

Seminar

3D-Druck-Anwendungen in der Bauwirtschaft

Dr. Kerstin Michalke
Modellfabrik Virtualisierung
c/o Ernst-Abbe-Hochschule Jena

9. Dezember 2021

www.zentrum-ilmenau.digital



Modellfabriken



Vernetzung



Virtualisierung



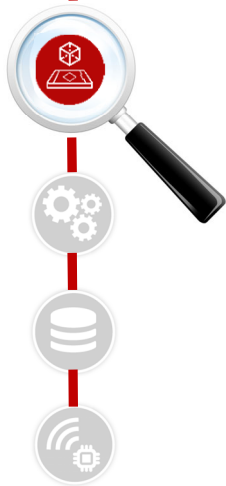
Smarte Sensorsysteme



Prozessdaten



KI-Trainer



Modellfabrik 3D-Druck, Individualisierte Produktion und Digitale Arbeitswelten

- 3D-Druck: Einsatzbereiche, Verfahren, Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen
- Aufbereitung, Verarbeitung von 3D-Daten, 3D-Scantechnologien
- Produktindividualisierung durch Lasermaterialbearbeitung
- Interne Vernetzung über Cloud-Lösungen
- Digitale Arbeitswelten: AR und VR in Produktionsumgebungen



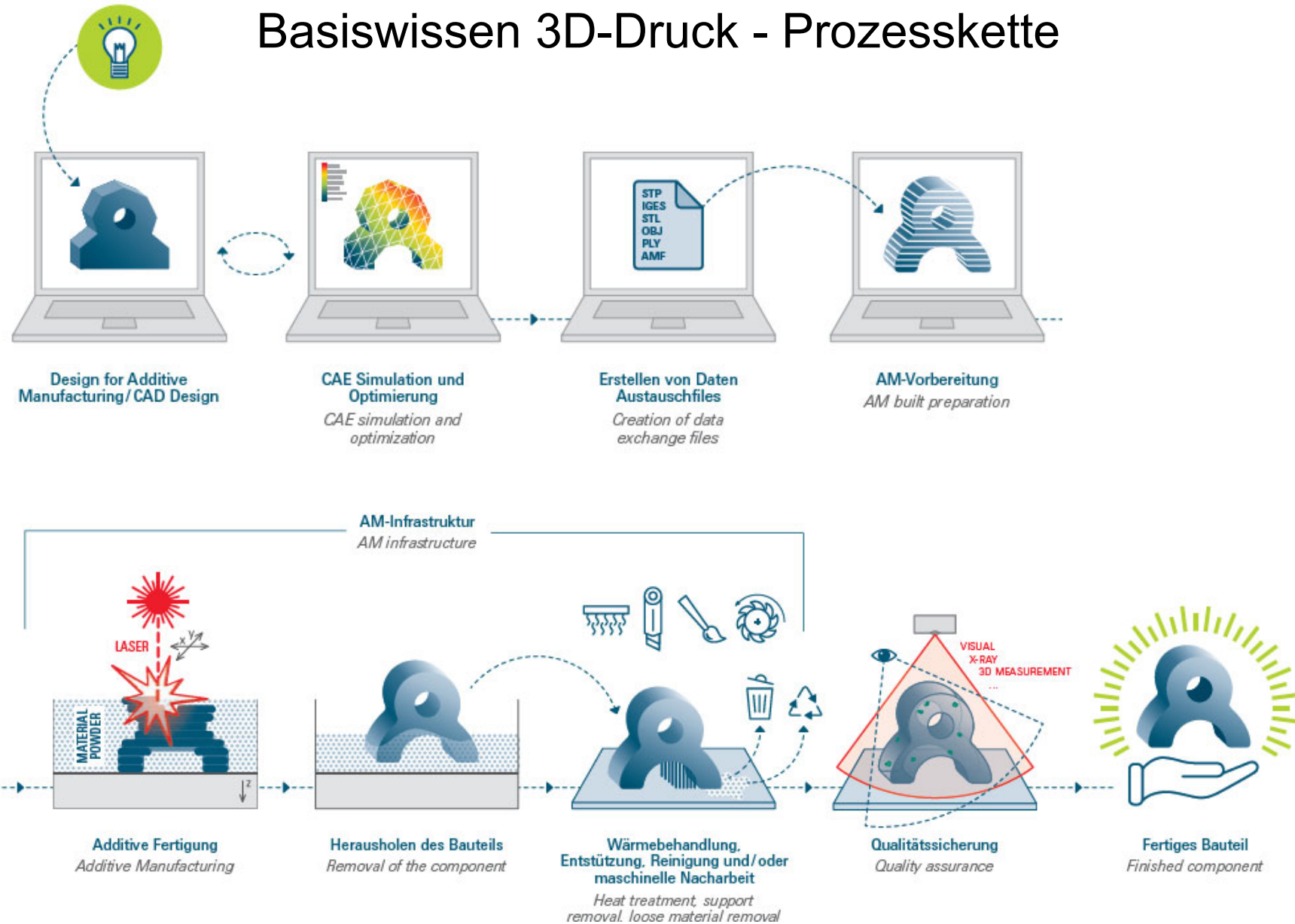
Der virtuelle Showroom der Modellfabrik:

<https://my.matterport.com/show/?m=fc3e8K6R5wi>





Basiswissen 3D-Druck - Prozesskette



Material Jetting

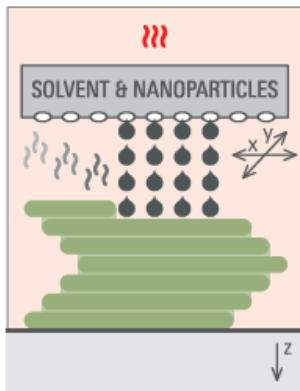
Photopolymerisation Kunststoffbad

Cured with heat to be **sintered** afterwards

NPJ

Nano Particle Jetting

Metall



Eine Metallpartikel-Lösemittel-flüssigkeit wird in einer Düsen-einheit selektiv lokal dosiert. Das Lösemittel verdampft und die Nanopartikel verbinden sich.

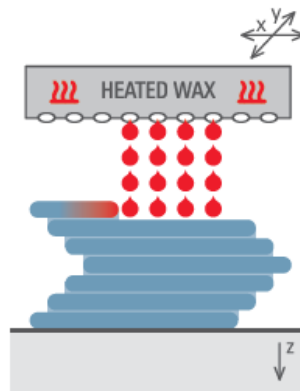
A metal particle solvent fluid is selectively dosed locally by a nozzle unit. The solvent evaporates and the nanoparticles bond together.

Microdosed **WAX**

DOD

Drop on Demand

Wachs



Durch viele Düsen werden erhitzte Wachströpfchen lokal selektiv und schichtweise aufgebracht. Durch Abkühlung verfestigt sich das Wachs.

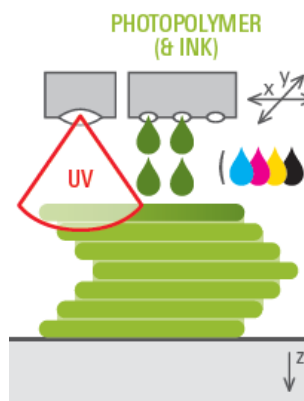
Through many nozzles, heated wax droplets are applied locally selectively and layer by layer. The wax solidifies through cooling.

Cured with UV light

MJ

Material Jetting

Kunststoff



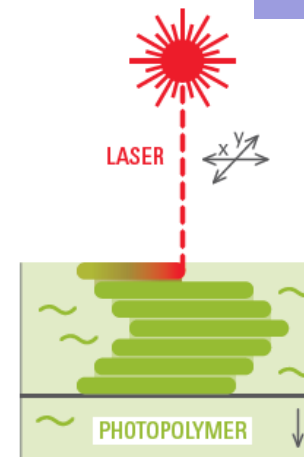
Durch viele Düsen werden kleinste Photopolymertröpfchen lokal und schichtweise aufgebracht. Direkt im Anschluss wird das dickflüssige Photopolymer durch UV-Licht ausgehärtet.

Cured with laser

SLA

Stereo Lithography

Kunststoff

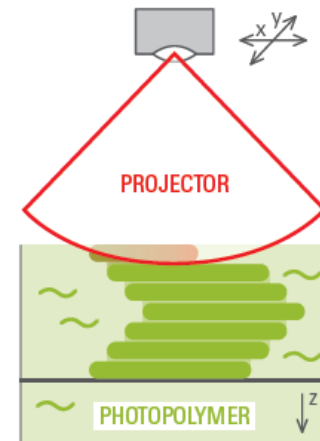


Mittels eines beweglichen Laserstrahls wird ein dickflüssiges Photopolymer schichtweise selektiv lokal auspolymerisiert und verfestigt sich dort.

Cured with projector

DLP

Direct Light Processing



Mittels eines Projektors wird ein Photopolymer schichtweise belichtet. Material, das belichtet wird, polymerisiert lokal aus und verfestigt sich.

Quelle: Prof. Dr.-Ing. Steffen Ritter, Hochschule Reutlingen in Zusammenarbeit mit der Formnext / Mesago Messe Frankfurt GmbH:

<https://formnext.mesago.com/frankfurt/de/themen-events/am-field-guide/downloads.html>

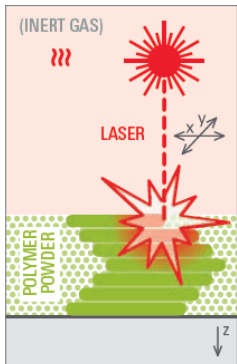
Pulverbettverfahren

Kunststoff

Fused with laser

SLS

Selective Laser Sintering



Mittels eines beweglichen Laserstrahls wird Polymerpulver schichtweise selektiv lokal gesintert und verfestigt damit einen Querschnitt des Bauteils.

Fused with agent + energy

MJF

Multi Jet Fusion



Kleinste Flüssigkeitströpfchen werden lokal auf eine Polymerpulverschicht aufgebracht. Sie erhöhen oder unterdrücken die Wärmeabsorption des Materials. Eine integral wirkende Infrarotquelle schmilzt das pulverförmige Ausgangsmaterial lokal auf.

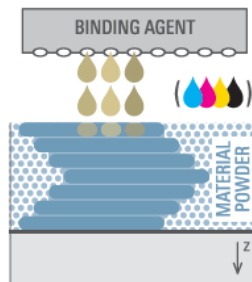
Binder Jetting

Joined with bonding agent
SAND OR GYPSUM

BJ

Binder Jetting

Sand/Gips
Kunststoff/Holz



Winzige Bindemitteltropfen werden durch viele Düsen selektiv lokal und schichtweise auf das Pulverbett aufgebracht. Sie kleben das Pulvermaterial zusammen.

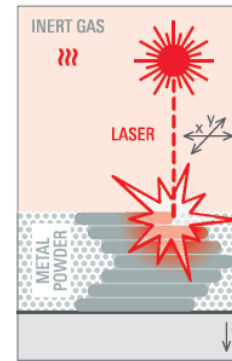
Tiny binder droplets are selectively applied locally through many nozzles and in layers onto the powder bed. They stick the powder material together.

Metall

Fused with laser

SLM

Selective Laser Melting



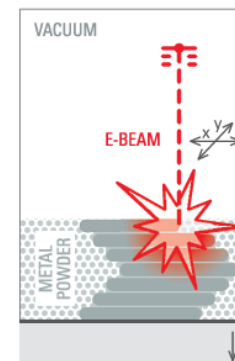
Mittels eines beweglichen Laserstrahls wird Metallpulver schichtweise selektiv lokal aufgeschmolzen und verfestigt damit einen Querschnitt des Bauteils.

By means of a movable laser beam, metal powder is selectively melted locally layer by layer, thus solidifying a cross-section of the component.

Fused with electron beam

EBM

Electron Beam Melting



Mittels eines beweglichen Elektronenstrahls wird Metallpulver schichtweise selektiv lokal aufgeschmolzen und es verfestigt sich damit ein Querschnitt des Bauteils.

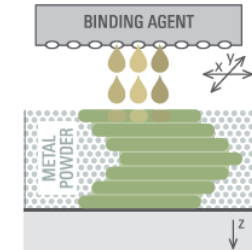
By means of a movable electron beam, metal powder is selectively melted locally layer by layer, thus solidifying a cross-section of the component.

Binder Jetting

Joined with bonding agent
to be **sintered** afterwards

BJ

Binder Jetting



Winzige Bindemitteltropfen werden durch viele Düsen selektiv lokal und schichtweise auf Metallpulver aufgebracht. Sie kleben das Pulvermaterial zusammen.

Tiny binder droplets are selectively applied locally through many nozzles and in layers onto metal powder. They stick the powder material together.

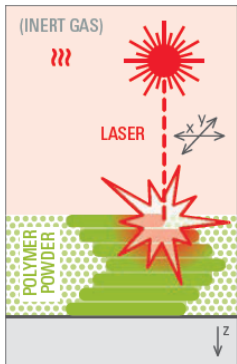
Pulverbettverfahren

Kunststoff

Fused with laser

SLS

Selective Laser Sintering



Mittels eines beweglichen Laserstrahls wird Polymerpulver schichtweise selektiv lokal gesintert und verfestigt damit einen Querschnitt des Bauteils.

Fused with agent + energy

MJF

Multi Jet Fusion



Kleinste Flüssigkeitströpfchen werden lokal auf eine Polymerpulverschicht aufgebracht. Sie erhöhen oder unterdrücken die Wärmeabsorption des Materials. Eine integral wirkende Infrarotquelle schmilzt das pulverförmige Ausgangsmaterial lokal auf.

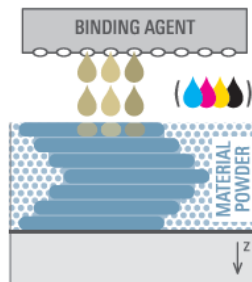
Binder Jetting

Joined with bonding agent
SAND OR GYPSUM

BJ

Binder Jetting

Relevant fürs Bauen



Winzige Bindemitteltropfen werden durch viele Düsen selektiv lokal und schichtweise auf das Pulverbett aufgebracht. Sie kleben das Pulvermaterial zusammen.

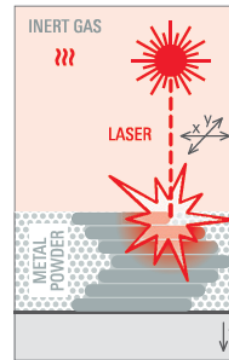
Tiny binder droplets are selectively applied locally through many nozzles and in layers onto the powder bed. They stick the powder material together.

Metall

Fused with laser

SLM

Selective Laser Melting



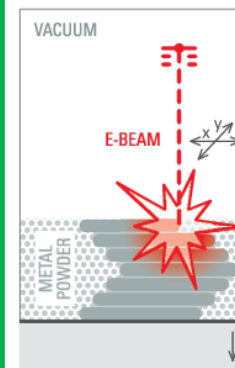
Mittels eines beweglichen Laserstrahls wird Metallpulver schichtweise selektiv lokal aufgeschmolzen und verfestigt damit einen Querschnitt des Bauteils.

By means of a movable laser beam, metal powder is selectively melted locally layer by layer, thus solidifying a cross-section of the component.

Fused with electron beam

EBM

Electron Beam Melting



Mittels eines beweglichen Elektronenstrahls wird Metallpulver schichtweise selektiv lokal aufgeschmolzen und es verfestigt sich damit ein Querschnitt des Bauteils.

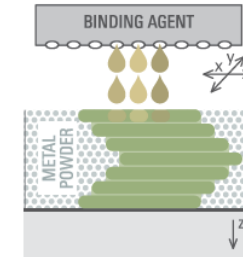
By means of a movable electron beam, metal powder is selectively melted locally layer by layer, thus solidifying a cross-section of the component.

Binder Jetting

Joined with bonding agent
to be **sintered** afterwards

BJ

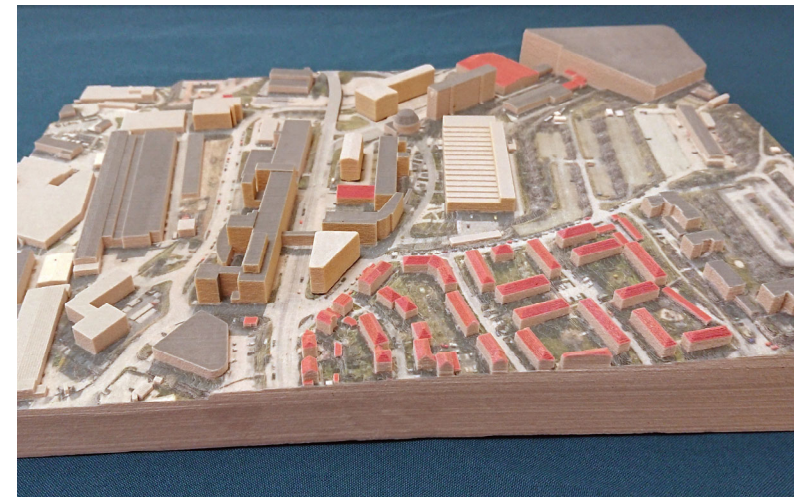
Binder Jetting



Winzige Bindemitteltropfen werden durch viele Düsen selektiv lokal und schichtweise auf Metallpulver aufgebracht. Sie kleben das Pulvermaterial zusammen.

Tiny binder droplets are selectively applied locally through many nozzles and in layers onto metal powder. They stick the powder material together.

Binder-Jetting für Interaktive 3D-Visualisierungen bei Bauvorhaben



- Geländemodell aus Gips
- 3D-Computermodell aus offenen Geodaten: City-GML, Orthofotos, digitales Geländemodell
- Exemplarisch: Ernst-Abbe-Hochschule Jena

Binder-Jetting für Schalung von Betondecke

Forschungsprojekt der ETH Zürich



Bilder: © Roman Keller

DFAB Haus

- digital geplant
- weitgehend digital gebaut



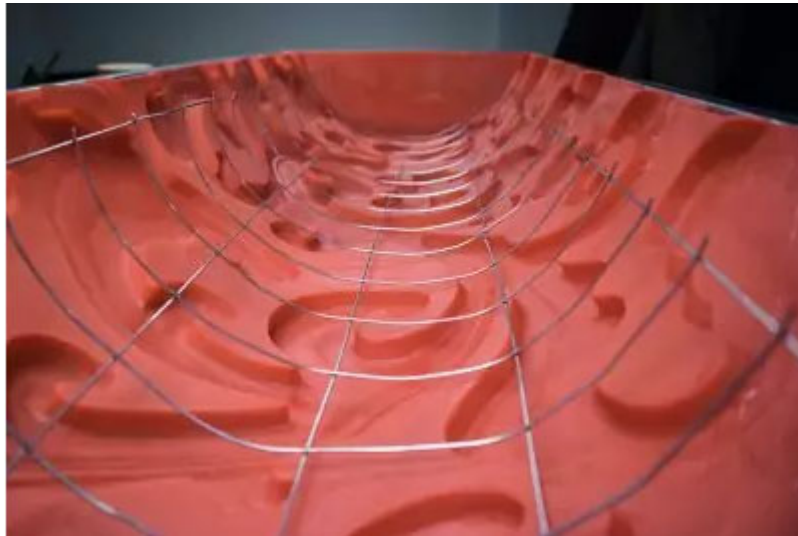
Bild: © Voxeljet



- Anpassung der Deckengeometrie an die tatsächliche statische Belastung → Materialeinsparung
- komplexe Form durch 3D-gedruckte Schalung aus Sand von Voxeljet
- Schalungselemente von 4,00 x 2,00 x 1,00 m

<https://www.voxeljet.de/case-studies/architektur/intelligente-3d-gedruckte-betonschalungen-smart-slab/>

Binder-Jetting: Fertigung architektonischer Ornamente



Bilder: © EDG

- Hergestellt mit Voxeljet VX1000 innerhalb von 24 Stunden vor Ort
- New Yorker Architektur- und Ingenieurbüro EDG
- Additive Herstellung zerstörter oder beschädigter Ornamente basierend auf Kunststoffformen (PMMA)

<https://www.3d-grenzenlos.de/magazin/3d-objekte/3d-druck-komplexer-ornamente-edg-27397643/>

Binder-Jetting für Inneneinrichtung: Firma Sandhelden



Bilder: © Sandhelden

- Hergestellt mit Voxeljet-Drucker aus Sand

<https://www.sandhelden.de/store-all-products>

Binder-Jetting für das Upcycling von Holzabfällen



- Firma Forust produziert Holzteile mit digitaler Maserung über alle Schichten
- 7x schneller als andere Binder-Jetting-Verfahren



Foto: Business Wire

<https://www.autocad-magazin.de/holzabfaelle-wie-man-sie-mit-3d-druck-in-form-bringen-kann/>

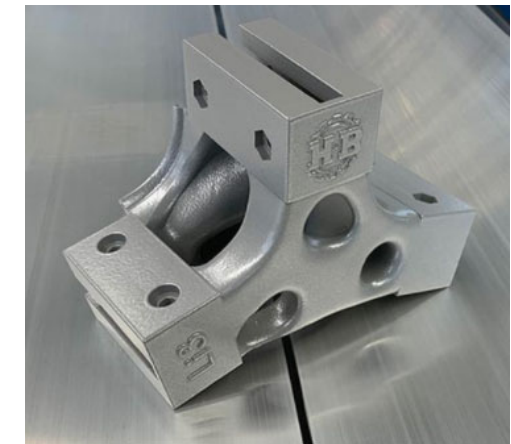
SLM-gedruckte Fassadenknoten



Pilotprojekt

- Erweiterungsbau der H+B Hightech GmbH
- 23 m lange Fassade

- 3D-gedruckte Aluminiumknoten (insgesamt 134)
- jeder der Knoten individuell topologieoptimiert basierend auf Belastungszustand mit Software Li3M
- einzige zertifizierte 3D-gedruckte Fassadenknoten in Deutschland



Fotos: Lithium Designers

<https://www.haute-innovation.com/magazin/innovative-fertigung/3d-gedruckte-fassadenknoten/>

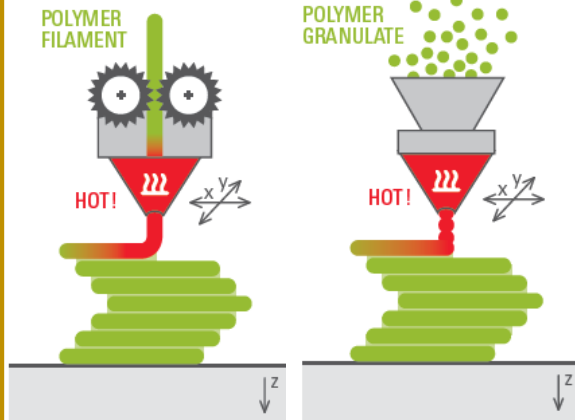
Materialauftrag über Düse

Kunststoff

Material extrusion
Filament

FDM

Fused Deposition
Modeling

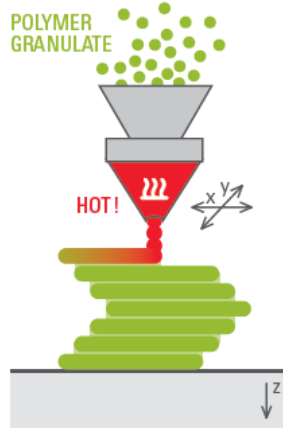


Drahtförmiger Kunststoff, sogenanntes Filament, wird in einer Düseneinheit plastifiziert und schichtweise selektiv lokal dosiert.

Material extrusion
Granulate

APF

Arburg Plastic
Freeforming

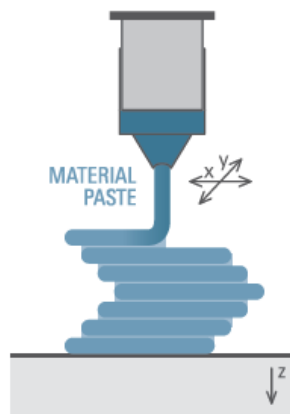


Kunststoffgranulat wird in einer Düseneinheit plastifiziert und schichtweise selektiv lokal dosiert.

Pastöses Material

PEM

Paste Extrusion
Modeling



Material wird schichtweise selektiv lokal durch eine Kolben-Düsen- oder Pumpeneinheit dosiert.

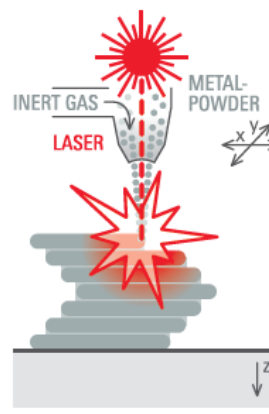
Material is selectively dosed layer by layer locally by a piston-nozzle or pump unit.

Metall

Fused with
laser

LENS

Laser Engineering
Net Shape



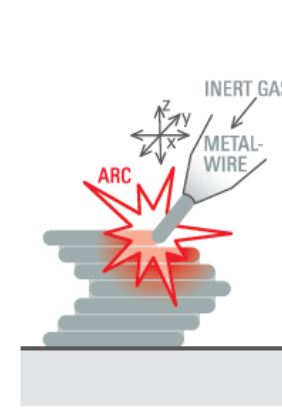
Material wird aufgebracht und simultan durch einen Laserstrahl aufgeschmolzen. Das folgende Erstarren der Schmelze generiert neue Schichten, die über- und nebeneinander angeordnet werden.

Material is applied and melted simultaneously by a laser beam. The following solidification of the melt generates new layers which are arranged above and next to each other.

Fused with
electric arc

WAAM

Wire and Arc
Additive Manufacturing



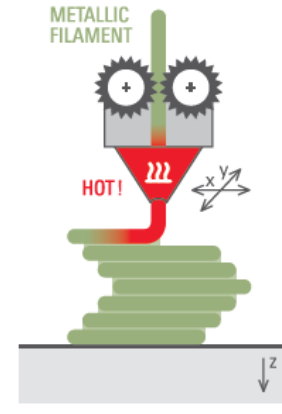
Metalldraht wird im Lichtbogen-schweißverfahren geschmolzen und schichtweise lokal aufgetragen, um schnell große endkonturnahe Metallstrukturen zu erzeugen.

Metal wire is melted by arc welding and applied locally in layers to quickly produce large near-net-shape metal structures.

Green part is printed to be **sintered** afterwards

FDM

Fused Deposition
Modeling



Drahtförmiger metallhaltiger Kunststoff, sogenanntes Filament, wird in einer Düseneinheit plastifiziert und schichtweise selektiv lokal dosiert.

Wire-shaped metal-containing plastic, so-called filament, is plasticized in a nozzle unit and selectively dosed locally layer by layer.

Materialauftrag über Düse

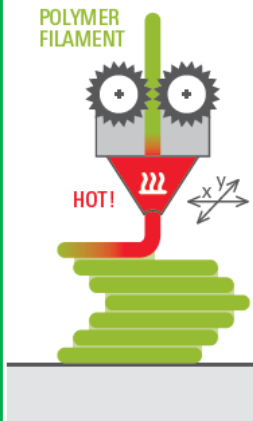
Kunststoff

Material extrusion
Filament

FDM

Fused Deposition
Modeling

POLYMER
FILAMENT



Drahtförmiger Kunststoff, sogenanntes Filament, wird in einer Düsen- oder Pumpeneinheit plastifiziert und schichtweise selektiv lokal dosiert.

Material extrusion
Granulate

APF

Arburg Plastic
Freeforming

POLYMER
GRANULATE



Kunststoffgranulat wird in einer Düsen- oder Pumpeneinheit plastifiziert und schichtweise selektiv lokal dosiert.

Pastöses Material

PEM

Paste Extrusion
Modeling

MATERIAL
PASTE



Material wird schichtweise selektiv lokal durch eine Kolben-Düsen- oder Pumpeneinheit dosiert.

Material is selectively dosed layer by layer locally by a piston-nozzle or pump unit.

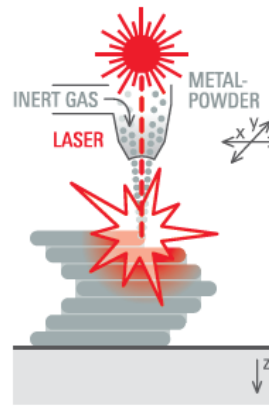
Relevant fürs Bauen

Metall

Fused with
laser

LENS

Laser Engineering
Net Shape



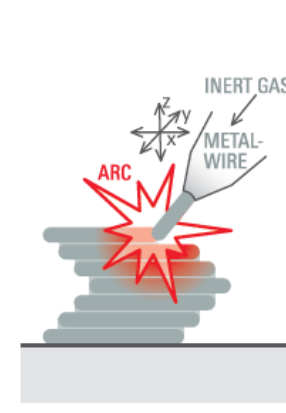
Material wird aufgebracht und simultan durch einen Laserstrahl aufgeschmolzen. Das folgende Erstarren der Schmelze generiert neue Schichten, die über- und nebeneinander angeordnet werden.

Material is applied and melted simultaneously by a laser beam. The following solidification of the melt generates new layers which are arranged above and next to each other.

Fused with
electric arc

WAAM

Wire and Arc
Additive Manufacturing



Metalldraht wird im Lichtbogen-schweißverfahren geschmolzen und schichtweise lokal aufgetragen, um schnell große endkonturnahe Metallstrukturen zu erzeugen.

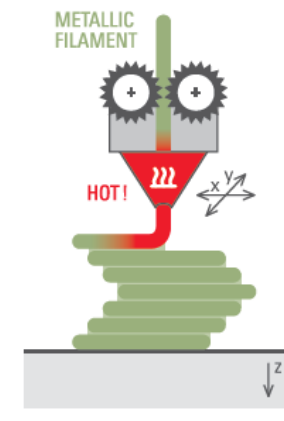
Metal wire is melted by arc welding and applied locally in layers to quickly produce large near-net-shape metal structures.

Green part is printed to be **sintered** afterwards

FDM

Fused Deposition
Modeling

METALLIC
FILAMENT



Drahtförmiger metallhaltiger Kunststoff, sogenanntes Filament, wird in einer Düsen- oder Pumpeneinheit plastifiziert und schichtweise selektiv lokal dosiert.

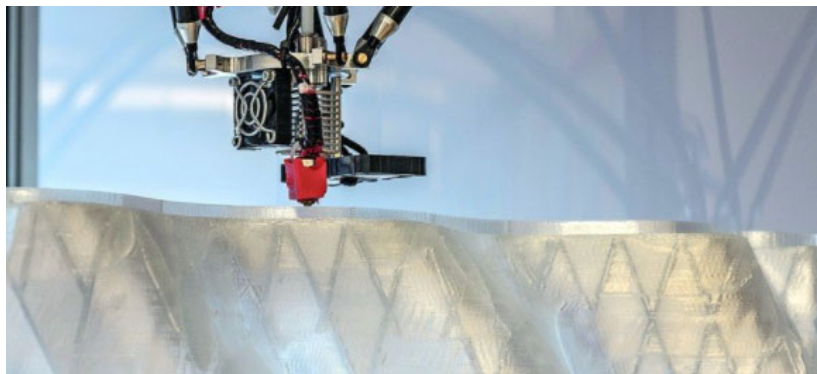
Wire-shaped metal-containing plastic, so-called filament, is plasticized in a nozzle unit and selectively dosed locally layer by layer.

FDM-gedruckte Fassade



3F – Studio (Spinn-Off TU München) :

- evolutionäre Optimierungsprozesse
- PETg Kunststoff
- Integrierte Funktionen durch innere Zellstruktur: Witterungsschutz, Dämmung, Verschattung, Akustikfunktionen, Belüftung
- Fassadenelemente: 1m x 1m



Visualisierung: nuur.nu

Foto: Andreas Heddergott / TU München

https://www.dbz.de/artikel/dbz_Startups_in_der_digitalen_Fertigung_3479882.html

FDM – Hocker von Wilkhahn



- Hält 100 Kilogramm Gewicht aus
- Wiegt selbst 900 Gramm
- Höhe 53 und 57 cm

© Wilkhahn

<https://www.schoener-wohnen.de/einrichten/wohntrends/3d-druck-moebel-und-haeuser-schnell-hergestellt-12635730.html>

PEM: 3-Achssystem und Roboter



Bilder: Peri

<https://www.bauen-aktuell.eu/reif-fuer-den-wohnungsbau-wie-ein-haus-mit-3d-betondruck-entsteht/>

Erstes 3D-gedrucktes Haus Europas



Bild © Houben van Mierlo

Project Milestone:

- insgesamt 5 Häuser geplant
- Kooperation TU Eindhoven mit diversen Unternehmen

94 m², 3 Zimmer

Bild © 3dprintedhouse.nl



<https://3druck.com/case-studies/project-milestone-erstes-3d-gedrucktes-haus-in-europa-ist-fertig-4399926/>

3D-gedrucktes Einfamilienhaus in Beckum



Foto: WDR

- additiv hergestellt aus Beton
- 100h reine Druckzeit
- Insgesamt 8 Monate Bauzeit
- Weniger Personal benötigt
- Kosten: bisher noch 15% über denen des herkömmlichen Bauens

<https://www.tagesschau.de/wirtschaft/haus-aus-dem-drucker-101.html>

Erstes 3D-gedrucktes
Musterhaus in Deutschland
160 m², 2-geschossig
Firma Peri



Foto: picture alliance/dpa | Guido Kirchner



Mehrfamilienhaus in Wallenhausen

380 m², 3-geschossig

Firma Michael Rupp
Bauunternehmung und
Firma Peri

Foto: Rupp-Gebaeuedruck

- 72 h reine Druckzeit
- Insgesamt 9 Monate Bauzeit
- Decken, Treppen und Dämmung nach wie vor konventionell gebaut
- Drucker spart Steckdosen und Kanäle in den Wänden aus: mühsames Schlitzen und Herausbrechen für Leitungen nicht erforderlich

<https://www.sueddeutsche.de/bayern/weissenhorn-architektur-mehrfamilienhaus-3-d-drucker-1.5348226>

60m2 Haus komplett aus Lehm in 200h gedruckt



Foto: Iago Corazza



3D-Druckfirma **WASP** und Architekt Mario Cucinella

<https://www.ad-magazin.de/article/tecla-haus-aus-3d-drucker-aus-lehm>

Warum der 3D-Druck im Bau eine gute Idee ist

- geschätzte 50% Kostenersparnis
- Weniger Personal benötigt zur Bedienung des Druckers → weniger Unfälle auf der Baustelle
- Zeitersparnis beim Rohbau, weitere Zeitersparnis wenn automatisierter Ausbau
- Große Gestaltungsfreiheit der Gebäude
- Effiziente Nutzung des Baumaterials und geringerer Energieverbrauch
- Einsetzbar in Krisengebieten

<https://3dee.at/haus-3d-drucker-funktionsweise-kosten/>

<https://www.capital.de/immobilien/warum-das-haus-aus-dem-3d-drucker-auf-sich-warten-laesst> : interessanter Podcast

Warum lässt das 3D-gedruckte Haus noch auf sich warten?

- Gesamtbauvorhaben: Hausneubau ~1% der; Instandhaltungen ~99%
- Ausbau noch manuell: Planungs- und Handwerksbranche meist kleine dezentrale Betriebe; wenig digitalisiert (kein BIM)
- aktuell keine definierten Bauvorschriften speziell für 3D-gedruckte Konstruktionen → Bauweise noch begrenzt
- Drucker meist keine offene Systeme: eingeschränkte Materialoptionen und hohe Materialkosten
- neue Technologie, noch nicht genügend Erfahrungen bezüglich der Haltbarkeit der Bausubstanz
- Sich rasch weiterentwickelnde Technologie → gebautes Haus in einem Jahr eventuell schon veraltet

<https://3dee.at/haus-3d-drucker-funktionsweise-kosten/>

<https://www.capital.de/immobilien/warum-das-haus-aus-dem-3d-drucker-auf-sich-warten-laesst> : interessanter Podcast

3D-Druck Anbieter im Baubereich

- ICON (USA)
- Peri, Rupp Gebäudedruck, Aeditive (Deutschland)
- Concrete 3D, 3Dee GmbH & Co KG (Österreich)
- COBOD (Dänemark)
- WASP (Italien)

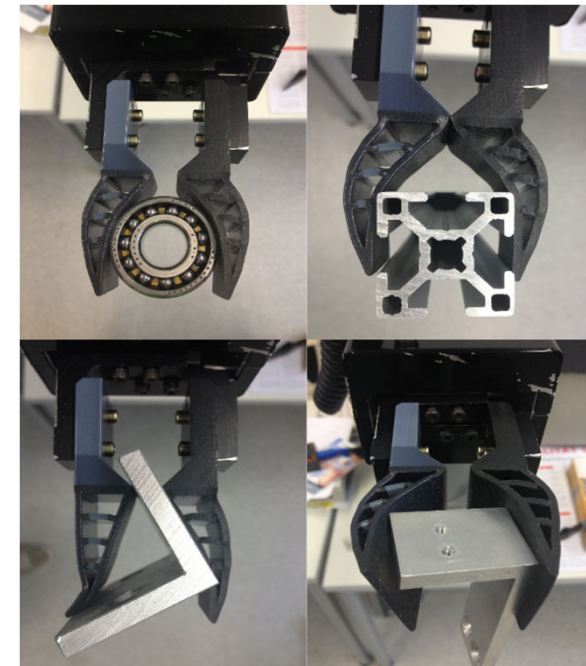
<https://3dee.at/haus-3d-drucker-funktionsweise-kosten/>

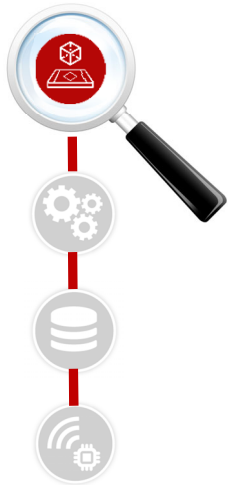
In welchem Bereich wäre der 3D-Druck für Sie noch relevant?



Bei der Herstellung von
Hilfsmitteln und Ersatzteilen

**Wir unterstützen Sie bei der Auswahl des
Verfahrens, der Materialien und
Anwendungsmöglichkeiten**





Modellfabrik Virtualisierung

c/o Ernst-Abbe-Hochschule Jena

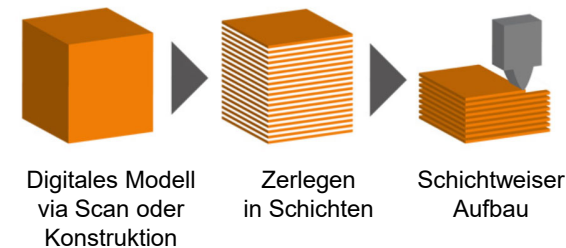
Carl-Zeiss-Promenade 2
07745 Jena

Dr. Kerstin Michalke
Telefon: +49 (3641) 205-390
E-Mail: kerstin.michalke@eah-jena.de



Basiswissen 3D-Druck - Grundprinzip und Vorteile

- Fertigungsverfahren, bei denen Material Schicht für Schicht aufgetragen wird
- Erzeugen dreidimensionale Gegenstände (Werkstücke)
- unter Verwendung von einem oder mehreren flüssigen oder festen Werkstoffen (Kunststoffe, Kunstharze, Keramiken, Metall ...)
- werkzeugloses Fertigungsverfahren
- schichtweiser Aufbau erfolgt computergesteuert
- Stützstrukturen für Überhänge (verfahrensabhängig)



Quelle: <https://blog.igus.de/3d-druck-verfahren-im-ueberblick/>

- zahlreiche unterschiedliche Verfahren, die sich vom Materialeinsatz, technologisch, hinsichtlich der Nachbearbeitung, der Kosten und der Anwendungsmöglichkeiten unterscheiden



- Geometriefreiheit
- wirtschaftliche Herstellung von Einzelteilen und Kleinserien (~~Werkzeugkosten~~)