

3D-Drucktechnologie in der Zahnarztpraxis

Balázs Kiss

kissb3@gmail.com



Nanobiotechnologie und Einzelmolekül-Forschungsgruppe und
Myofilament-Mechanobiophysik Forschungsgruppe,
Semmelweis Universität,
Institut für Biophysik und Strahlenbiologie.

15. Oktober 2020.

3D Arbeitsablauf

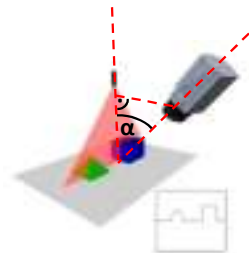
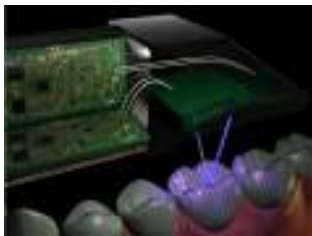
CAD: computer-aided design, CAM: computer-aided manufacturing

Angewandte Software:

- Autodesk Fusion 360 (www.autodesk.com/products/fusion-360/overview)
- 3D-Slicer (www.slicer.org/)
- InVesalius (invesalius.github.io/download.html)
- Ultimaker Cura (ultimaker.com/software/ultimaker-cura)



3D Intraoralscanners /1



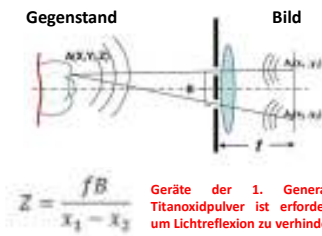
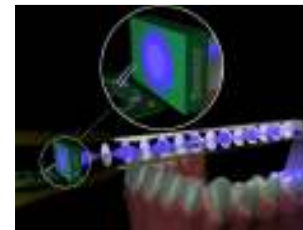
Geräte der 1. Generation: Titanoxidpulver ist erforderlich, um Lichtreflexion zu verhindern.

z.B.: Cerec

- Ein Lichtstreifenmuster wird auf das Objekt projiziert.
- Wenn der Lichtstrahl zurück auf den Sensor reflektiert wird, wird der Abstand zwischen dem projizierten Strahl und dem reflektierten Strahl gemessen.
- Triangulation:** Da der feste Winkel zwischen Projektor und Sensor (α) bekannt ist, kann der Abstand zum Objekt (und damit die Abmessungen des Objekts) berechnet werden.

3

3D Intraoralscanners /2



$$Z = \frac{fB}{x_1 - x_2}$$

Geräte der 1. Generation: Titanoxidpulver ist erforderlich, um Lichtreflexion zu verhindern.

z.B.: Lava COS

- Aktive Wellenfronterfassung:**
- Das von den Zähnen reflektierte Bild wird durch ein Abbildungssystem geführt und schließlich auf einen Sensor/Detektor projiziert.
- Teil des Bildgebungssystems sind 2 Öffnungen auf einer Platte (mit bekanntem Abstand von B), von denen jeder das Objekt aus verschiedenen Richtungen abbildet und 2 Bilder erzeugt.
- Wenn die Entfernung der auf dem Detektor erzeugten Bilder bekannt ist, kann die Entfernung (Z) des vom Scanner gemessenen Objekts bestimmt werden.

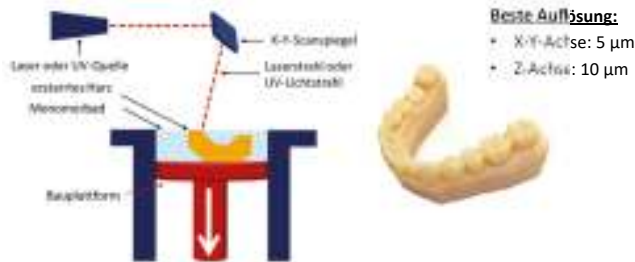
4

Küpenphotopolymerisation /1

Auch bekannt als Stereolithographie (SLA) vagy Digital Light Processing (DLP)

Aufbau des Systems:

- **Lichtquelle mit hoher Intensität:** typischerweise Ultraviolett, UV-A oder UV-B;
- **Küpe oder Tablett:** Enthält ein photohärtbares flüssiges Harz auf Epoxid- oder Acrylbasis, das Monomere und Oligomere enthält;
- **Steuerungssystem:** Weist die Lichtquelle an, das Harz selektiv zu beleuchten.



5

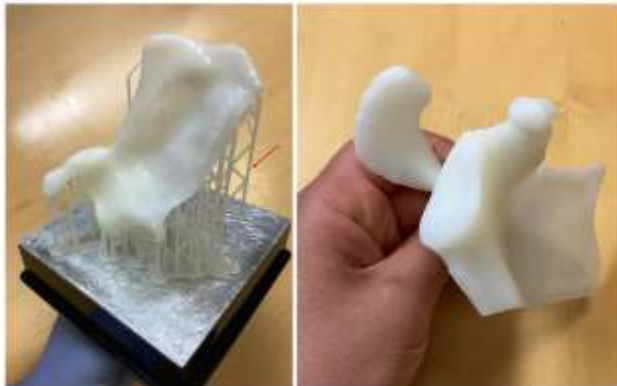
Küpenphotopolymerisation /2

- Schichten des Harzes werden nacheinander ausgehärtet, indem es einen vordefinierten Bereich (region of interest, ROI) senkrecht zur Z-Achse des Druckers beleuchtet wird.
- Das Licht löst im Harz eine chemische Reaktion aus, die bewirkt, dass die Monomere und Oligomere polymerisieren und fest werden.
- Sobald eine Schicht des Objekts strukturell stabil ist, wird das Modell um eine Schichtdicke von der aktiven Schicht entfernt abgesenkt (oder angehoben, für Bottom-Up-Drucker).
- Nach dem Drucken wird überschüssiges Harz abgelassen und das Modell mit einer Lösungsmittel- oder Alkoholspülung gereinigt.
- Gitterstützstrukturen, die vom Drucker automatisch hinzugefügt werden, um das Drucken von Überhängen zu erreichen, müssen ebenfalls manuell entfernt werden.
- Der letzte Nachbearbeitungsschritt ist erforderlich, bei dem das Modell in einer UV-Kammer „gehärtet“ wird, um die Polymerisation abzuschließen.

6

Küpenphotopolymerisation /3

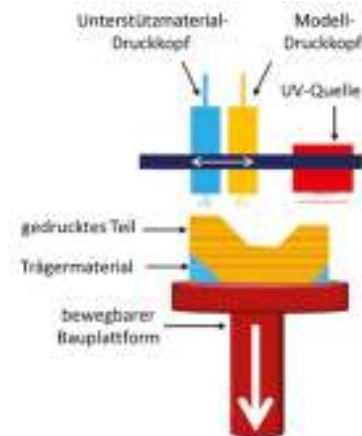
Scapula hergestellt mit 3D-Drucken (von unten nach oben aufgebaut)



7

Polyjet oder Multijet Drucken (PJP oder MJP)

auch bekannt als „Photopolymer Jetting (PPJ)“



Arbeitsprinzip:

- Photopolymertröpfchen werden auf eine Oberfläche ausgestoßen und dann durch UV-Licht gehärtet;
- Das Werkstück wird Schicht für Schicht gedruckt;
- Es kann mehrere Farben und Materialien in einem Druck kombinieren;
- Wachs oder Gel können auch für die Stützstruktur verwendet werden (leichtere Entfernung);

- **Beispiel:** Mundschutz mit harten und weichen Teilen und mit verschiedenen Farben.

Beste Auflösung:

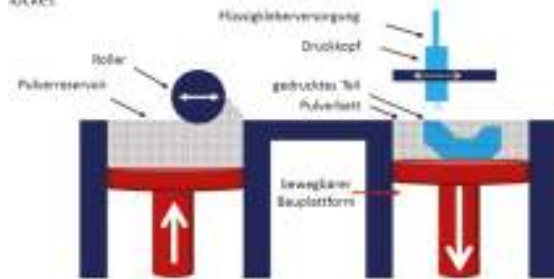
- X-Y-Z-Achse: 15 μm

8

Tintenstrahldrucken /1

Arbeitsprinzip:

- Ein Tintenstrahl wird verwendet, um kleine Tintentropfen von bindendem flüssigem Material auf ein Pulversubstrat (Gips, Keramik oder Harze) auszuwerfen;
- beginnt mit dem Verteilen einer dünnen Schicht des Substratpulvers auf der Bindungsplattform;
- flüssigkeitsbindendes Material wird auf das Pulver aufgetragen; Dies verbindet die exponierten Partikel miteinander und lässt die unbelichteten Partikel lockern.



9

Tintenstrahldrucken /2

Arbeitsprinzip (Forts.):

- eine Wärmebehandlung wird angewendet und die ungebundenen Pulver werden von der Bauplattform entfernt;
- Zum Drucken mehrerer Farbbjekte können verschiedene Farben des flüssigkeitsbindenden Materials verwendet werden;
- In einigen Studien wurde Keramiksuspension verwendet, um Zirkonoxid-Zahnrestorationen zu drucken.

Beste Auflösung:

- X-Y-Z-Achse: 50 µm

Anwendung:

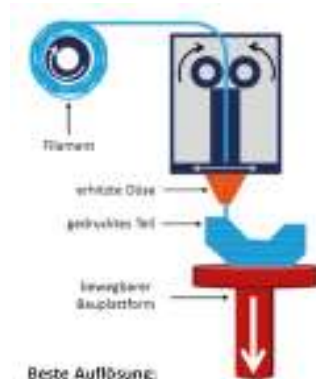
- Dentalmodelle,
- kieferorthopädische Diagnosemodelle,
- experimentell: Knochentransplantatmaterialien drucken



10

Fused Deposition Modeling (FDM)

auch bekannt als „Fused Filament Fabrication (FFF)“



Beste Auflösung:

- X-Y-Z-Achse: 60 µm

Arbeitsprinzip:

- Baut ein Objekt auf, indem ein Draht aus thermoplastischem Material durch eine beheizte Düse auf eine Bauplattform gelegt wird;
- Das 3D-Objekt wird schichtweise von unten nach oben erstellt;
- Die Düsenbewegung ist sowohl horizontal als auch vertikal gerichtet;
- Das thermoplastische Material wird teilweise in der Düse geschmolzen und erstarrt bei Ablagerung auf dem Gebäudeboden sofort innerhalb von 0,1 s;
- Die Schichten der abgeschiedenen Materialien können durch Verwendung chemischer Mittel oder durch Temperaturkontrolle miteinander verbunden werden.

11

Fused Deposition Modeling (FDM)



Creality Ender-3

Vorteil: Es ist keine Nachbearbeitung erforderlich.

Nachteile: niedrige Auflösung, langsame Geschwindigkeit, geringe Oberflächenqualität.

Beschränkt auf thermoplastische Materialien:

- PLA (Polymilchsäure),
- ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol),
- PVA (Polyvinylacetat),
- HIPS (schlagfestes Polystyrol).



PLA eignet sich besser für zahnärztliche Anwendungen, da es biokompatibler als ABS ist.

12

Powder Bed Fusion (PBF)

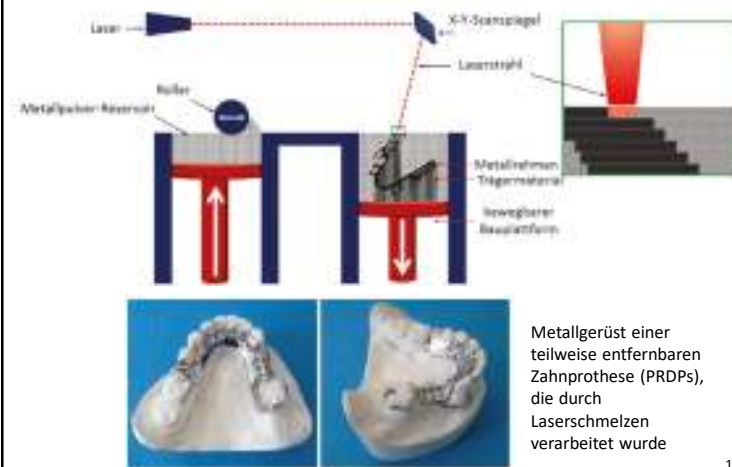
- **Lasersintern und Laserschmelzen:** Schicht für Schicht Aufbau;
- Hochleistungslaser schmilzt die untereinander liegenden Schichten aus verdichteten Pulvers;
- Der Laserstrahl wird auf einen durch die CAD-Datendatei definierten Bereich fokussiert, um die Pulverpartikel in diesem Bereich zu verschmelzen, während die verbleibenden Partikel nicht verschmolzen bleiben.

Selective Electron Beam Melting (SEBM)

- Ähnlich wie beim Lasersintern und Laserschmelzen, jedoch erfolgt die Verarbeitung **im Hochvakuum und mit einem Elektronenstrahl**;
- Ein anderer Ansatz von SEBM besteht darin, mit einem Elektronenstrahl Metalldraht auf einer Oberfläche zu schmelzen, um ein Objekt aufzubauen, das der FDM-Technik ähnelt, jedoch eher aus Metall als aus Kunststoff besteht.
- Anwendung:
 - poröse Gegenstände durch verschiedene Legierungen wie Kobalt-Chrom und Titan herzustellen,
 - maßgeschneiderte Implantate für die Kiefer- und Gesichtschirurgie.

13

Powder Bed Fusion (PBF)



Metallgerüst einer teilweise entfernbaren Zahnprothese (PRDPs), die durch Laserschmelzen verarbeitet wurde

14

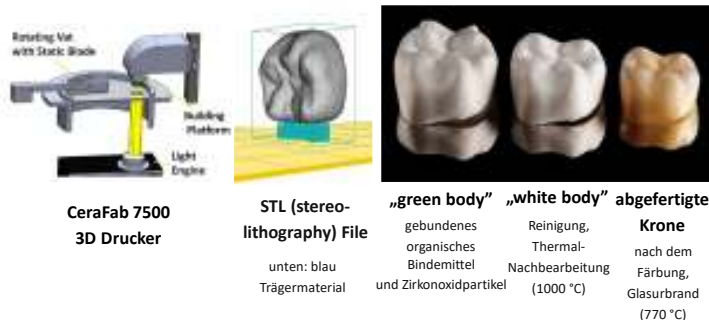
Beispiel: ZrO_2 Zahnimplantat

3D Printing of Zirconia-What is the Future?

J Schweizer¹ - D Bomze² - M Schwentenwein²

Current Oral Health Reports (2019) 6:339–343
<https://doi.org/10.1007/s40496-019-00243-4>

- Biegeestufigkeit
- Emaille: 200 Mpa
 - Porzellan: 120-190 Mpa
 - Zirkon-dioxid: 1200 MPa



15

3D Drucktechnologie - Zusammenfassung

Methode	Aggregatzustand	Material	Vorteile	Nachteile	Zahnmed. Anwendungen
SLA	flüssig	Polymere, PLA, PEG-DMA, PPF, PTMC, PMMA, Keramik, PLGA/TCP)	Hohe Genauigkeit, glatte Oberfläche, hohe Dichte, niedrige Rohstoffkosten	Hohe technologische Kosten, begrenzte Stabilität, Nachbehandlung erforderlich	Zahnmodelle, chirurgische Visiere, Bisschienen, provisorische Kronen oder Brücken
Polyjet/Multijet	flüssig	Harze, Silikon	hohe Präzision, eine breite Palette an Materialien und Farben	teure Rohstoffe	Dentalmodelle, Bisslöffschienen usw.
Inkjet	Pulver	Keramik Suspension, Gips	Niedrige Rohstoffkosten, große Auswahl an Rohstoffen und Farben	begrenzte Stabilität, schlechte Genauigkeit, raue Oberfläche	Zahnmodelle, Keramikprothesen, Knochen-Transplantate
FDM	Filament	Polymere: PLA, ABS, PC, PCL, PPSU	Niedrige Rohstoffkosten, stabile Struktur, große Auswahl an Rohstoffen und Farben	begrenzte Stabilität, raue Oberfläche, nur thermoplastische Materialien können verwendet werden	chirurgische Visiere, Bisschienen, Prothesen

16

**Vielen Dank
für die
Aufmerksamkeit!**

