

■ INDUSTRIEREPORT

3-D-Druck aus Sicht eines anbietenden Unternehmens

Additive Fertigung bei Infinident Solutions

LUDWIG SCHULTHEISS, THOMAS FRIES

Einleitung

Die additiven Anwendungen in der Dentalwelt konzentrieren sich heute primär auf den Druck von Kunststoffapplikationen, wie z. B. Dentalmodelle, getrieben durch den digitalen intraoralen Abdruckscan in der Zahnarztpraxis. Aber auch die Produktion von Nicht-Edelmetall-Restorationen, wie z. B. Kronen- und Brückengerüste sowie Modellgusspro-

thesen aus Kobalt-Chrom-Legierungen (CoCr), wächst seit 2007 mit ungebrochener Nachfrage.

Für die digitale Herstellung dieser Art von dentalen Applikationen besteht der Vorteil der additiven Technologien im Vergleich zum abtragenden Verfahren (z. B. 5-Achs-Simultanfräsen) in der Möglichkeit, in großen Stückzahlen die kundenspezifische Fertigung von Halbfertigerzeugnissen für das Dentallabor schnell

und kostengünstig umzusetzen. Dadurch, dass die Werkzeugkosten entfallen, wie sie bei destruktiven Fertigungsverfahren üblich sind, und außerdem kein vergleichsweise hoher Materialverlust von über 80 Prozent stattfindet, wird bei additiven Fertigungsverfahren – entsprechende Auslastung vorausgesetzt – eine wirtschaftlich attraktive Fertigung möglich. Diese Vorteile können dann in der Folge an den Kunden weitergegeben werden.

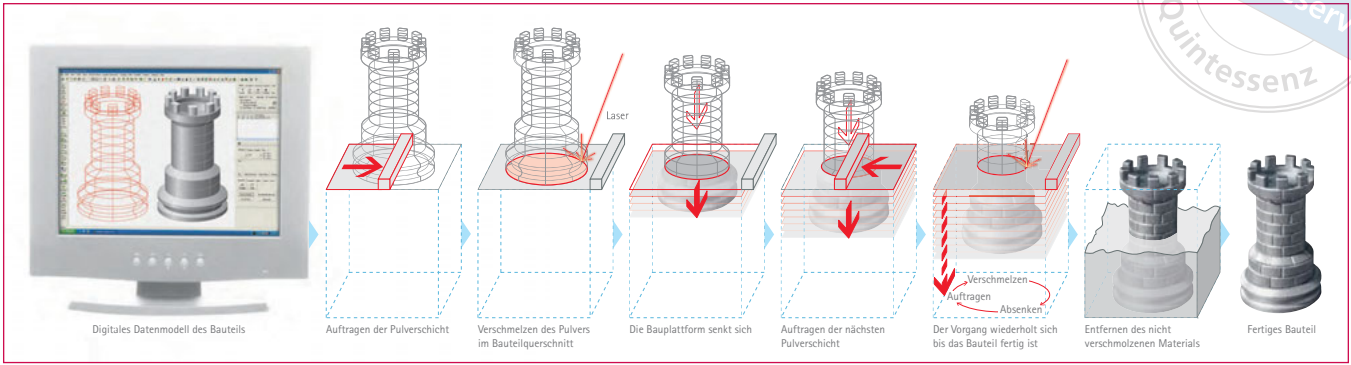


Abb. 1 Allgemeines Funktionsprinzip des Lasersinterns (Quelle: EOS).

Um jedoch im Kundenauftrag passgenaue, reproduzierbare Ergebnisse mit sehr guten Oberflächen sowohl im Kunststoff als auch im NEM-Segment anbieten zu können, bedarf es viel Erfahrung und eines entsprechenden Technologieverständnisses. Aufgrund seiner großen Auslastung kann dies alles ein Industriedienstleister bereitstellen. Dabei ist es nicht trivial, additive Fertigungstechnologien zu beherrschen. Das Zusammenspiel zwischen Laser (Lasertyp je nach Technologie), Material und Parametereinstellungen ist essenziell, um stabile Prozesse zu etablieren, die letztendlich eine dauerhaft und reproduzierbar qualitativ hochwertige Produktion garantieren. Selbst bei den im klassischen Dentallabor immer häufiger vertretenen Desktopdruckern, die primär zur Herstellung von Modellen, Aufbisschienen oder Abdrucklöffeln angeschafft werden, wird oftmals die Komplexität schnell klar, die 3-D-Druck mit sich bringt. Insbesondere immer dann, wenn es um Präzision hinsichtlich Passung und Oberflächen geht. Eine entsprechende Lern- und Testkurve ist dabei unabdingbar und kostet das Dentallabor viel Zeit und Ressourcen. Diese Erfahrung konnte Infinident Solutions seit Einführung der Lasersinter-technologie (2007) und dem digitalen Modelldruck im Stereolithografieverfahren

(2009) über die Jahre ausbauen, um heute europäischen Laboren ein breites Portfolio an additiven Produkten als verlängerte Werkbank anzubieten.

Additive Verarbeitung von NEM-Lasersinter-technologie (SLM)

Mithilfe der Lasersinter-technologie (SLM) produziert Infinident Solutions täglich eine Vielzahl an Kronen-, Brücken- und Modellgussgerüsten. Dabei kommen Systeme der Firma EOS (Krailing), Typ M270, zum Einsatz.

Bei diesem Verfahren wird eine Kobalt-basierte Metall-Keramik-Legierung in Form von feinkörnigem Pulver mithilfe eines sogenannten Recoaters gleichmäßig auf einer Bauplatte aufgetragen und im Anschluss durch einen 200 W Yb (Ytterbium) Faserlaser unter Schutzgas ($N_2 = \text{Stickstoff}$) schichtweise verschmolzen. Nach Abschluss des Schmelzvorgangs wird die Bauplatte je nach vordefinierter Schichtstärke abgesenkt und die nächste Schicht entsprechend vorbereitet. Applikationsabhängig wird dabei mit unterschiedlichen Schichtstärken im Bereich von 20 bis 40 μm gearbeitet. Je geringer die Schichtstärke, desto besser die Oberflächenqualität, desto länger jedoch auch der Bauprozess (Baujob) (Abb. 1).

Zusammenfassung

Infinident Solutions produziert im Auftrag zahntechnischer Labore in ganz Europa individuelle Restaurationen und Modelle mithilfe der Lasersinter-technologie (SLM) bzw. auf Basis des Stereolithografieverfahrens (SLA) und der Digital Light Projection Technologie (DLP). In dem Beitrag werden die wichtigsten Vorteile und Fertigungsschritte der additiven Fertigung bei Infinident Solutions beschrieben.

Indizes

additive Fertigung, Lasersinter-technologie, Stereolithografie, Digital Light Processing

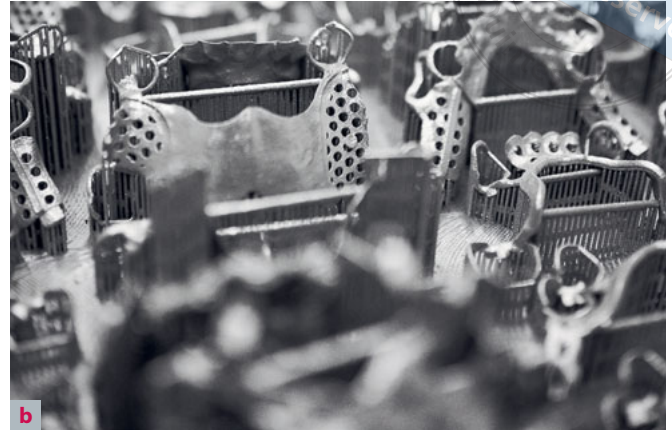


Abb. 2a und b Bauplattform mit Kronen und Brückengerüsten (links, Foto: EOS) sowie Modellgussprothesen (rechts, Foto: Infindent Solutions) auf einer EOS M270. Das System ist speziell für die Produktion von Dentalapplikationen in großen Stückzahlen konzipiert.

Das verwendete Material setzt sich aus Kobalt-Chrom (CoCr)-Partikeln mit einer maximalen Korngröße von $< 55 \mu\text{m}$ zusammen. Das CoCr-Pulver ist als Medizinprodukt der Klasse IIa eingestuft und hat eine CE-Kennzeichnung.

Beim Lasersinterverfahren werden die Restaurationen mithilfe von Stützstrukturen (sogenannten Supports) mit der Bauplatte verbunden, um die durch das Lasern entstehende Energie abzuleiten und insbesondere bei größeren Ge-

rüsten sowie bei Modellgussprothesen Spannungsverzüge zu vermeiden. Auf der Bauplatte aus Stahl ($250 \times 250 \text{ cm}$) können, je nach Geometrien, bei maximaler Bestückung bis zu 400 Kronengerüste oder 30 Modellgussrestaurationen in einem Prozessgang gedruckt werden. Hier würde die Bauzeit 15 bis 20 Stunden betragen (Abb. 2a und b, Abb. 3).

Ausschlaggebend für die finale Passung der Bauteile ist allerdings in erster Linie die virtuelle Datenaufbereitung

bei der Jobvorbereitung. Hier erfolgt die virtuelle Positionierung der Restaurationen, die Infindent Solutions in Form von STL-Daten erreichen, im Bauraum, damit verbunden ist die Anordnung der notwendigen Supportstrukturen. Hierbei wird semiautomatische Positionierungssoftware genutzt (Abb. 4).

Nach Beendigung des Bauprozesses wird die gesamte Bauplatte inklusive der additiv aufgelaserten Restaurationen thermisch nachbehandelt: das



Abb. 3 EOS M270 Baujob – Laserschmelzvorgang innerhalb der Baukammer – mit einem 200 Watt Yb-Faserlaser.

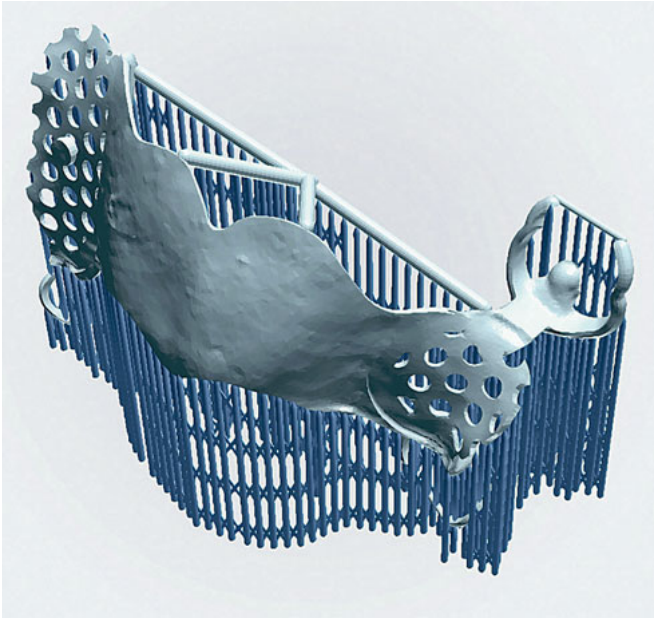


Abb. 4 Beispielhafte Darstellung der Vorbereitung der Supportstrukturen für Modellguss.



Abb. 5 Modellguss und mehrgliedrige Brücke nachgearbeitet und fertig für den Versand.

sogenannte Spannungsfreiglühen. Dieser Schritt findet bei ca. 800 °C statt, um aufgetretene Spannungen weitgehend zu eliminieren. Im Anschluss werden die Teile von der Bauplattform abgetrennt und die Stützstrukturen von den Restaurationen entfernt. Bei der Modellgussapplikation erfolgt zusätzlich eine zweite thermische Nachbehandlung unter Vakuum, die dazu dient, die Duktilität der Klammerfedern zu steigern (Federelastizität). Abschließend werden die Teile konventionell manuell überarbeitet und abgestrahlt (Abb. 5).

Die fertigen additiv hergestellten Restaurationen weisen überzeugende Teileigenschaften hinsichtlich Dichte sowie Oberflächenrauigkeiten und gute Passungen auf. Insbesondere bei Brückengerüsten mit hoher Spannweite werden gute Ergebnisse erzielt und auch digital hergestellte Modellgussgerüste, sowohl als Ober- oder Unterkiefer, stehen dem klassischen analogen Verfahren hinsichtlich der Passung und Homogenität in nichts nach.

Additive Verarbeitung von Kunststoff – Stereolithografie (SLA)/Digital Light Processing (DLP)

Im Zuge der zunehmenden Verbreitung von intraoralen Aufnahmeeinheiten (z. B. Dentsply Sirona, 3Shape, iTero u. a.), die eine direkte Digitalisierung der oralen Patientensituation in der Zahnarztpraxis ermöglichen, ist das Thema additive Herstellung von Dentalmodellen das aktuell prominenteste Beispiel für 3-D-Druck in der Zahntechnik. Bei Infinident Solutions ist die additive Herstellung von Modellen im Kundenauftrag seit 2009 ein zentraler Fertigungsschwerpunkt.

Aufgrund der Historie des Fertigungszentrums (ehemals Dentsply Sirona) können Labore Sägeschnittmodelle mit gepinnten Zahnstümpfen und freigelegter Präparation bestellen, ausgehend von aus der inLab-Software generierten Datensätzen.

Darüber hinaus bietet Infinident Solutions für Nutzer anderer Softwarelösungen passgenaue Modelle an. Dabei werden die STL-Datensätze aus der Modellsoftware von z. B. Exocad oder 3Shape exportiert und digital an Infinident Solutions übermittelt. Infinident Solutions fertigt aus diesen Daten passgenaue Modelle mit herausnehmbaren Stümpfen (sogenannte Geller-Modelle), Implantatmodelle, die mit einer Vielzahl von Implantatanalogen verwendet werden können, oder auch Modelle für kieferorthopädische Anwendungen (z. B. als Planungsgrundlage) (Abb. 6).

Die unterschiedlichen Modelltypen werden auf Basis der laserbasierten Stereolithografie (SLA) bzw. digitalen Lichtverarbeitungstechnologie (DLP) hergestellt. Der Begriff Stereolithografie hat seinen Ursprung in den griechischen Wörtern „stereo“ (fest, solide) und „(Foto) Lithografie“, was in etwa bedeutet, mit Licht zu schreiben. Im 3-D-Druck macht Stereolithografie genau das: festschrei-



Abb. 6 Modellportfolio von Infinident Solutions: Modell mit Implantatanalogen (Lab Modell IMPLANT), Modell mit herausnehmbaren Stümpfen (LAB MODEL FA), Sägeschnittmodell (LAB MODEL SL/SLS), KFO-Modell mit oder ohne Sockel (Ortho SL).
Abb. 7 und 8 Bauprozess von Dentalmodellen auf Basis der Stereolithografie.

ben, unter Einsatz von Licht. SLA-Technologie setzt Licht ein, um flüssiges Acrylharz Schicht für Schicht in feste Objekte zu verwandeln. Die DLP-Technologie setzt hingegen einen Spiegel als digitale Leinwand ein, um jeweils ein einzelnes Bild jeder Schicht über die gesamte Plattform zu projizieren.

Bei beiden Verfahren wird flüssiges, lichthärtendes Acrylharz mithilfe eines UV-Lasers schichtweise gehärtet. Auf einer Bauplatte aus Glas bzw. Granit wird die unterste Schicht per UV-Eintrag verfestigt. Danach taucht die Bauplatte in das Harzbad je nach Schichtstärke ab, das flüssige Material verteilt sich auf der Bauplatte, wird mit einem Recoater glattgezogen und die nächste Schicht erhält den entsprechenden designbasierten UV-Eintrag. Anders als bei dem oben beschriebenen Lasersinterverfahren wird bei der Stereolithografie weitgehend ohne Stützstrukturen gebaut (Abb. 7 und 8).

Die Modelle werden in einer Schichtstärke von durchschnittlich $< 50 \mu\text{m}$ gefertigt. Das garantiert eine saubere Oberfläche mit hoher verzugsfreier Genauigkeit. Was die Genauigkeiten betrifft, so

sind die digital gefertigten Modelle auf Basis der Stereolithografie in der Regel zu den klassischen analog gefertigten aus Gips vergleichbar, wenn nicht sogar als hochwertiger einzustufen. Die Produktionszeit für eine Bauplattform, die ca. 40 Modelle pro Job zählt, beträgt in etwa zwölf Stunden.

Nach dem Bauprozess werden die Oberflächen der noch nicht vollständig gehärteten Modelle zunächst mit Druckluft grob abgeblasen und in einer Isopropylalkohollösung unter Verwendung einer Ultraschallanlage sorgfältig gereinigt. Abschließend kommen die Modelle für ca. zehn Minuten in ein spezielles UV-Härtegerät, um die gewünschte Endfestigkeit zu erreichen. Danach werden die Modelle je nach Typ per Handarbeit weiterverarbeitet. Nach der letzten Qualitätskontrolle sind die Modelle bereit zum Versand.

Auch wenn inzwischen immer mehr zahntechnische Betriebe selbst in 3-D-Drucker investieren, sind die im Kundenauftrag produzierten Modelle weiterhin ein wichtiges Produkt bei Infinident Solutions. Gerade Implantatmodelle oder auch Modelle für größere Restaurationen, z. B. mehrgliedrige Brücken, benötigen entsprechende Genauigkeiten und Verzugsfreiheit. Hier unterscheiden sich die für die Produktion eingefahrenen 3-D-Technologien, die in der

Anschaffung in einem sechsstelligen Bereich liegen, von den Desktop-Inhouse-3-D-Druckern, die bereits für kleines Geld zu haben sind.

Im Übrigen hat sich Infinident Solutions bislang gegen das Drucken von Aufbisschienen entschieden. Dies liegt – neben anderen Faktoren – an den verfügbaren Materialien, die hinsichtlich Zulassung (Klasse IIa), Qualität und Passung aktuell (noch) nicht den Anforderungen genügen. Hier werden die nicht zuletzt auf der Formnext 2018 vorgestellten Entwicklungen laufend beobachtet und bewertet.

Fazit

Die additiven Fertigungstechnologien sind fester Bestandteil der Produktion von Infinident Solutions. Trotz der Vorbehalte gegenüber Passungen, z. B. bei gedruckten Modellen, oder auch ungewohnten Oberflächenrauigkeiten bei lasergesinterten NEM-Restaurationen, steigt dank Aufklärung und fortschreitender Verbreitung der Digitalisierung die Nachfrage stetig.

Ob die heute bei Infinident Solutions täglich laufenden CNC-Fräsmaschinen zur kundenspezifischen Herstellung weiterer dentaler Produkte zukünftig komplett durch additive Technologien abgelöst werden können, ist frag-

lich. Die Vorteile der additiven Technologien sprechen dafür, dass sie weiterhin eine tragende Rolle in der Herstellung bestimmter Produkte bei Infinident Solutions spielen werden. ■■

Literatur

1. Schweiger J, Erdelt K, Güth JF. In-vitro-Untersuchung der mechanischen Qualität von gegossenen und lasergesinterten Klammern für Modellgussprothesen. Arbeitsbericht. München: Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der Ludwig-Maximilians-Universität, 2018.



Ludwig Schultheiss
Infinident Solutions
Röntgenstr. 88
64291 Darmstadt
E-Mail: ludwig@infinidentsolutions.com



Thomas Fries
Adresse wie oben