



# Generative Fertigungsverfahren und deren Geschichte (SLS/SLM, MJM)

Eric Bergter

Hamburg, den 11.04.2016

# Generative Fertigungsverfahren und deren Geschichte - Inhaltsverzeichnis

- › Einführung
- › Überblick der Geschichte des 3D Drucks
- › Von der Idee zum 3D Model
- › Selektives Lasersintern
- › Selektives Laserschmelzen
- › Multi-Jet Modeling
- › Quellen und Links
- › Diskussion

# Einführung - Begriffe

- 3D-Druck: generatives Fertigungsverfahren, additive Fertigung oder Rapid Prototyping
- Pulver: Ausgangsmaterial welches zum Drucken verwendet wird
- Sintern: Molekulare Verschmelzung von Materie

# Überblick der Geschichte des 3D Drucks – Wie alles begann

1981 Hideo Kodama of Nagoya: Municipal Industrial Research Institute:  
Plastik Model

- 1984 Erster 3D Drucker im SLA verfahren
- 1986 Patent Stereolithography: Charöes W. Hull  
→ Gründung 3D Systems



*Bild: Chuck Hull Mittwoch, 9. März 1983  
20:39 MST*

[http://www.grassrootsengineering.com/  
blog/2013/03/08/wednesday-march-9th-  
1983-839pm-mst/](http://www.grassrootsengineering.com/blog/2013/03/08/wednesday-march-9th-1983-839pm-mst/)



Bild 1983 „SLA-1“: <http://theinstitute.ieee.org/img/11wTiTechHistoryf21stPrototype1983-1415047331410.jpg>

# 1989-1992

- 1989 SLS: Carl Deckard & Professor Joa Beaman (University of Texas)  
FDM: Scott Crump → Stratasys
- 1992 Erste Markt fertige Stereolithography Maschine (SLA) von 3D Systems:  
Charles W. Hull



*Bild: Erster Kommerzieller 3D Drucker  
von 3D Systems  
<http://www.cs.cmu.edu/~rapidproto/students.02/sstille/project2/machine.jpg>*

# 1999-2002

- 1999 Wake Forest Institute für Regenerative Medizin: Organ Druck von Zellen des Besitzers
- 2002 Erste Funktionierende Niere, die in Tieren Blut Filtern kann.

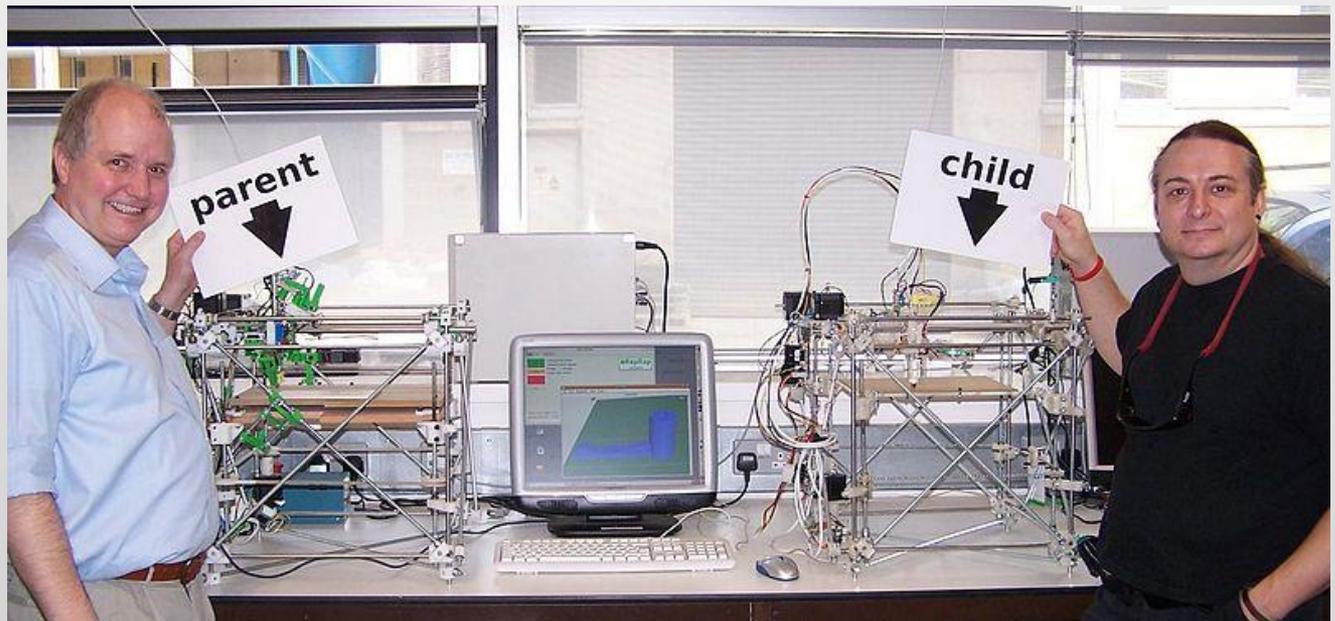


*Bild: Ersten Organe und künstliche Knochen*  
[http://www.wipo.int/export/sites/www/wipo\\_magazine/images/2013\\_o6\\_art\\_4\\_1.gif](http://www.wipo.int/export/sites/www/wipo_magazine/images/2013_o6_art_4_1.gif)

# 2005-2006

- 2005 ReoRap: Dr. Adrian Bowyer OPEN-SOURCE, 3D Drucker der sich fast vollständig selber drucken kann
- 2006 SLS Typ Drucker werden lukrativ: Massenhafte Spezial Anfertigungen werden möglich.

*Bild: Adrian Bowyer (links)  
und Vik Olliver (rechts)  
14:00 hours UTC am 29 Mai  
2008 in der Bath University in  
England  
<http://blog.reprap.org/>*



# 2008-2009

- 2008 ReoRap veröffentlicht Darwin, der erste Drucker der sich zuverlässig und einfach, durch das drucken der eigenen Bauteile, duplizieren lassen kann.
- Die erste Person läuft auf einem 3D gedruckten Prothese eines Beines. Es ist jetzt möglich speziell angepasste Prothesen zu drucken.
- 2009 MakerBot verkauft open-source Hardware, die es erlaubt eigene 3D Drucker zu bauen.

*Bild: Veröffentlicht 8. März  
2008  
[http://www.coroflot.com/qua\\_keroats/nike-prosthetic](http://www.coroflot.com/qua_keroats/nike-prosthetic)*



# 2011

- University of Southampton: entwirft und druckt ein Flugfähiges Flugzeug



*Bild: DECODE*  
[http://www.southampton.ac.uk/engineering/research/projects/unmanned\\_vehicles.page](http://www.southampton.ac.uk/engineering/research/projects/unmanned_vehicles.page)

# 2012

- Gründung: i.materialise, erstes Unternehmen das auf anfrage Gold- und Silberschmuck drucken kann.



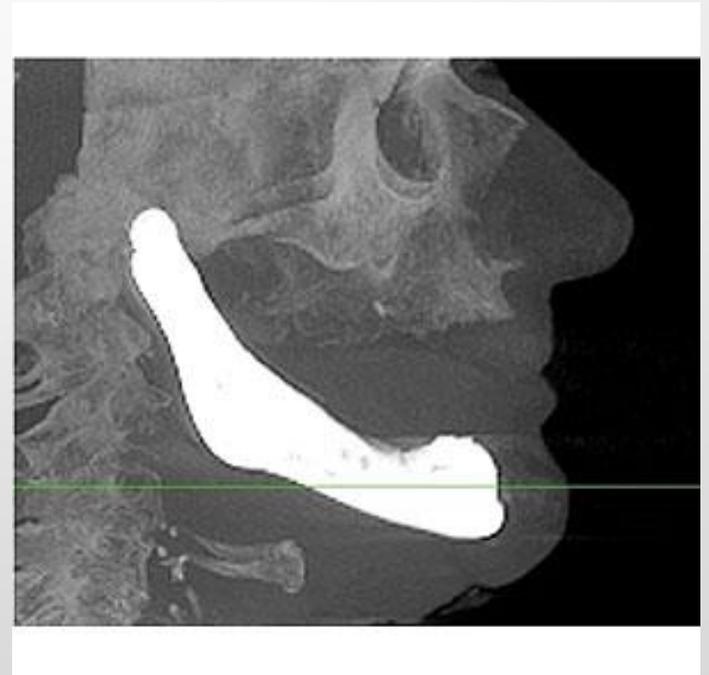
*Bild: <https://3dprint.com/wp-content/uploads/2016/02/jew5.jpg>*

# 2012

- 2012 Erster 3D gedruckter Unterkiefer, von LayerWise, wird in den Niederlanden implantiert

*Bild:*

*<http://www.tctmagazine.com/downloads/79/download/art14828.jpg?cb=1a3f4eddbf35d18af7e065cda3d1250&w=220&ar=>*



# 2013

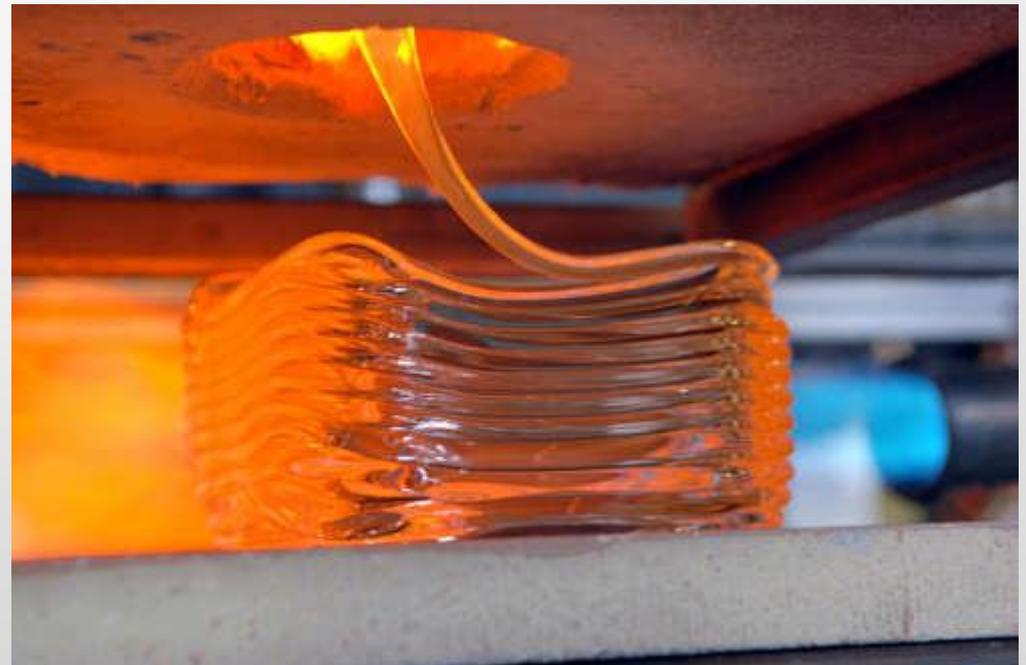
- 3D gedruckte Waffe (defcad.org) erzeugt großes Aufsehen



Bild:  
<https://defdist.org/>  
<http://defdist.tumblr.com/>

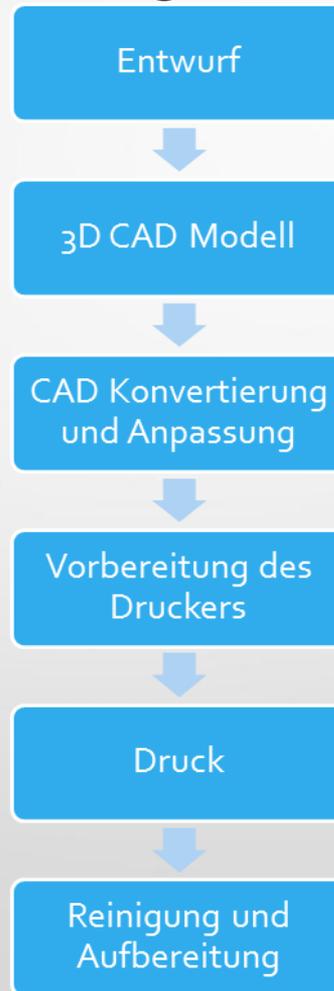
# 2014-2016

- 2014 Patente von SLS laufen aus
- 2015 Es ist möglich Glas zu drucken (Projekt G3DP)



*Bild:*  
<http://www.technoacuity.com/wp-content/uploads/2016/01/3d3d.jpg>

# Prozess: Von der Idee zum 3D Objekt

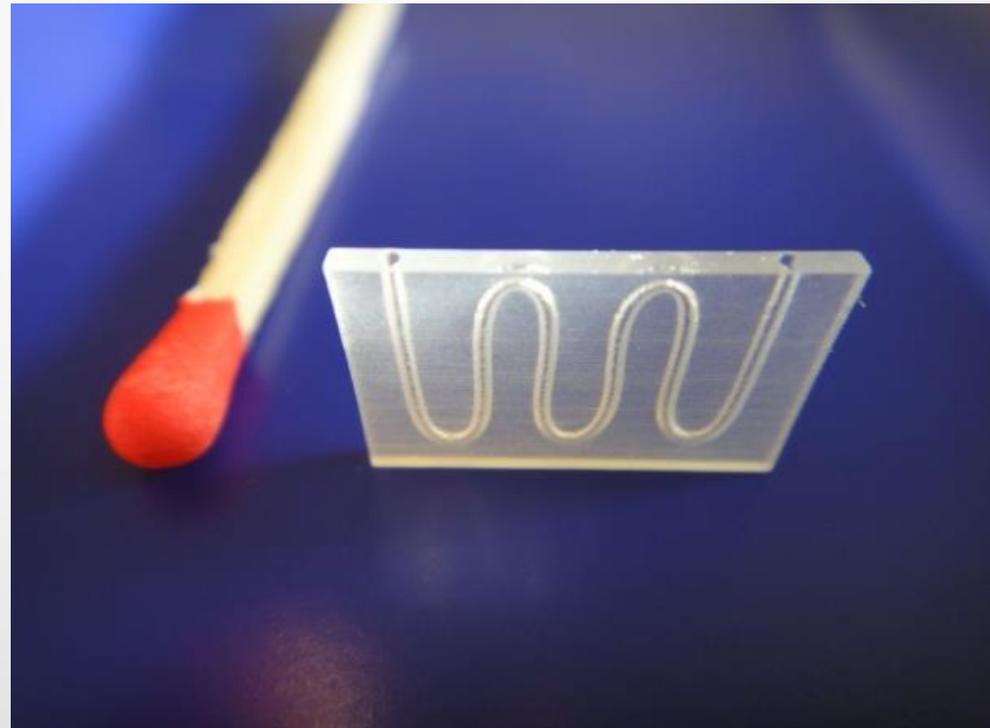


*Bild:  
Private Aufnahme vom 5.4.2016*



# Selektives Lasersintern (SLS)

- Sinterverfahren:  
Werkstoff  
überschreite nicht  
den Schmelzpunkt
- Verschmelzung auf  
Molekularer Ebene
- Geschwindigkeit  
minimal beeinflusst  
vom Volumen des  
Objektes



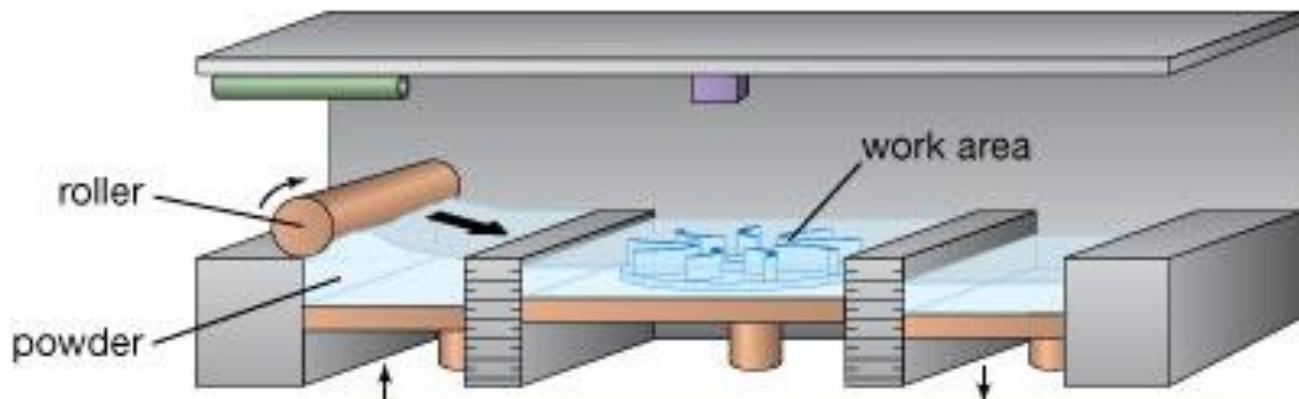
# Selektives Lasersintern (SLS)

- Materialien: Polyamid, Plastik, Nylon, Glass-Nylon, Aluminium, Carbon Fiber...
- Veredelung und Bearbeitung möglich
- Entfernung von Pulverrückständen → Fertiges Model
- keine Rohstoffabfälle

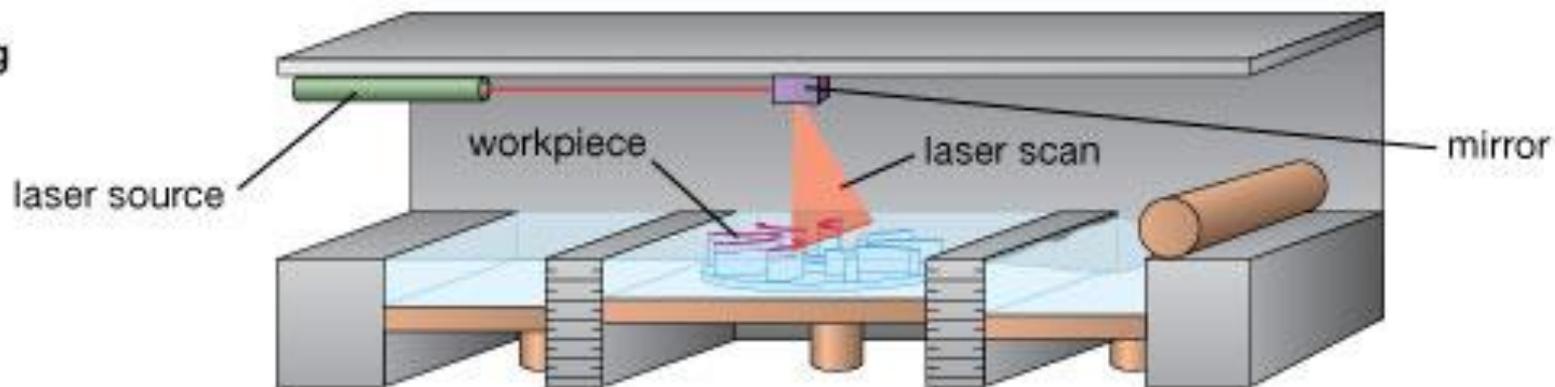
# Direktes Metall-Lasersintern (DMLS)

- SLS für Metall Objekte
- *“Some people use the terms interchangeably, others maintain that there are sharp differences between them and others think that it is just a bunch of Germans who used to all be friends playing word games in English.”*  
--Joris Peels, ehemaliger Mitarbeiter von Shapeways und i.materialise

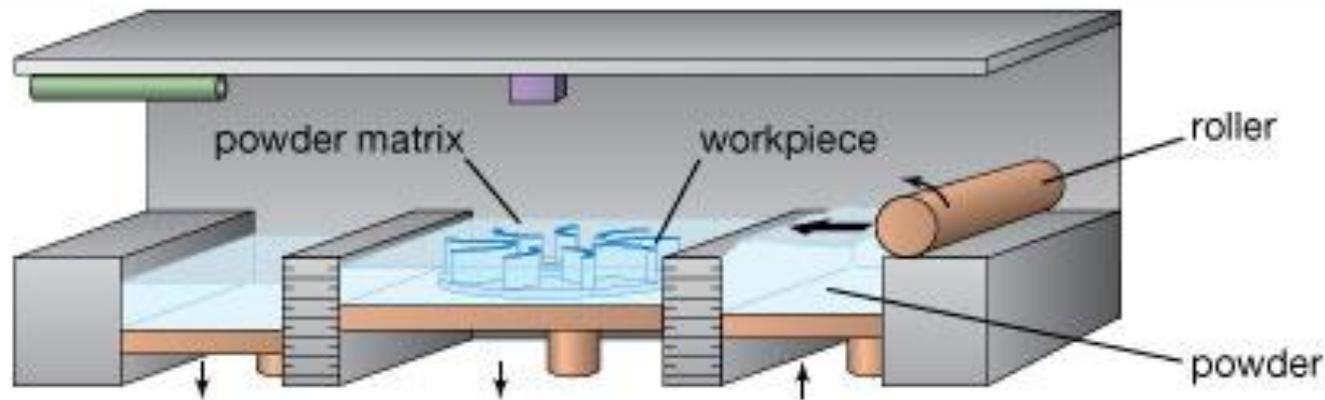
### powder layering



### laser sintering



### powder layering





Es folgt eine 2min  
Videopräsentation...

D2W Multi Colour 3D Printer

# Selektives Laserschmelzen (SLM)

- Fast identisch zum DMLS verfahren
- Vollständige Schmelzung des Werkstoffes
- Materialien: Titan, Aluminium, Kobalt-Chrom, Nickelbasislegierungen, Magnesiumlegierungen, fast alle Metalle reinen möglich

# SLM Vorteile

- Höhere Dichte
- Höhere Stabilität
- Komplexe Teile in Luftfahrt → Leichter, sicherer, günstiger
- Formel-1 Motoren 3D gedruckt

# Daten

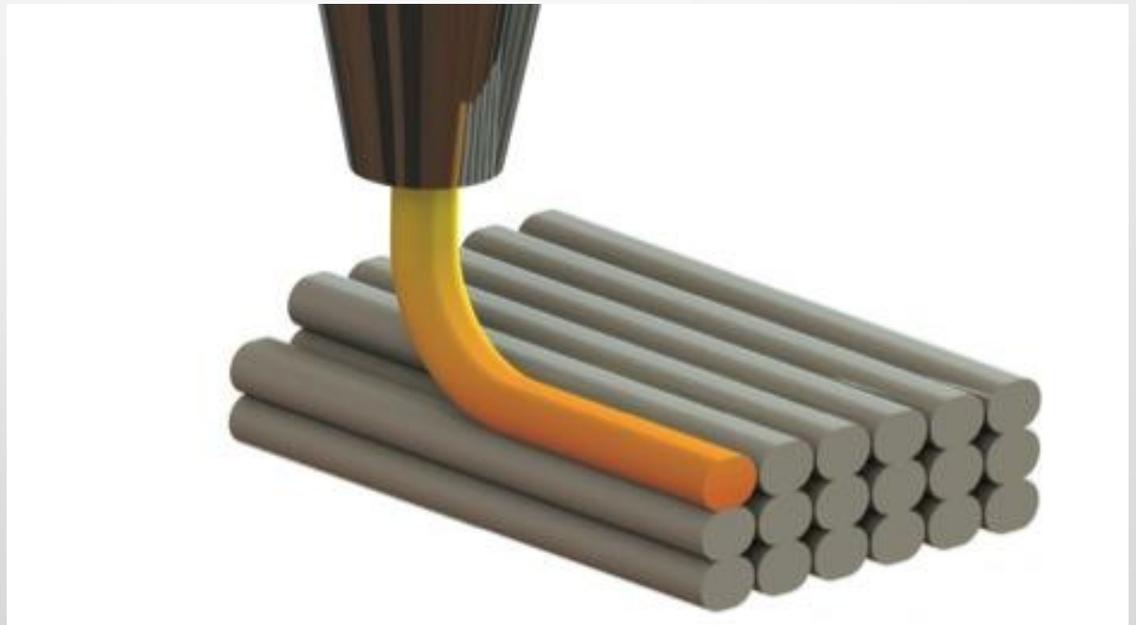
- Ebenen mit 0.1mm
- Geschwindigkeiten von >2,8cm/h
- 236 x 212 auf 1cm
- Dünnssten teile: 0.5mm

## ProJet CJP 660Pro

<b>Build envelope capacity (W x D x H)</b>	10 x 15 x 8 in (254 x 381 x 203 mm)
<b>Color</b>	Full CMYK
<b>Resolution</b>	600 x 540 DPI
<b>Build material</b>	VisiJet PXL
<b>Layer thickness</b>	0.004 in (0.1 mm)
<b>Min. feature size</b>	0.02 in (0.5 mm)
<b>Max. vertical build speed</b>	1.1 in/hour (28 mm/hour)
<b>Draft printing mode (monochrome)</b>	Yes
<b>Number of print heads</b>	5
<b>Number of jets</b>	1520
<b>Material recycling</b>	Yes
<b>Automatic build platform cleaning</b>	Yes
<b>Integrated part cleaning</b>	Integrated

# Multi-Jet Modeling (MJM)

- Druckkopf ähnlich zum Tintenstrahldrucker
- Benötigt Stützgeometrie bei Fertigung
- Grundprinzip von PolyJet Verfahren



Quelle:  
<http://blog.capinc.com/2014/12/design-for-3d-printing-success/>

# Multi-Jet Modeling

- Materialien, flüssig: Hartwachse / Thermoplaste / Kunststoffe
- Aushärtung: chemischer Prozess, UV Licht Polymerisierung.
- Es treten Materialabfälle auf
- Nachteil: Kleinteile empfindlich zu Verformungen



# Multi-Jet Modeling: Pulver Substrat

- Materialien: Metall- oder Glaspulver...
- Verklebung durch Tintenstrahlverfahren
- Pulver Substrat dient als Stützstruktur
- Sintern zum zusätzlichen aushärten → Klebstoff verdampft → Metall: Dichte mit Bronze erhöhen
- Wachs als Stützstruktur

# PolyJet

- Mehre Druckköpfe
- In einem Druck unterschiedliche Materialien
- Farben möglich
- Gel als Stützstruktur
- Schneller als MJM

# Verfahren im Vergleich

	SLM/SLS	MJM
Preis	hoch	mittel-hoch
Geschwindigkeit: klein	hoch	hoch
Geschwindigkeit: groß	hoch	mittel
Farben	ja	Begrenzt auf verwendetes Material
Material	vielseitig	begrenzt
Präzision	sehr hoch	mittel
Giftig	nein	nein
Unterstützendes Material	wiederverwendbar	recyclebar
Aufbereitung des Objekts	Reinigung + evtl. Veredeln / verstärken	Reinigung + evtl. Veredeln / verstärken
An vorhandenen Objekten „anbauen“	ja	unter Voraussetzungen

# Preise

- MOD-t 3D printer: ~ 250\$ FFF (*Fused Filament Fabrication / FDM*)
- ProJet 660Pro: > 60.000\$ SLS
- ProJet HD 3500: > 90.000\$ MJM
- Objet500 Connex3: >333.000\$ PolyJet
- LUMEX Avance-25: >850.000\$ SLS
- uPrint SE Plus: > 18.000\$ FDM (*Fused deposition modeling*)
- 3DLPrinter: > 7.800\$ DLP (*Digital Light Processing*)

Preise basierend auf <http://www.3ders.org/>

## Links:

Geschichte, Anfang: <http://www.me.utexas.edu/news/news/selective-laser-sintering-birth-of-an-industry>

Rapid Prototyping (stand 2007): <http://www.ulrich-rapp.de/stoff/fertigung/rapidpro.htm>

UAV: <http://www.southampton.ac.uk/~decode/>

Materialien und Infos zu Preisen: <http://www.projet-3d-drucker.de/>

DMLS: [https://laseroflove.files.wordpress.com/2009/10/dmls\\_history.pdf](https://laseroflove.files.wordpress.com/2009/10/dmls_history.pdf)

SLM: [http://www.stage.slm-solutions.com/index.php?low-melting-alloy-applications\\_de](http://www.stage.slm-solutions.com/index.php?low-melting-alloy-applications_de)

SLM: <http://www.pjoes.com/pdf/24.3/Pol.J.Environ.Stud.Vol.24.No.3.1283-1290.pdf>

Simple 3D Scanner: <http://www.instructables.com/id/GotMesh-the-Most-Cheap-and-Simplistic-3D-Scanner/>

Reprap: <http://reprap.org/>

Buch: Rapid Manufacturing: An Industrial Revolution for the Digital Age (2006)

<http://onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/0470033991>

<https://en.wikipedia.org>: Selective laser melting, Selective laser sintering, Multi Jet Modeling

<https://www.additively.com/de/lernen/stereolithography>



Diskussion: Noch  
Fragen?



# Generative Fertigungsverfahren und ihre Geschichte (FDM, SLA, CLIP)

Jonas Menzel

20. April 2016

# Gliederung

- Allgemeines
  - Entwicklung
  - Anwendungsgebiete (Überblick)
- Verfahren
  - FDM
  - SLA
  - CLIP
- Ausblick

# Allgemeines

- Additive Fertigungsverfahren
  - 3D-Druck
- Substraktive Fertigungsverfahren
  - z.B. Fräsen, Drehen, Bohren

# Allgemeines - Entwicklung

manuelle Erstellung  
von Prototypen

erste generative  
Fertigungsmethoden

Rapid Prototyping

bessere  
Fertigungsverfahren

Rapid Manufacturing

Direct Manufacturing

# Allgemeines - Anwendungsgebiete

- Medizin
- Forschung
- Kunst und Mode
- Luft- und Raumfahrt
- Lebensmittel
- Produktion
- Baubranche

# FDM

- Fused Deposition Modeling
  - entwickelt vor ca. 20 Jahren von Stratasys
  - Kunststoff erhitzen, extrudieren, auftragen
  - Patent lief 2005 aus
- starke Entwicklung und steigendes Interesse

# FDM

## FDM – Schmelzschichten

Druckkopf mit einer beheizten Düse

Materialeinzug durch angetriebene Rollen

Druckkopf mit beheizter Düse

Heizspirale mit Extrusions Düse

Schichtweise aufgeschmolzenes Bauteil mit einfacher Geometrie

Filamentspule mit „aufgerolltem Baumaterial“ normalerweise ABS oder PLA

X-Achse

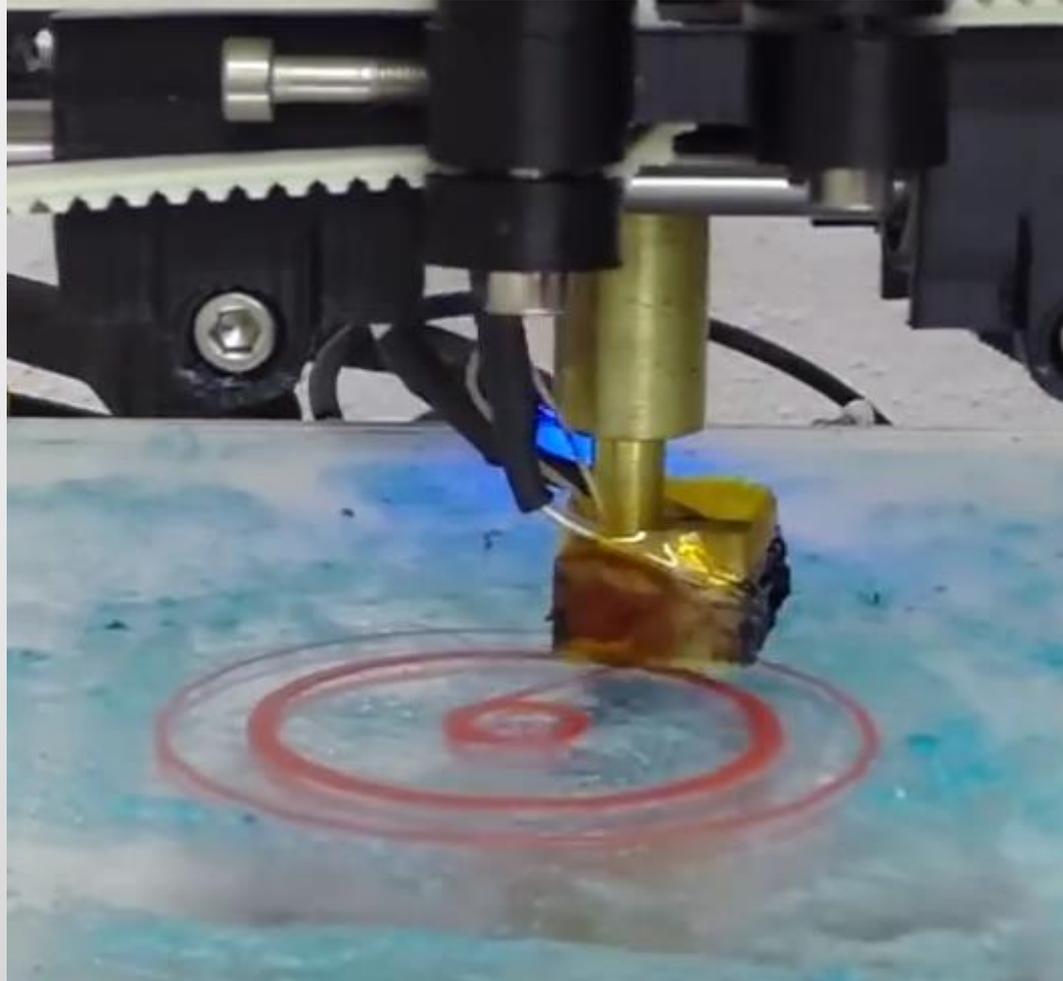
Y-Achse

Z-Achse

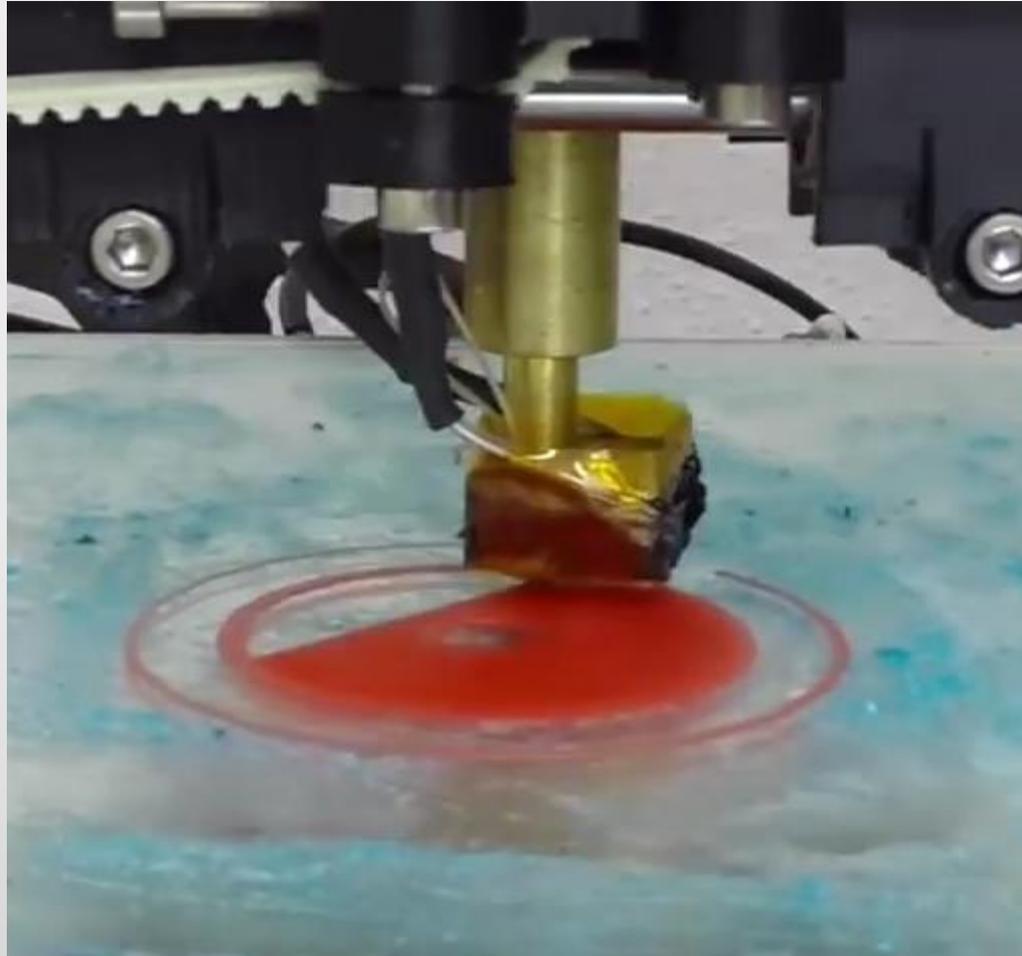




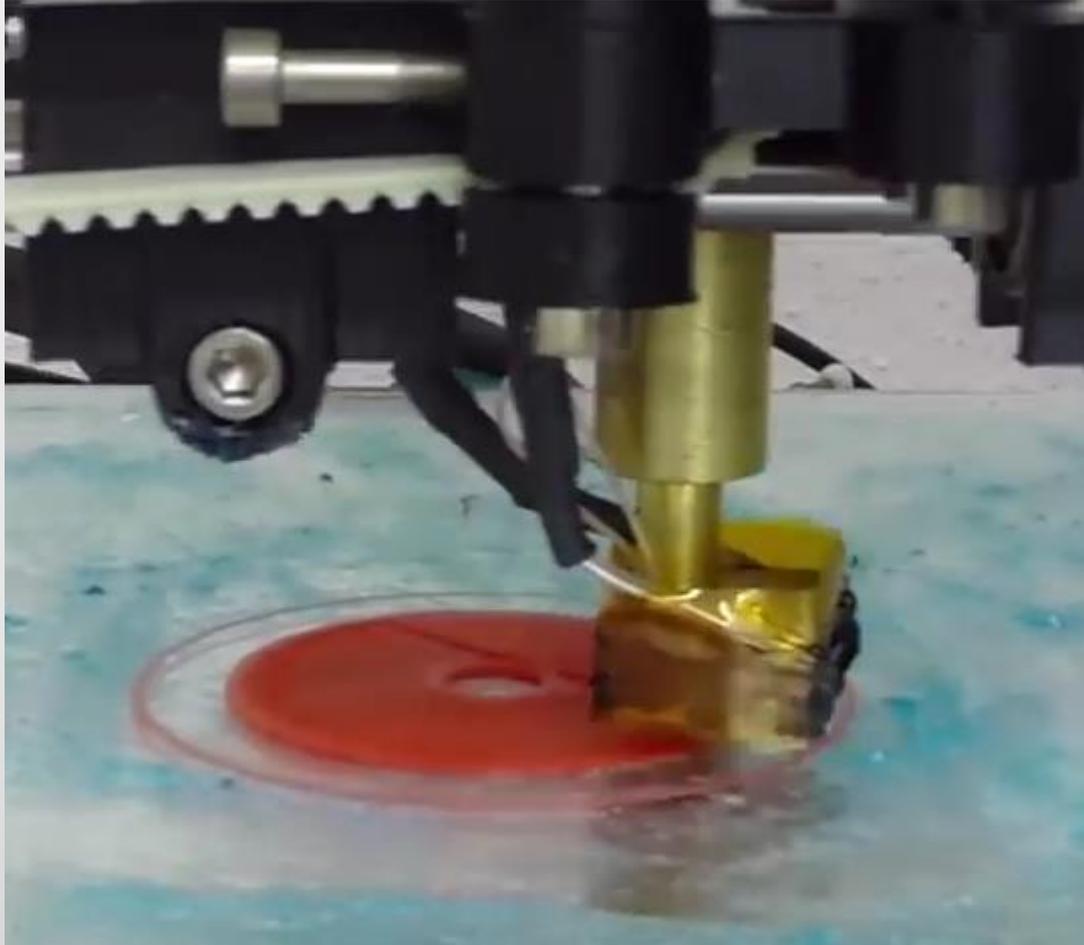
# FDM



# FDM

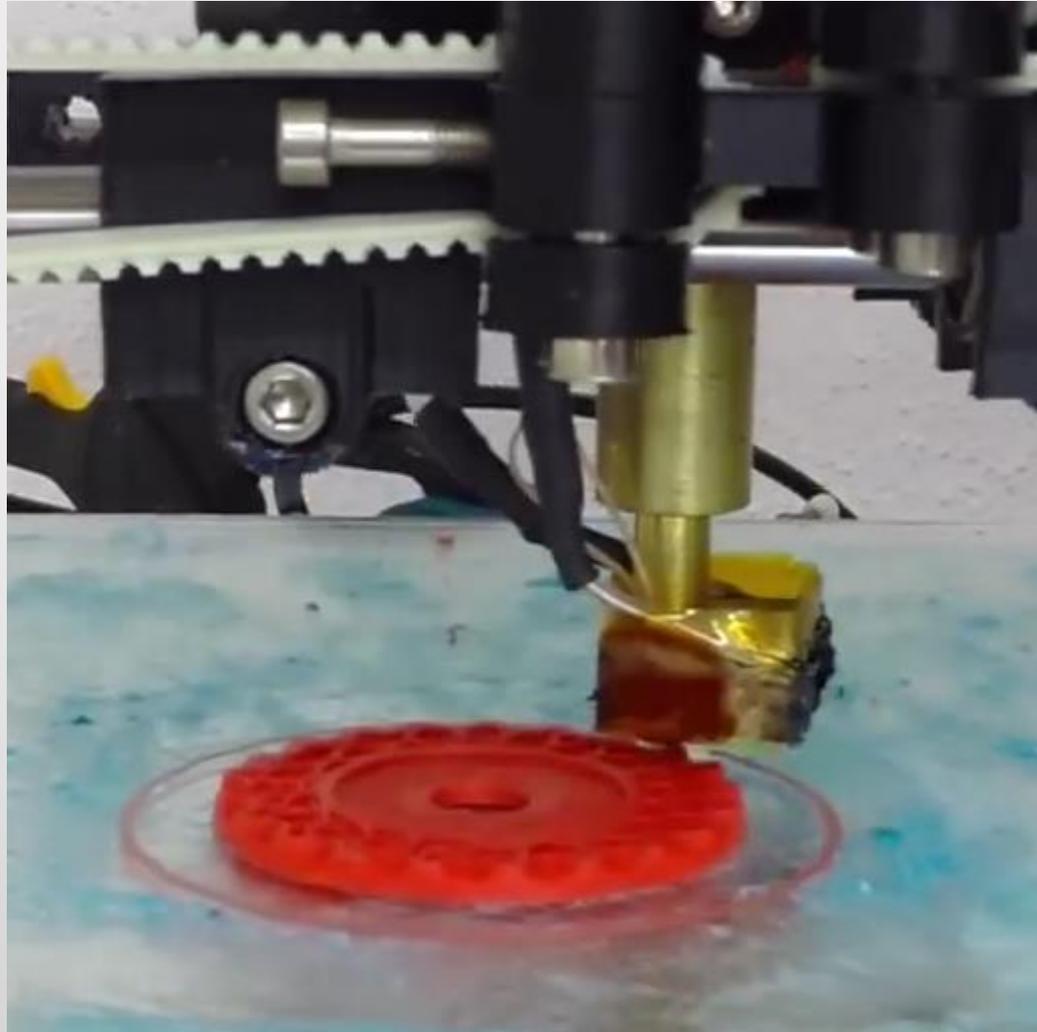


# FDM



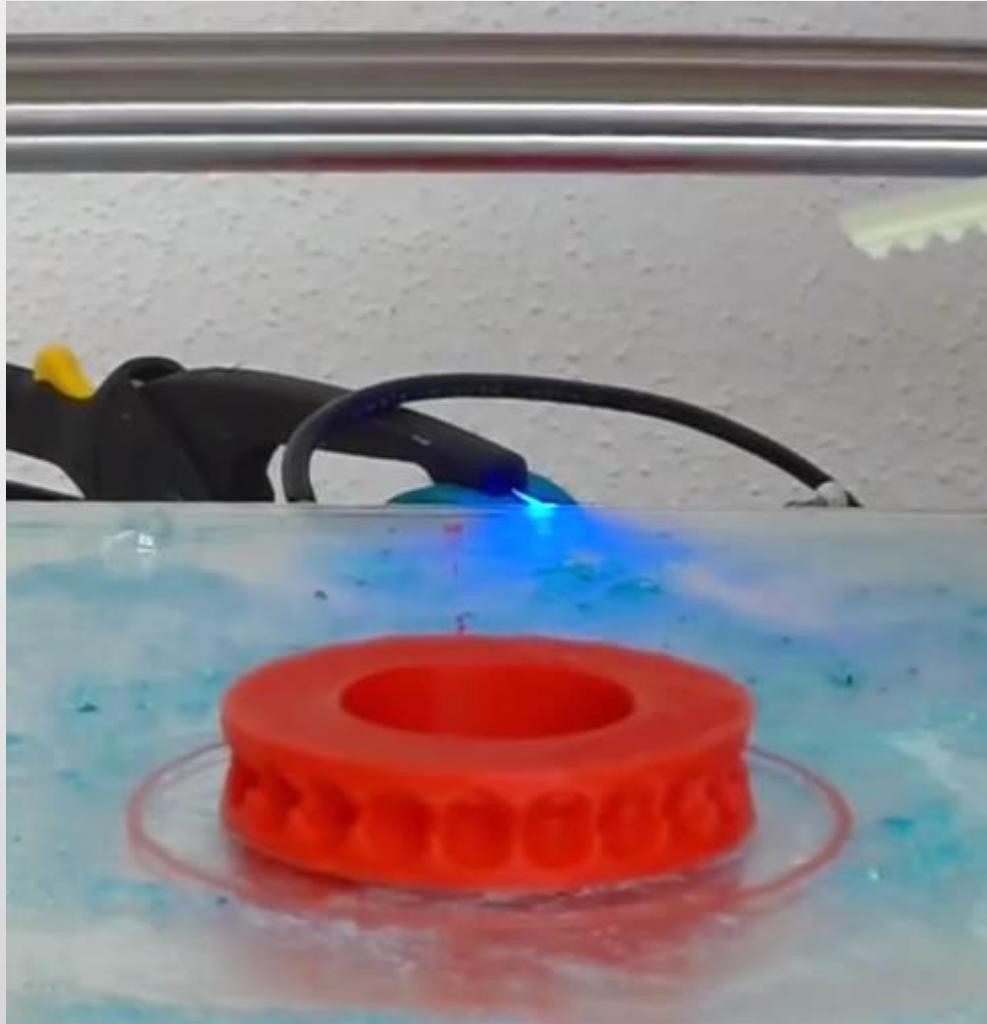
Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=BvNvEMzhhOI>, 12.04.2016 um 22:18Uhr

# FDM



Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=BvNvEMzhhOI>, 12.04.2016 um 22:18 Uhr

# FDM



Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=BvNvEMzhhOI>, 12.04.2016 um 22:18<sup>46</sup>Uhr

# FDM

- Kunststoff erhitzen bis halbflüssig
- Auftragen entlang der berechneten Wege
- ggf. Stützmaterial
- Aushärtung durch Abkühlen
- Nachbearbeitung

# FDM - Material

- i.d.R. PLA (Polylactid) oder ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol)
- PLA
  - biologisch abbaubarer Kunststoff (Biopolymer)
  - aus Maisstärke oder Zuckerrohr hergestellt
- ABS
  - hohe Festigkeit und Robustheit
  - Nachbearbeitung besser möglich

# FDM - Vorteile

- Sauber und günstig, verwendbar in Büroräumen oder Privathaushalten
- komplexe Strukturen und Hohlräume möglich
- relativ einfach zu handhaben
- für kleine bis mittlere Objekte

# FDM - Nachteile

- lange Druckzeiten
- relativ ungenau
- Überhänge nur bedingt möglich  
→ Stützmaterial nötig
- Objekte nur bedingt belastbar
- Oberflächen gerillt

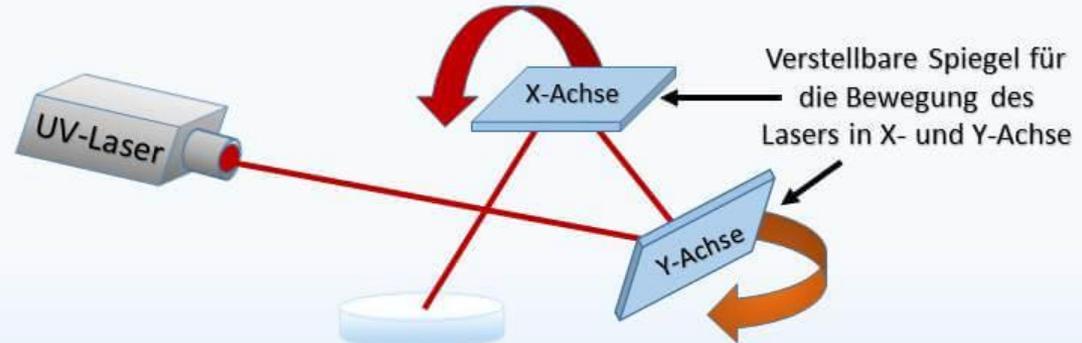
# Stereolithografie (SLA)

- erstes kommerziell verfügbares Verfahren
- Entwickelt von 3D Systems
- am weitesten entwickelt
- Aushärten von flüssigem Kunststoff durch UV-Belichtung mit Laser

# SLA

## SLA Stereolithographie

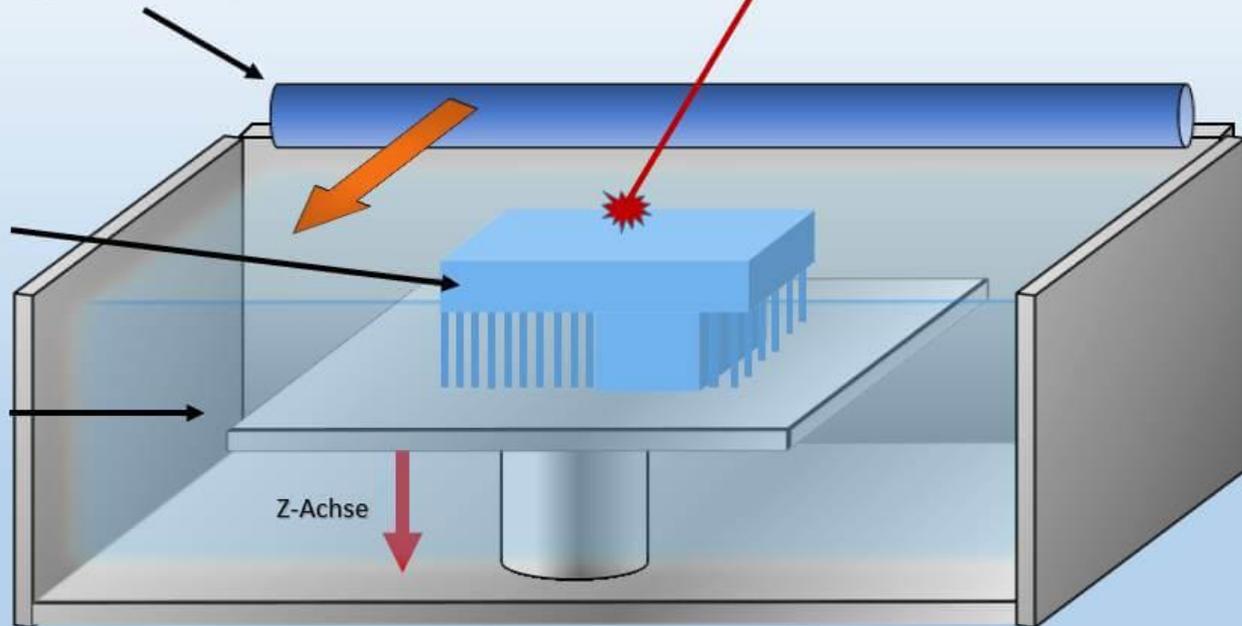
Flüssiges Harz wird durch einen Laser verfestigt



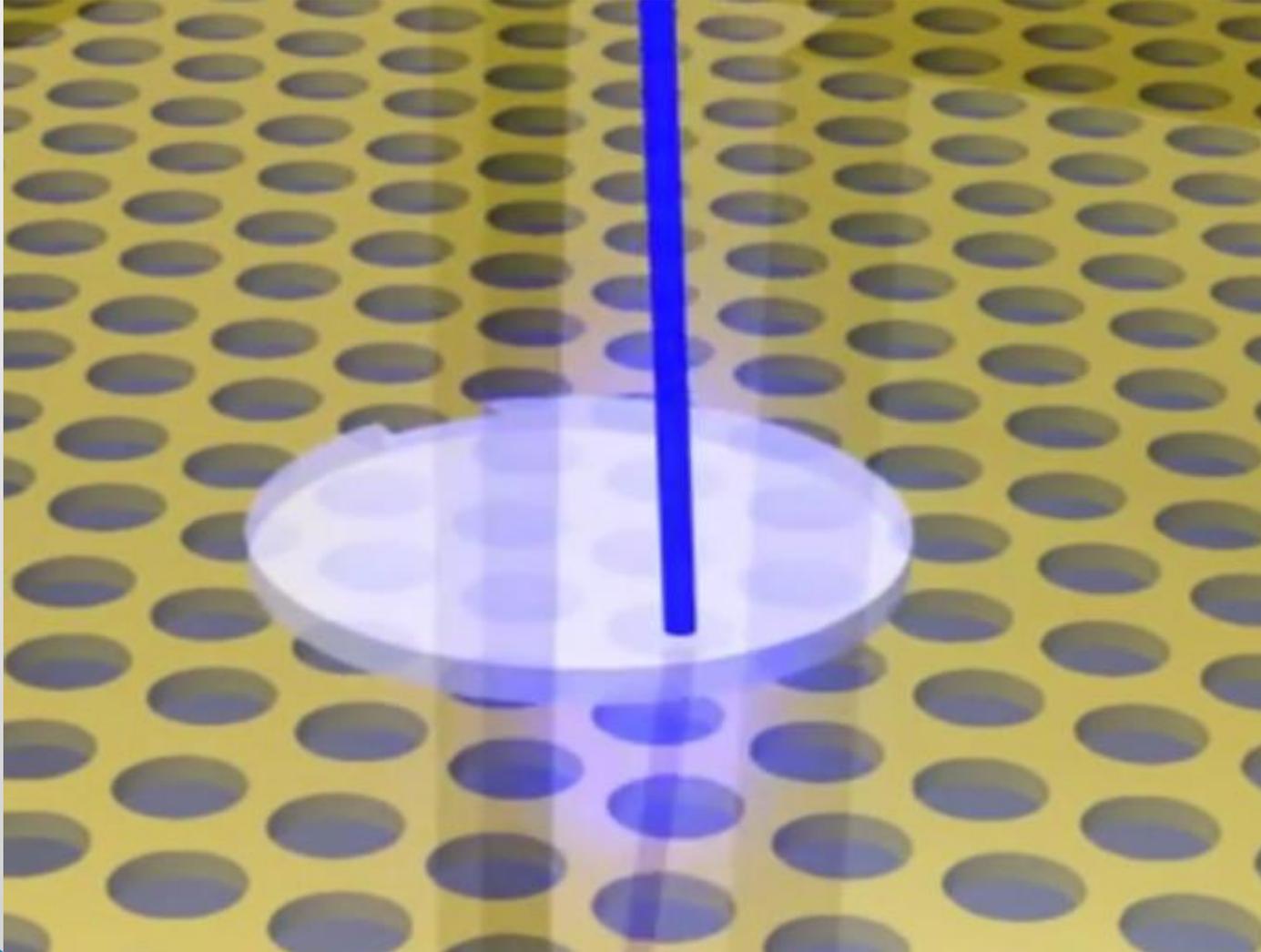
Rakel für den gleichmäßigen Harzauftrag

Bauteil mit Stützstruktur welche nach dem Bauvorgang entfernt werden muss

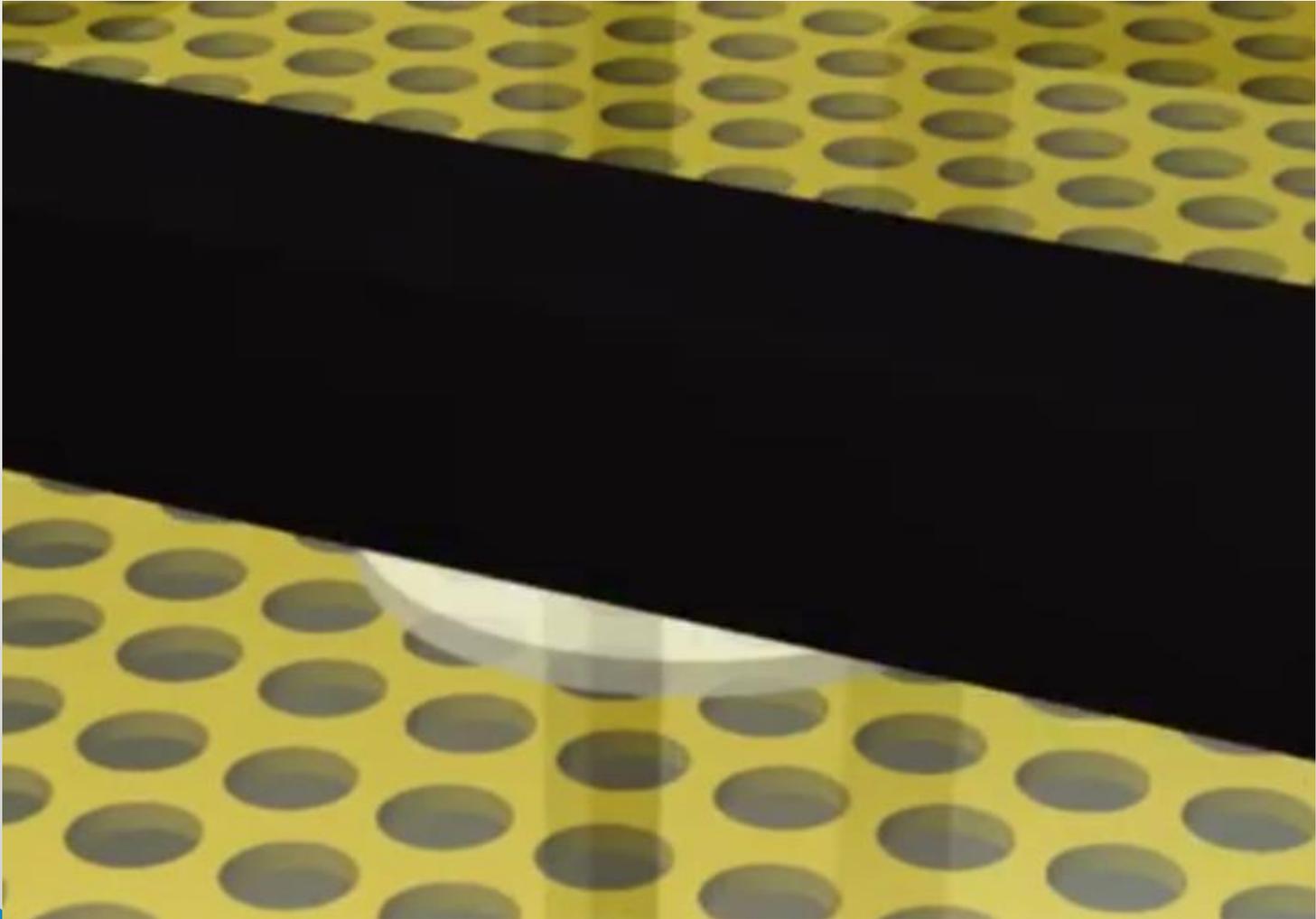
Behälter mit Harzflüssigkeit und Verfahrbarer Bauplattform In Z-Achse



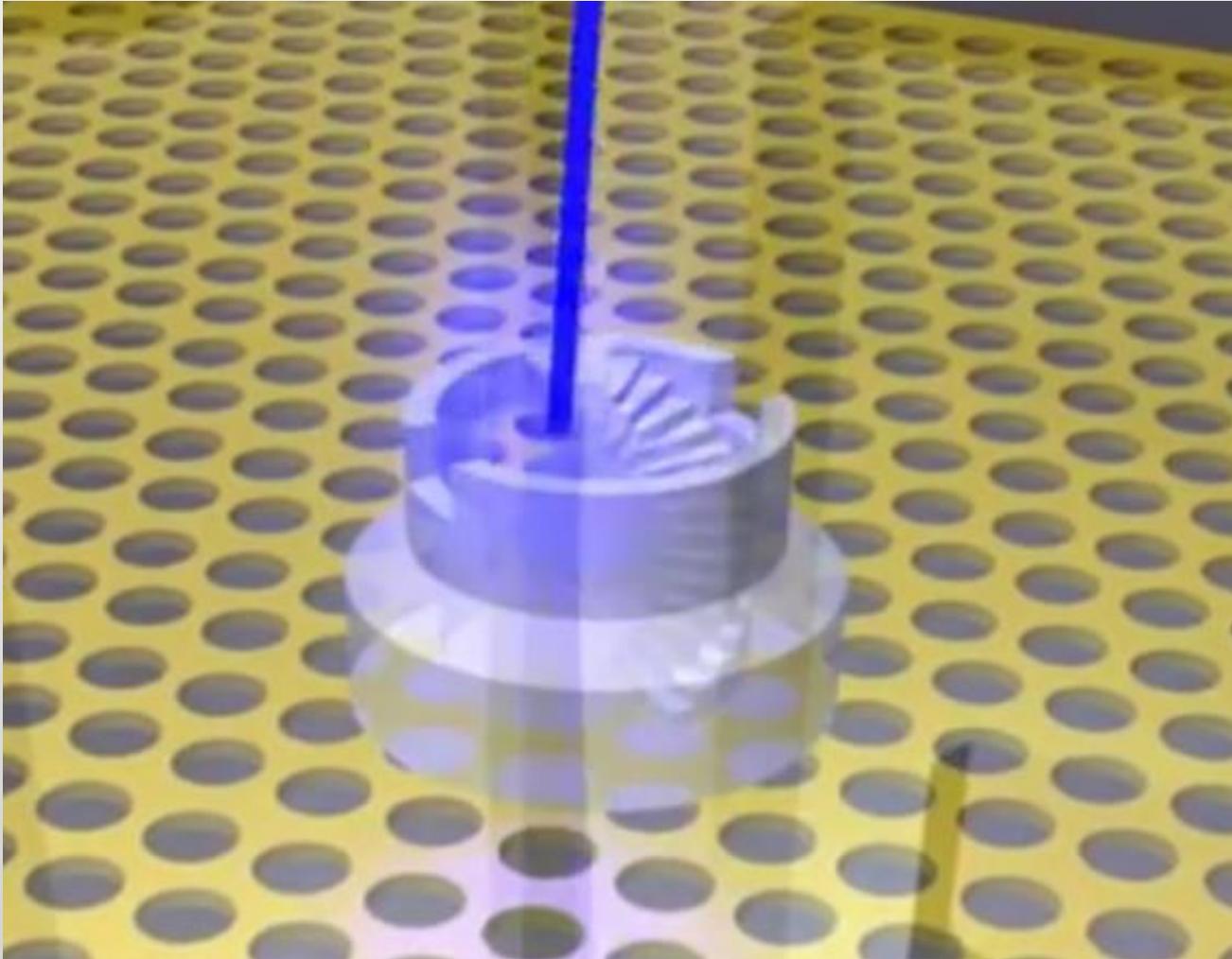




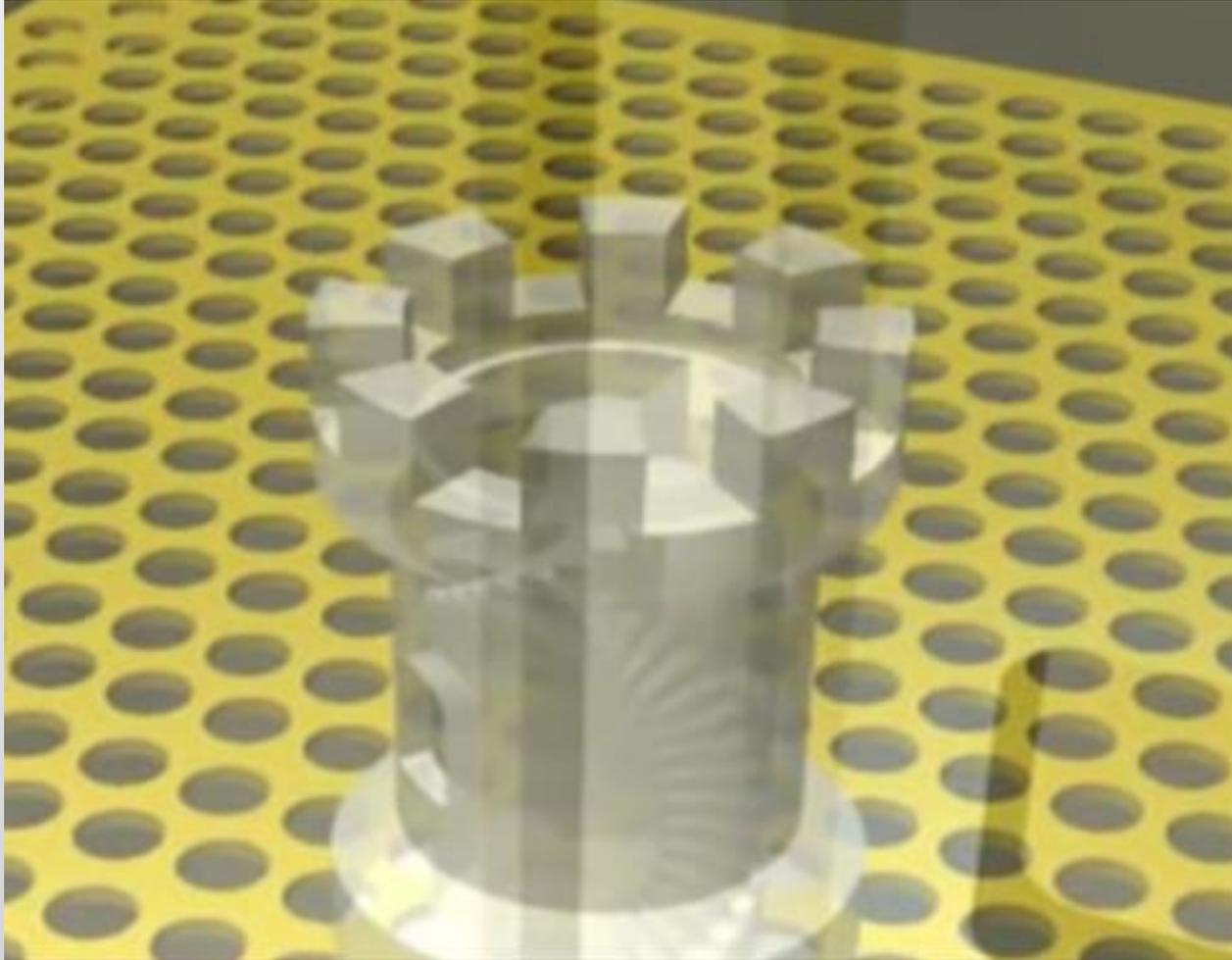
# SLA



# SLA



# SLA



# SLA



# SLA

- flüssiges Kunststoffbad
- Kunststoff wird an gewünschten Stellen von Laser ausgehärtet
- Plattform wird ein Stück in das Bad abgesenkt (eine Schichtstärke)
- Wischer verteilt neue Kunststoffschicht gleichmäßig
- fertiges Bauteil wird gereinigt und in Ofen ausgehärtet

# SLA - Material

- Flüssige Kunststoffe und Harze, welche unter UV-Lichteinwirkung aushärten (photosensitiv)

# SLA - Vorteile

- sehr weit entwickelt
- hohe Genauigkeit
- gute Qualität der Oberflächen

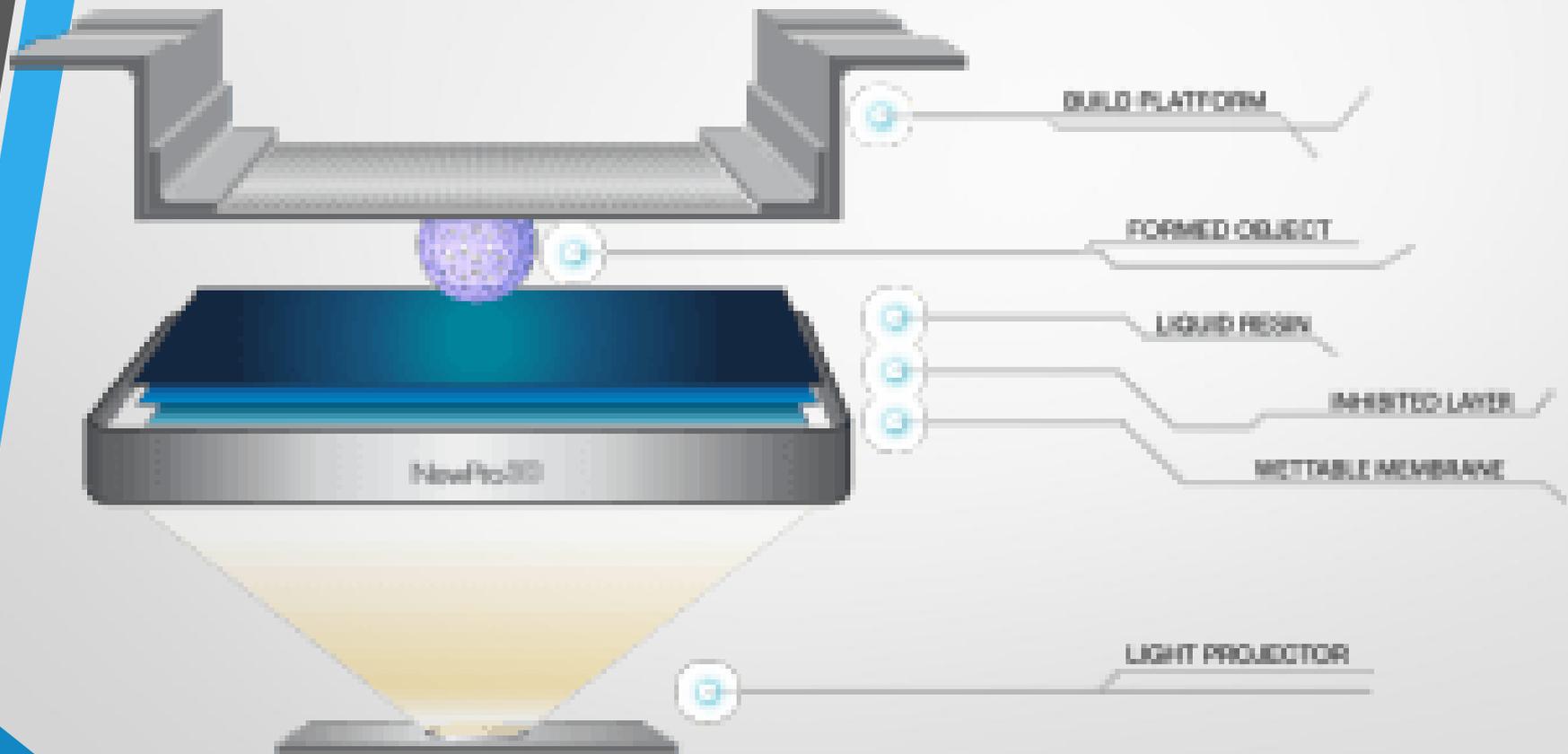
# SLA - Nachteile

- Material hitzeanfällig
- hohe Fertigungskosten
- langsamer Druck
- Fachkenntnisse notwendig
- schwierige Handhabung
- Insgesamt für private Zwecke ungeeignet

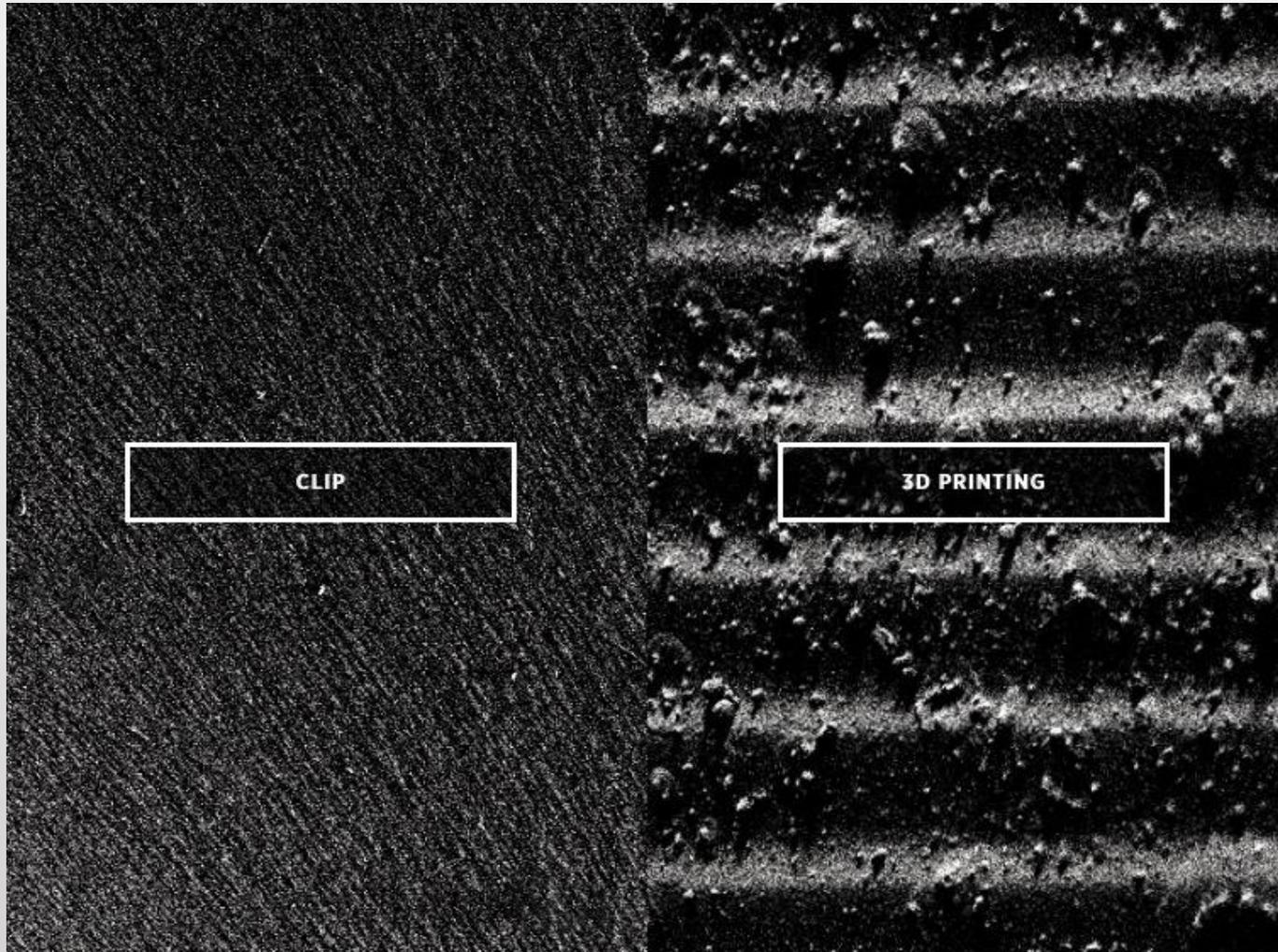
# CLIP

- Continuous Liquid Interface Production
- ähnlich zu SLA
- entwickelt von Carbon3D
- im Frühjahr 2015 vorgestellt
- 25 – 100x schneller als SLA
- UV-Licht und Sauerstoff
- keine sichtbaren Schichten

# CLIP



# CLIP



# CLIP

- Objekt wird aus Bad „herausgezogen“
- UV-Licht härtet Harz von unten aus
- Sauerstoff verhindert Aushärtung an ungewünschten Stellen

# Vorteile zu SLA

- 25 – 100x schneller
- keine Schichten → bessere Oberflächen-beschaffenheit

# Weitere Verfahren...

3DP

Laserauftragsschweißen

Vakuumgießen (VAG)

FTI

3D-Papierdruck (SDL)

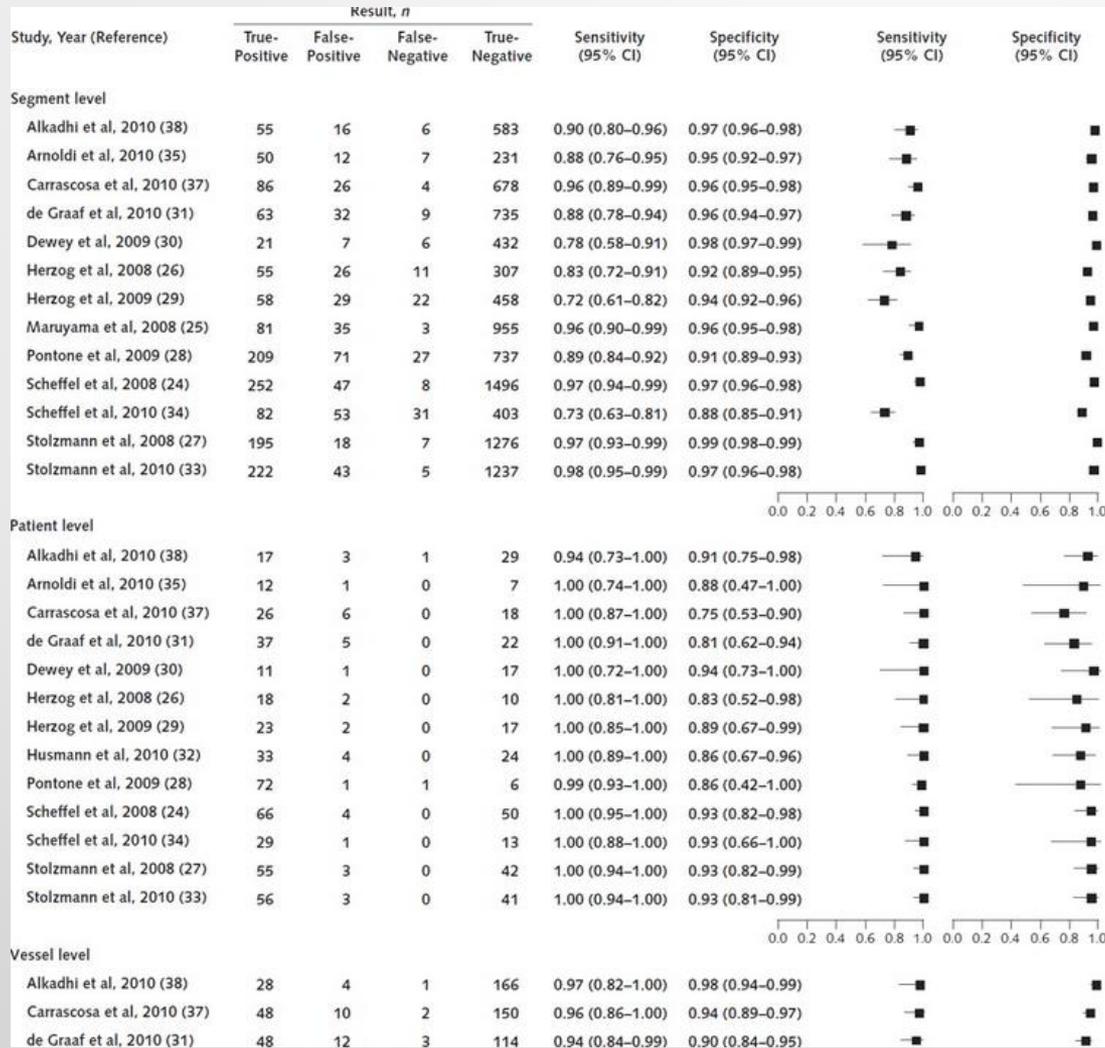
3D-Foliendruck (LOM)

Elektronenstrahlschmelzen (EBM)

# Software

- Computer-Aided-Design (CAD)
  - Erstellung eines 3D-Modells
- spezielle Software teilt das Modell in Schichten und erzeugt CAD-Code

# CAD-Code



# Einige Hersteller...

3D Systems      Stratasys

2PrintBeta      EOS      CEL

Carima

Conrad      Microfab      Arcam AB

# Quellen

## FDM

<http://www.stratasys.com/de/3d-drucker/technologies/fdm-technology>

<https://www.youtube.com/watch?v=BvNvEMzhhOI>

<https://3druck.com/lieferanten-haendler/fdm-3d-druck-abs-oder-pla-sind-die-unterschiede-2020380/> - material fdm

## SLA

[https://www.rapidobject.com/de/Wissenswertes/3D-Druckverfahren/Stereolithografie-SLA\\_1245.html](https://www.rapidobject.com/de/Wissenswertes/3D-Druckverfahren/Stereolithografie-SLA_1245.html)

<https://www.youtube.com/watch?v=eKk2vRysioE>

## CLIP

<https://3druck.com/drucker-und-produkte/clip-neues-unglaublich-schnelles-3d-druckverfahren-0331062/>

# Quellen

Weitere:

<http://www.freeform4u.de/3d-dienstleistungen/3d-druck/>

<http://www.projet-3d-drucker.de/technologie-vergleich/>

<http://t3n.de/magazin/3d-druck-schicht-schicht-zukunft-230252/2/>

<http://www.sculpteo.com/de/glossar/ebm-definition-de/> - ebm

<https://3druck.com/grundkurs-3d-drucker/teil-1-entwicklung-und-geschichte-der-3d-drucktechnologie-342079/>

# Quellen

Weitere:

<http://www.freeform4u.de/3d-dienstleistungen/3d-druck/>

<http://3d-druckercheck.de/3d-druck-verfahren/#stereo>

<http://www.projet-3d-drucker.de/technologie-vergleich/> verfahren

<http://3d-druckercheck.de/wissen/3d-druck-und-der-geschichtliche-hintergrund/> geschichte allg

<http://t3n.de/magazin/3d-druck-schicht-schicht-zukunft-230252/> allg

<http://www.3d-grenzenlos.de/listen/3d-drucker-hersteller>



Fragen?



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!