwortlichkeiten zwischen den beteiligten Personen vertraglich zu regeln.

Für Bestandsgeräte ist ein entsprechender Vertrag bis zum 31. Dezember 2019 abzuschließen.

Im Online-Praxishandbuch der LZK Sachsen ist nun ein entsprechender Mustervertrag eingestellt, der als Vorlage für einen eigenen Vertrag genutzt werden kann.

<http://phb.lzk-sachsen.org/aenderungen.html>

Info-Medien für Eltern und Zahnarztpraxen zu den neuen Präventionsleistungen

Seit dem 1. Juli stehen gesetzlich versicherten Kleinkindern zwischen 6. und vollendetem 33. Lebensmonat drei zahnärztliche Früherkennungsuntersuchungen zur Verfügung. Die KZBV hat ihre Patienteninformation „Gesunde Zähne für Ihr Kind“ ebenso aktualisiert wie den Praxisratgeber von KZBV/BZÄK „Frühkindliche Karies vermeiden“. Beide Publikationen stehen zum Download in einem neu einge-

richteten Servicebereich bereit auf der Website
www.kzbv.de/gesunde-kinderzaehne

Die neue Patienteninformation der KZV Sachsen „Gesund von Anfang an“ wird mit der nächsten Vorstands-Information an die Praxen versendet und ist als pdf-Datei abrufbar unter
https://www.zahnaerzte-in-sachsen.de/zahnaerztelinfo_material

Anzeige

Im Gesundheitsamt des Landratsamtes Meißen
ist zum 01.03.2020 folgende Stelle unbefristet zu besetzen:

Arzt im Jugendzahnärztlichen Dienst (m/w/d)

Wir bieten eine tarifgerechte Bezahlung nach **E 14 TVöD**
zuzüglich einer **Ärtezulage**.

Ihre Bewerbungsunterlagen reichen Sie bitte bis zum **26.09.2019**
über unser Karriereportal unter
<http://www.kreis-meissen.org/9158.html> ein.

