

Von A wie Adaptive Produktion bis X wie Extended Reality – im Handumdrehen zu Industrie 4.0- Know-How

16.02.2022
Kapfenberg

ADDITIVE MANUFACTURING

EIN PRAKTISCHER EINBLICK

DI (FH) Helmut Ropin

AGENDA

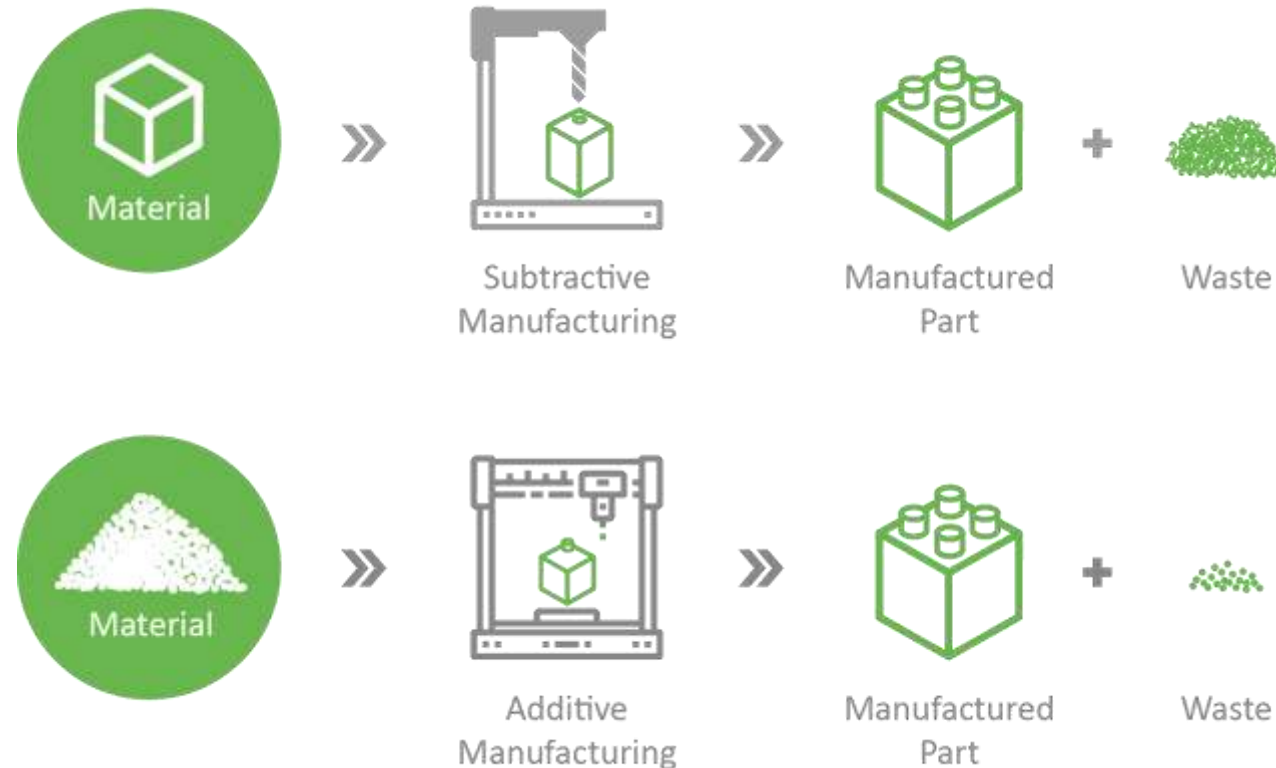
- / Übersicht und Einteilung von AM-Verfahren
- / Einblick in den Ablauf eines Druckjobs
- / Use-Cases für den Einsatz von AM-Bauteilen
- / Diskussion

ÜBERSICHT/EINTEILUNG AM-VERFAHREN

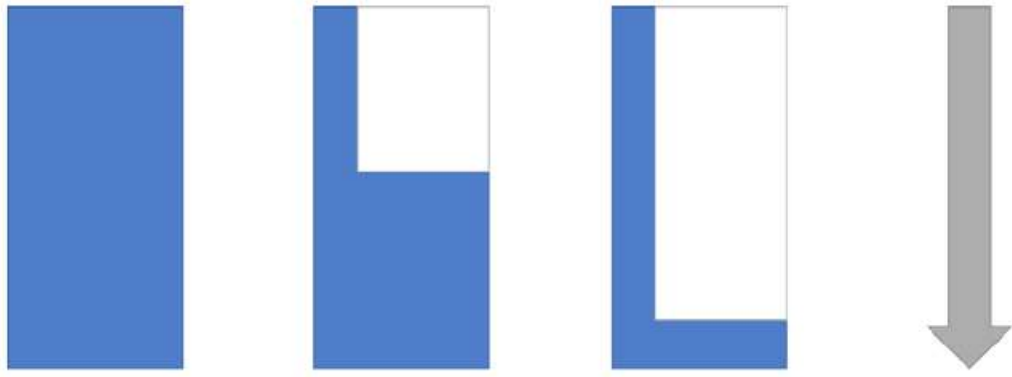
SUBTRAKTIVE VS. ADDITIVE FERTIGUNG

/ Konventionelle Fertigung = meist subtraktive Fertigung

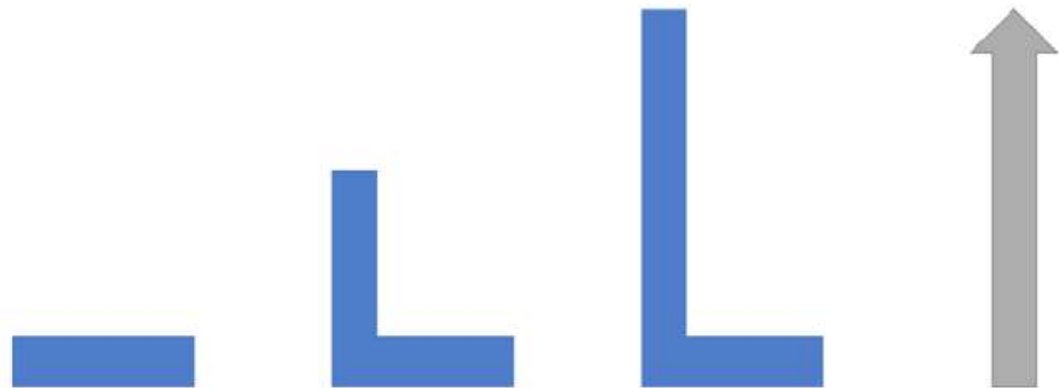
/ Konventionell = Materialabtrag → Additiv/Generativ = Materialauftrag



SUBTRAKTIVE VS. ADDITIVE FERTIGUNG



Subtraktive Fertigungsverfahren



Additive Fertigungsverfahren

SUBTRAKTIVE VS. ADDITIVE FERTIGUNG

Ein „Generatives Fertigungsverfahren“ (AM) ist ein automatisierter Prozess zur Herstellung maßstablicher dreidimensionaler physischer Objekte unmittelbar aus einem 3D-CAD-Datensatz. Er basiert auf dem Schichtbauprinzip und benötigt keine bauteilabhängigen Werkzeuge. Ursprünglich wurde dieses Verfahren als „Rapid Prototyping“ bezeichnet, wie es auch heute noch häufig genannt wird.



ENTWICKLUNG VON AM-VERFAHREN

Meilensteine in der Additiven Fertigung

gestern - heute - morgen

1900er

- 1960er:** Versuche Bauteile aus Photopolymer mit einem Laser aufzubauen
– Battelle Memorial Institute (Ohio, USA)
- 1987:** Stereolithografie – 3D Systems
- 1989:** Erste Laser-Sinter-Anlage (SLS) – DTM Cooperation
- 1991:** Kommerzialisierung von Fused Deposition Modeling (FDM)/Extrusionsverfahren – Stratasys
- 1994:** Deutscher Hersteller bringt eine Laser-Sinter-Maschine auf den Markt – EOS
- 1996:** 3D Systems verkauft ihren ersten 3D-Drucker (Actua 2100)

2000er

- 2001:** EuroMold, M3 linear / Modulare Laseranlage – Concept Laser
- 2003:** EuroMold, EOSINT M 270 – EOS und TrumaForm LF – Trumpf
- 2006:** Stratasys ist exklusiver Auslieferer von Arcam in Nordamerika für Elektronenstrahlschmelzanlagen (EBM)
- 2009:** CupCake CNC (RepRap, Open-source-System) – Makerbot
- 2014:** Erstes 3D-gedrucktes Auto für die International Manufacturing Show – Local Motors
Euromold, SLM-500-HL-Anlage mit vier Lasern – SLM Solutions

INDUSTRIELLE ANWENDUNGSGEBIETE

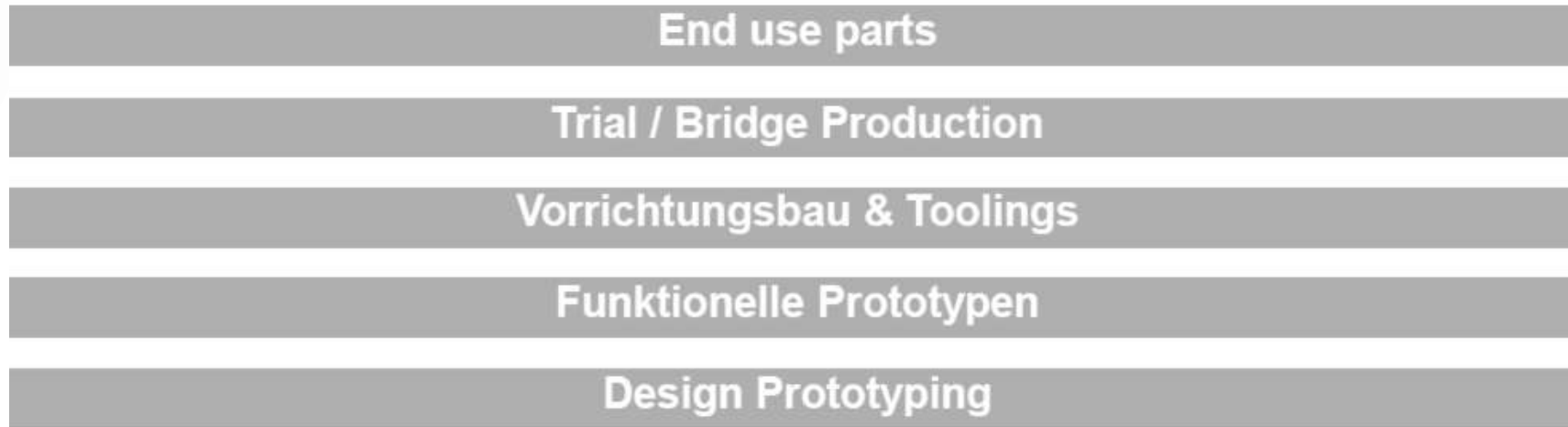
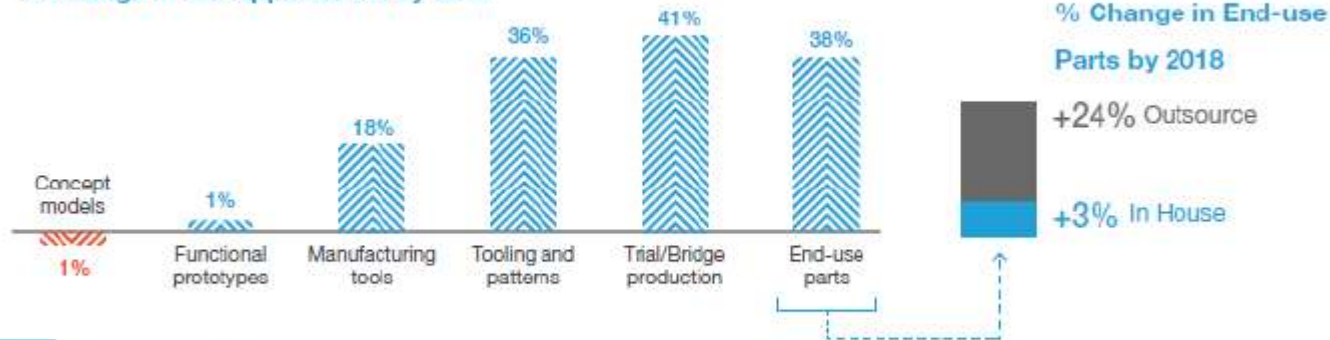


FIGURE H

% Change in AM Applications by 2018

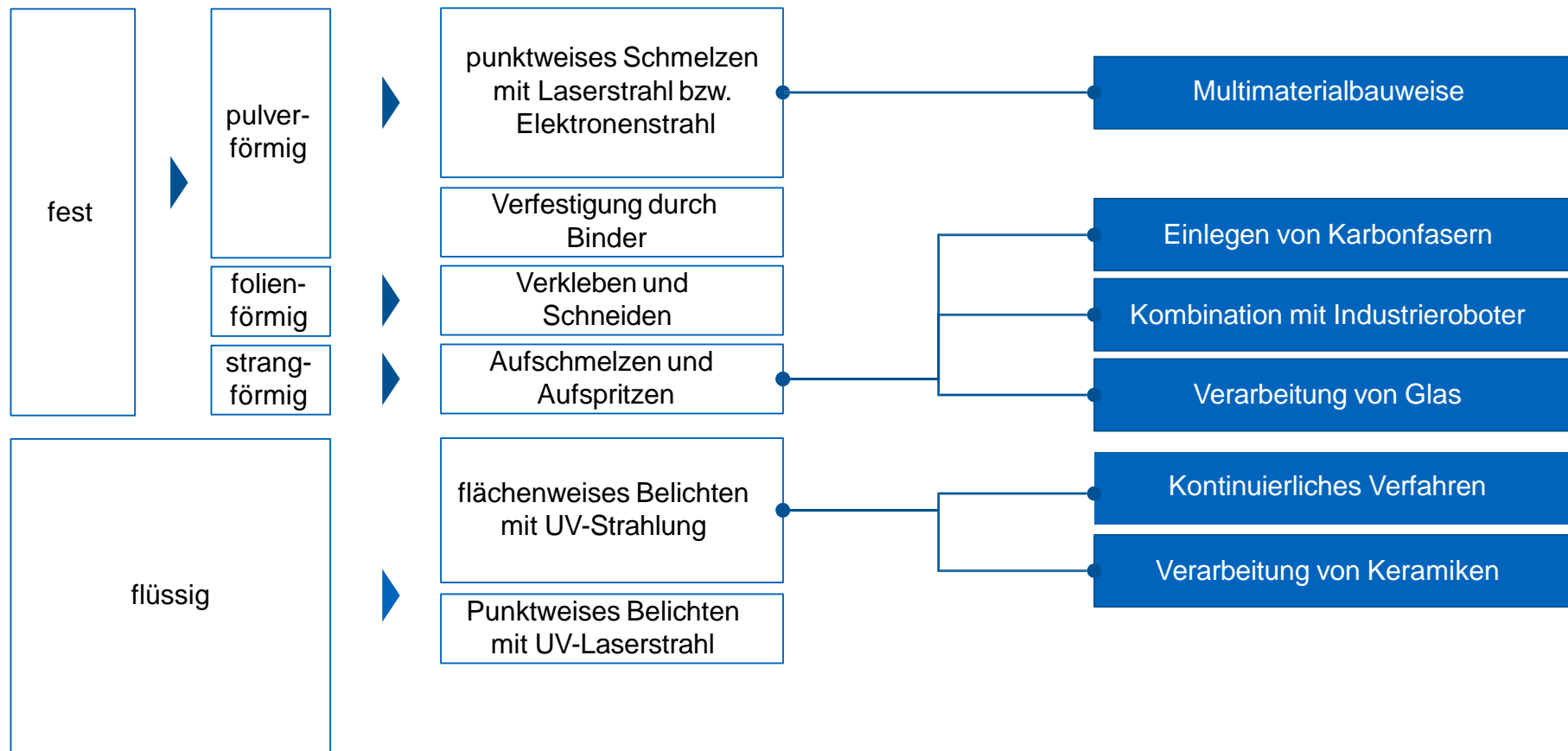


This chart shows anticipated growth in AM by application type over the next 3 years.

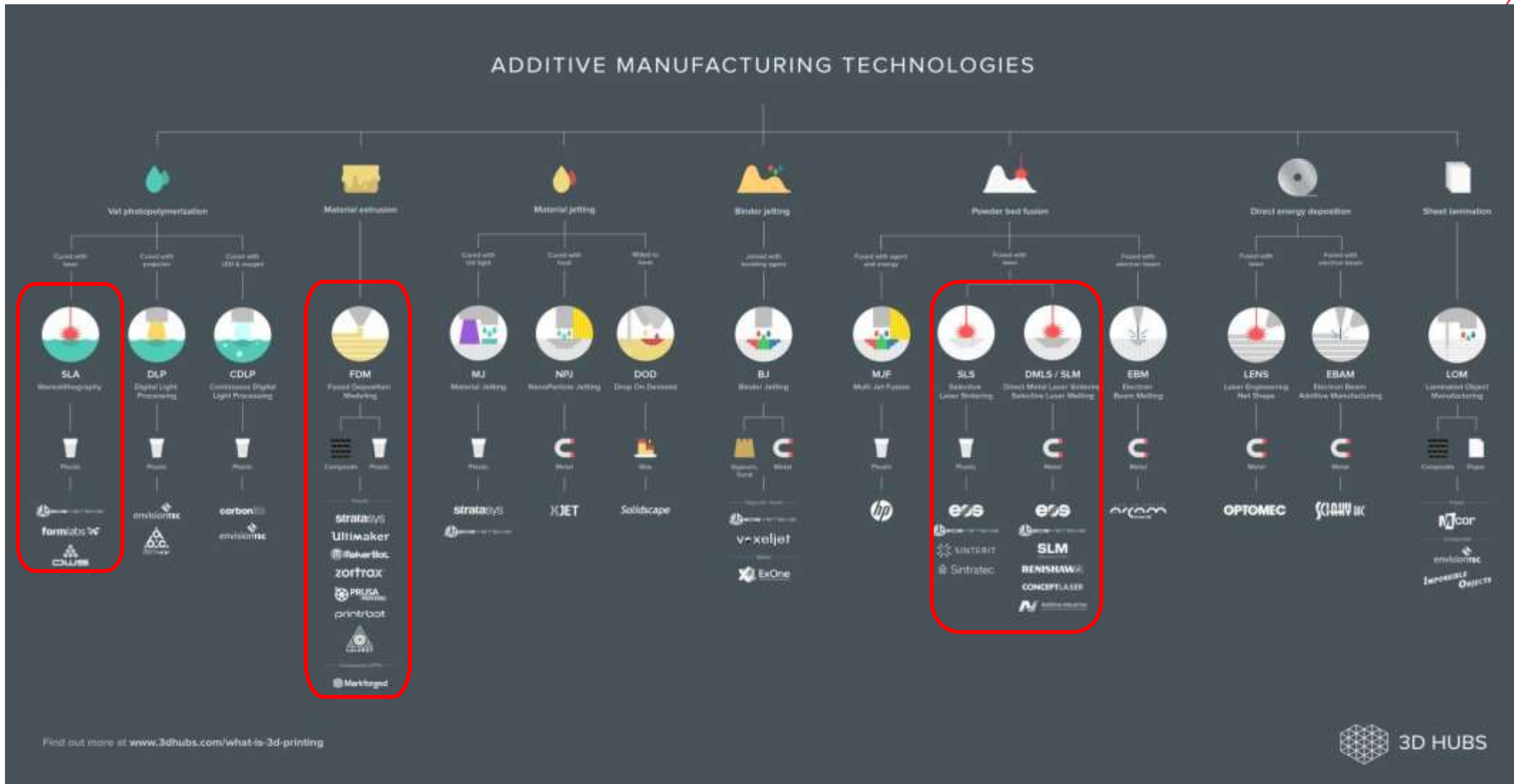
Aerospace and Automotive are expected to grow the most in production of end-use parts

DIVERSIFIZIERUNG DER TECHNOLOGIE

Aktuelle Innovationen



DIVERSIFIZIERUNG DER TECHNOLOGIE



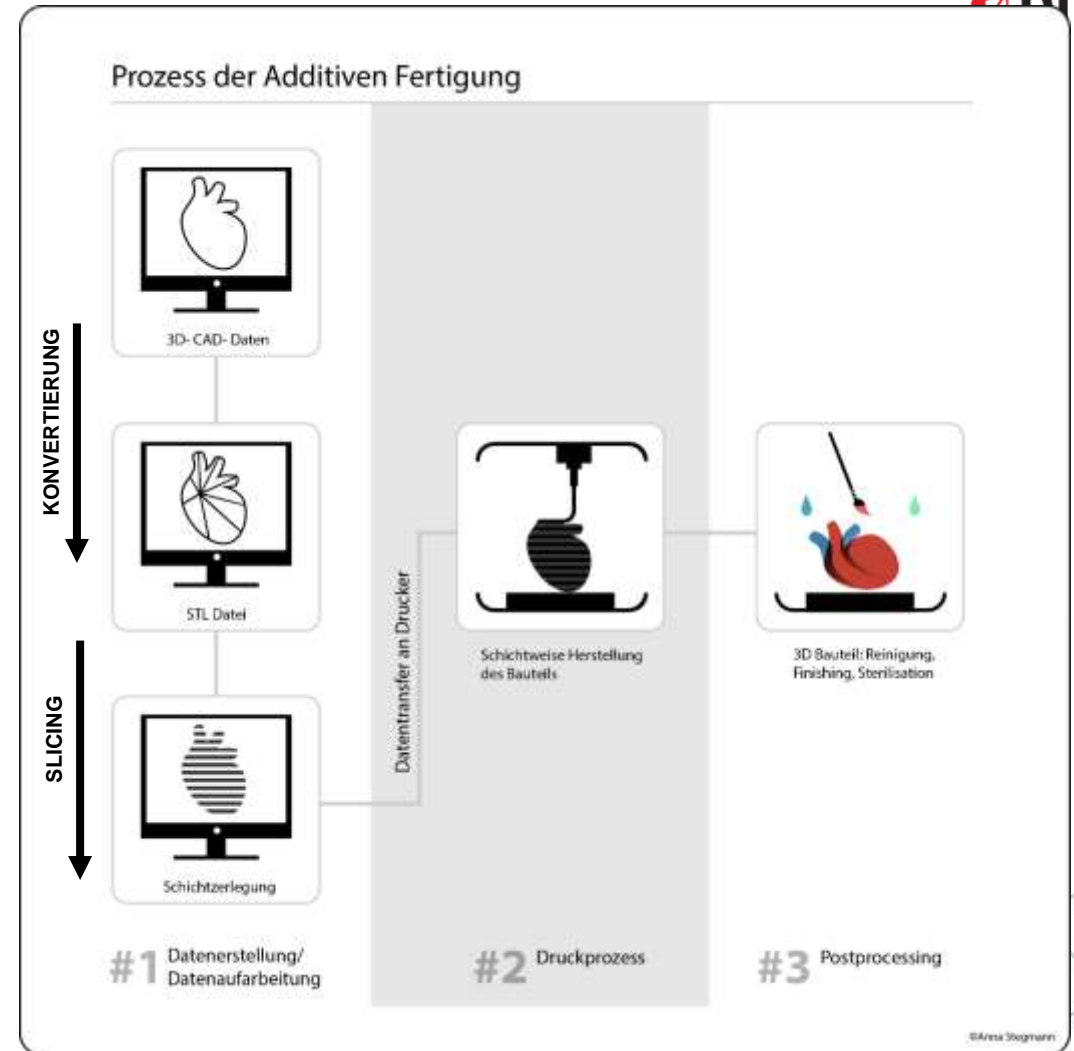
DER GENERISCHE AM-WORKFLOW

- 0. 3D-Scanning
- 1. CAD-File
- 2. STL-File (Standard Triangulation Language)
- 3. G-Code-File

SOFTWARE

- 4. Schichtweiser Materialauftrag
- 5. Post-Processing

HARDWARE

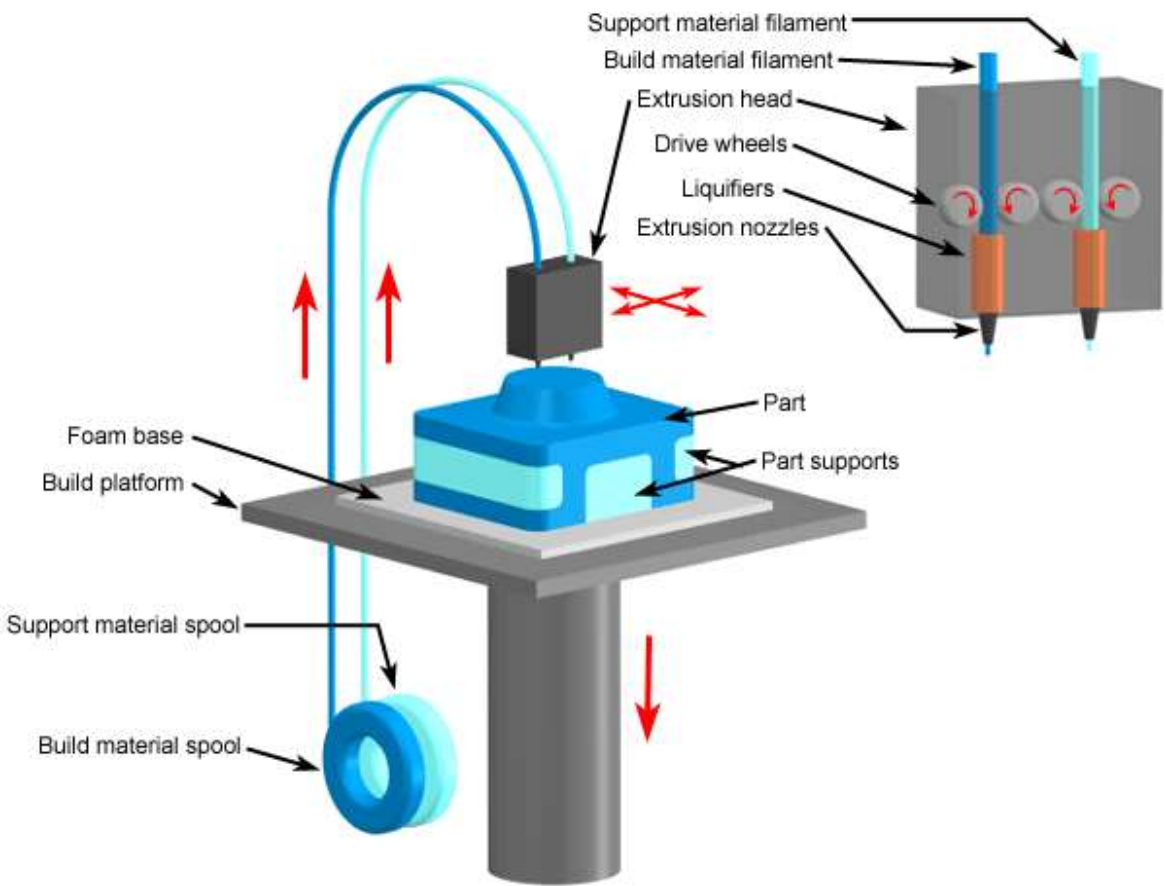


AM-TECHNOLOGIEN

- / Fused Filament Fabrication (FFF)
- / Selective Laser Melting/Sintering (SLM/SLS)
- / Stereolithographie (SLA)

AM-TECHNOLOGIEN

Fused Filament Fabrication (FFF)

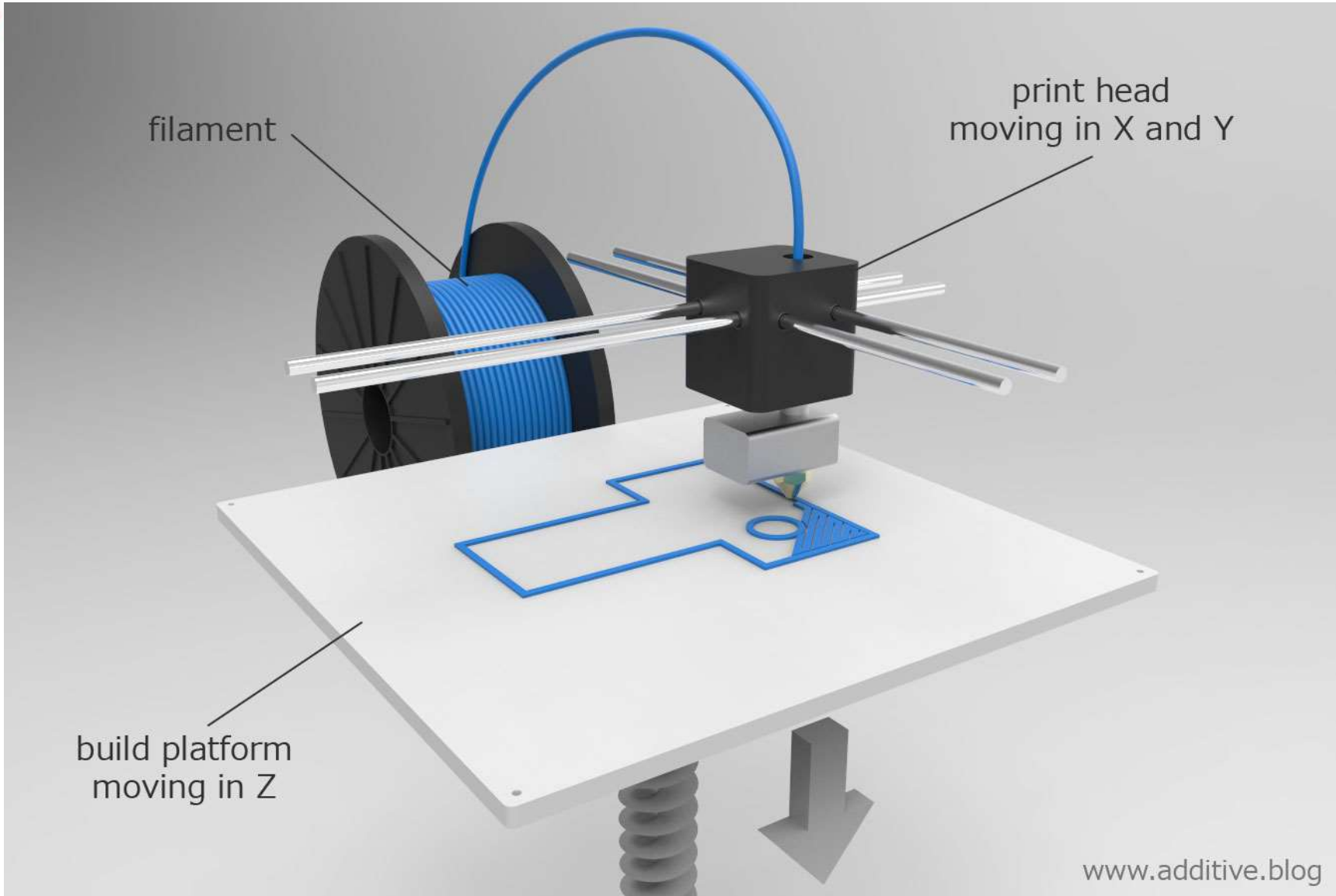


Gängige Begriffe:
 FDM (Fused Deposition Modeling, Stratasys Ltd.)
 FFF (Fused Filament Fabrication)
 FLM (Fused Layer Modeling, Begriff nach VDI 3405)

| VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE | | VDI-RICHTLINIEN | | Dezember 2014 November 2015 | |
|---|----|--|----|---|----|
| | | Additive Fertigungsverfahren Grundlagen, Begriffe, Verfahrensbeschreibungen Additive manufacturing processes, rapid manufacturing Basics, definitions, processes | | VDI 3405 | |
| | | | | Fung. Ausdrucksform Norm-Formallogik | |
| Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich. | | The German version of the standard shall be taken as author-itative. All provisions not in the German version shall be applied as written. | | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 |
| 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 |
| 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 |
| 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 |
| 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 |
| 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 |
| 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |
| 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |

Quelle: <http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling>

AM-TECHNOLOGIEN



on Modeling, Stratasys Ltd.)
fabrication)
deling, Begriff nach VDI 3405)

| VDI 3405 | |
|----------|-----|
| 1 | 1 |
| 2 | 2 |
| 3 | 3 |
| 4 | 4 |
| 5 | 5 |
| 6 | 6 |
| 7 | 7 |
| 8 | 8 |
| 9 | 9 |
| 10 | 10 |
| 11 | 11 |
| 12 | 12 |
| 13 | 13 |
| 14 | 14 |
| 15 | 15 |
| 16 | 16 |
| 17 | 17 |
| 18 | 18 |
| 19 | 19 |
| 20 | 20 |
| 21 | 21 |
| 22 | 22 |
| 23 | 23 |
| 24 | 24 |
| 25 | 25 |
| 26 | 26 |
| 27 | 27 |
| 28 | 28 |
| 29 | 29 |
| 30 | 30 |
| 31 | 31 |
| 32 | 32 |
| 33 | 33 |
| 34 | 34 |
| 35 | 35 |
| 36 | 36 |
| 37 | 37 |
| 38 | 38 |
| 39 | 39 |
| 40 | 40 |
| 41 | 41 |
| 42 | 42 |
| 43 | 43 |
| 44 | 44 |
| 45 | 45 |
| 46 | 46 |
| 47 | 47 |
| 48 | 48 |
| 49 | 49 |
| 50 | 50 |
| 51 | 51 |
| 52 | 52 |
| 53 | 53 |
| 54 | 54 |
| 55 | 55 |
| 56 | 56 |
| 57 | 57 |
| 58 | 58 |
| 59 | 59 |
| 60 | 60 |
| 61 | 61 |
| 62 | 62 |
| 63 | 63 |
| 64 | 64 |
| 65 | 65 |
| 66 | 66 |
| 67 | 67 |
| 68 | 68 |
| 69 | 69 |
| 70 | 70 |
| 71 | 71 |
| 72 | 72 |
| 73 | 73 |
| 74 | 74 |
| 75 | 75 |
| 76 | 76 |
| 77 | 77 |
| 78 | 78 |
| 79 | 79 |
| 80 | 80 |
| 81 | 81 |
| 82 | 82 |
| 83 | 83 |
| 84 | 84 |
| 85 | 85 |
| 86 | 86 |
| 87 | 87 |
| 88 | 88 |
| 89 | 89 |
| 90 | 90 |
| 91 | 91 |
| 92 | 92 |
| 93 | 93 |
| 94 | 94 |
| 95 | 95 |
| 96 | 96 |
| 97 | 97 |
| 98 | 98 |
| 99 | 99 |
| 100 | 100 |

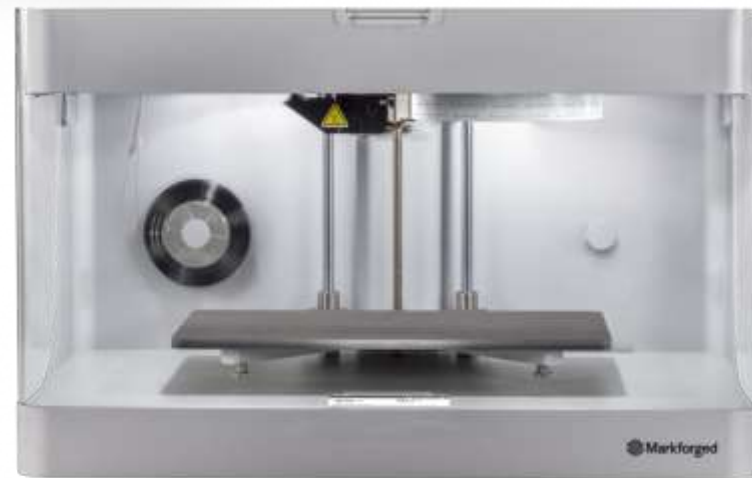
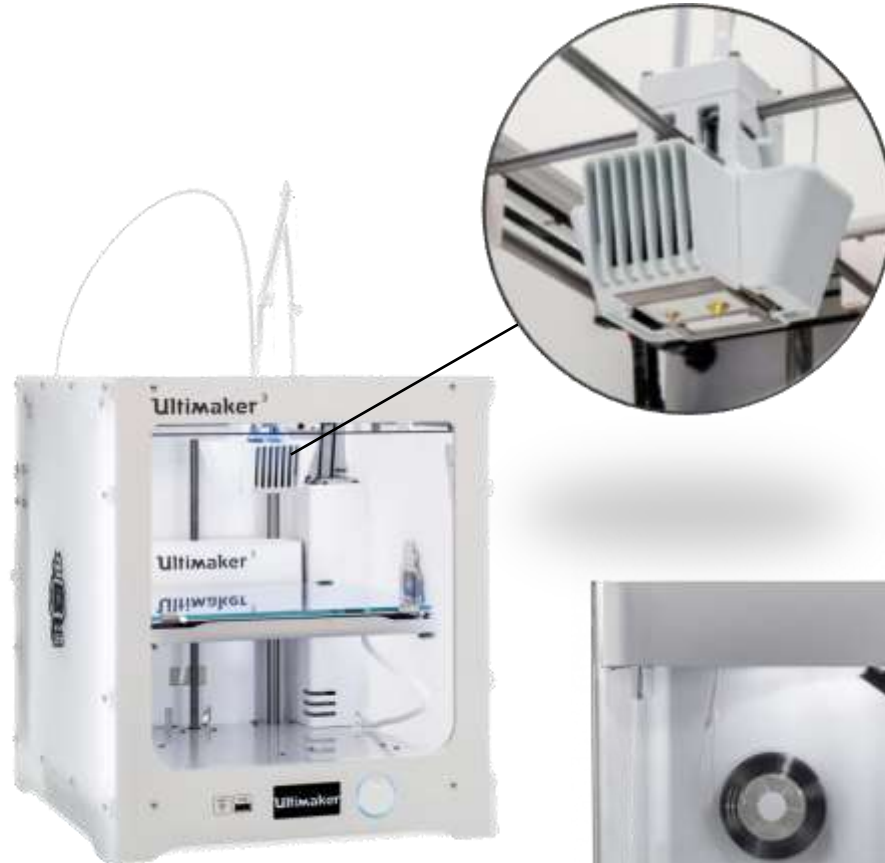
AM-TECHNOLOGIEN

Auszug: Industriegeräte ~ EUR 45.000 – 140.000 (FFF)



AM-TECHNOLOGIEN

Auszug: Desktopgeräte ~ EUR 3.000-12.000 (FFF)



AM-TECHNOLOGIEN

Vorteile: Fused Filament Fabrication (FFF)

- Große Materialvielfalt an technischen Kunststoffen
- Hohe Baulvolumina bis zu 1.000 l möglich
- Sauberkeit → kein Pulver/Staub
- Kein überschüssiges Material
- Ausgereifte Technik
- Kompakter Prozess (Aufstellbedingungen)
- Geringes Investvolumen
- Materialien vergleichsweise günstig
- Composite-Werkstücke möglich
- Indirekter Metalldruck möglich (SDS)

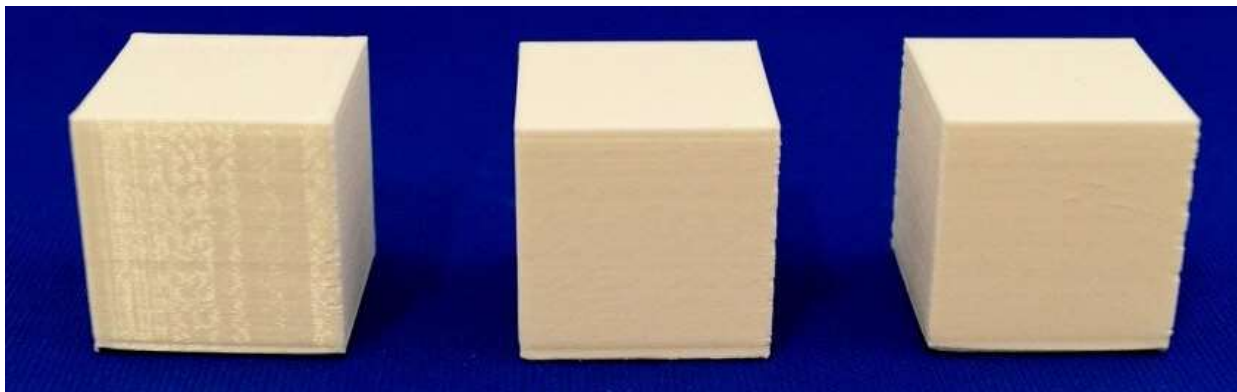


| | ABS | Flexible | PLA | HDPE | PETG | Nylon | Carbon Fiber FIBEL | ASA | Polycarbonate | Polypropylene | Metal FIBEL | Wood FIBEL | PVA |
|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------|---|---------------------------------------|------------------------------|---|---|------------------|---|---|--|---------------------------------|------------------------------|
| Learn More | Learn More | Learn More | Learn More | Learn More | Learn More | Learn More | Learn More | Learn More | Learn More | Learn More | Learn More | Learn More | Learn More |
| Composite Section | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Ultimate Strength | 88 MPa | 26 - 40 MPa | 65 MPa | 21 MPa | 65 MPa | 60 - 80 MPa | 48 - 68 MPa | 55 MPa | 75 MPa | 22 MPa | 55 - 80 MPa | 48 MPa | 11 MPa |
| Stiffness | 2.1 GPa | 0.1 GPa | 2.3 GPa | 0.1 GPa | 2.1 GPa | 2.5 GPa | 120 GPa | 2.7 GPa | 2.4 GPa | 0.1 GPa | 2.3 GPa | 0.1 GPa | 0.1 GPa |
| Durability | 4 - 12 | 4 - 12 | 4 - 12 | 4 - 12 | 4 - 12 | 10 - 15 | 10 - 15 | 10 - 15 | 10 - 15 | 4 - 12 | 4 - 12 | 4 - 12 | 4 - 12 |
| Maximum Service Temperature | 50 °C | 60 - 74 °C | 52 °C | 100 °C | 75 °C | 80 - 95 °C | 50 °C | 95 °C | 120 °C | 100 °C | 52 °C | 52 °C | 75 °C |
| Coefficient of Thermal Expansion | 68 ppm/K | 157 ppm/K | 68 ppm/K | 68 ppm/K | 68 ppm/K | 95 ppm/K | 57.5 ppm/K | 68 ppm/K | 68 ppm/K | 150 ppm/K | 32.75 ppm/K | 32.75 ppm/K | 68 ppm/K |
| Density | 1.04 g/cm³ | 1.19 - 1.23 g/cm³ | 1.24 g/cm³ | 1.03 - 1.04 g/cm³ | 1.25 g/cm³ | 1.38 - 1.14 g/cm³ | 1.3 g/cm³ | 1.07 g/cm³ | 1.2 g/cm³ | 0.9 g/cm³ | 2 - 4 g/cm³ | 1.15 - 1.25 g/cm³ | 1.23 g/cm³ |
| Price per kg | 1.03 - 1.48 | 1.00 - 1.75 | 1.10 - 1.40 | 1.00 - 1.30 | 1.00 - 1.50 | 1.20 - 1.60 | 1.00 - 1.40 | 1.00 - 1.40 | 1.40 - 1.75 | 1.60 - 1.00 | 1.50 - 1.20 | 1.20 - 1.00 | 1.40 - 1.10 |
| Printability | 4 - 12 | 4 - 12 | 4 - 12 | 4 - 12 | 4 - 12 | 4 - 12 | 4 - 12 | 4 - 12 | 4 - 12 | 4 - 12 | 4 - 12 | 4 - 12 | 4 - 12 |
| Extruder Temperature | 230 - 250 °C | 220 - 240 °C | 180 - 220 °C | 230 - 240 °C | 230 - 250 °C | 220 - 270 °C | 230 - 250 °C | 230 - 250 °C | 230 - 250 °C | 220 - 250 °C | 180 - 220 °C | 180 - 220 °C | 180 - 220 °C |
| Bed Temperature | 30 - 110 °C | 40 - 60 °C | 40 - 60 °C | 100 - 110 °C | 70 - 90 °C | 70 - 90 °C | 40 - 60 °C | 60 - 110 °C | 60 - 120 °C | 60 - 110 °C | 40 - 60 °C | 40 - 60 °C | 40 - 60 °C |
| Heated Bed | Required | Optional | Optional | Required | Required | Required | Optional | Required | Required | Required | Optional | Optional | Required |
| Recommended Build Surfaces | Kapton Tape, ABS Slurry | PE, Pinner's Tape | Pinner's Tape, Glass Plate, Kapton Tape, PE | Glass Plate, Glass Plate, Kapton Tape | Glass Plate, Pinner's Tape | Glass Plate, PE | Pinner's Tape, Glass Plate, Glass Plate PEI | Glass Plate, PEI | PE, Commercial Adhesive, Glass Plate | PEI, Commercial Adhesive, Glass Plate | Pinner's Tape, Kapton Tape, PEI | Pinner's Tape, Glass Plate, PEI | PEI, Pinner's Tape |
| Other Hardware Requirements | Heated Bed, Enclosure Recommended | Part Cooling Fan | Part Cooling Fan | Heated Bed, Enclosure Recommended | Heated Bed, Part Cooling Fan | Heated Bed, Enclosure Recommended, May Require All Metal Heated | Part Cooling Fan | Heated Bed | Heated Bed, Enclosure Recommended, All Metal Heated | Heated Bed, Enclosure Recommended, Part Cooling Fan | Wear Resistant or Stainless Steel Nozzle, Part Cooling Fan | Part Cooling Fan | Heated Bed, Part Cooling Fan |
| Flexible | - | ✓ | - | - | - | ✓ | - | - | - | ✓ | - | - | ✓ |
| Elastic | - | ✓ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Impact Resistant | ✓ | - | - | ✓ | - | ✓ | - | ✓ | ✓ | - | - | - | - |
| Soft | - | ✓ | - | - | - | - | - | - | - | ✓ | - | - | ✓ |
| Composite | - | - | - | - | - | - | ✓ | - | - | - | ✓ | ✓ | - |
| UV Resistant | - | - | - | - | - | - | - | ✓ | - | - | - | - | - |
| Water Resistant | - | - | - | - | ✓ | - | - | - | ✓ | - | - | - | - |
| Dissolvable | - | - | - | ✓ | - | - | - | - | - | - | - | - | ✓ |
| Heat Resistant | ✓ | - | - | ✓ | - | ✓ | - | ✓ | ✓ | ✓ | - | - | ✓ |
| Chemically Resistant | - | - | - | - | ✓ | - | - | - | ✓ | ✓ | - | - | ✓ |
| Fatigue Resistant | - | ✓ | - | ✓ | ✓ | ✓ | - | - | ✓ | ✓ | - | - | ✓ |
| Heated Bed Not Required | - | ✓ | ✓ | - | - | - | ✓ | - | - | - | ✓ | ✓ | ✓ |

AM-TECHNOLOGIEN

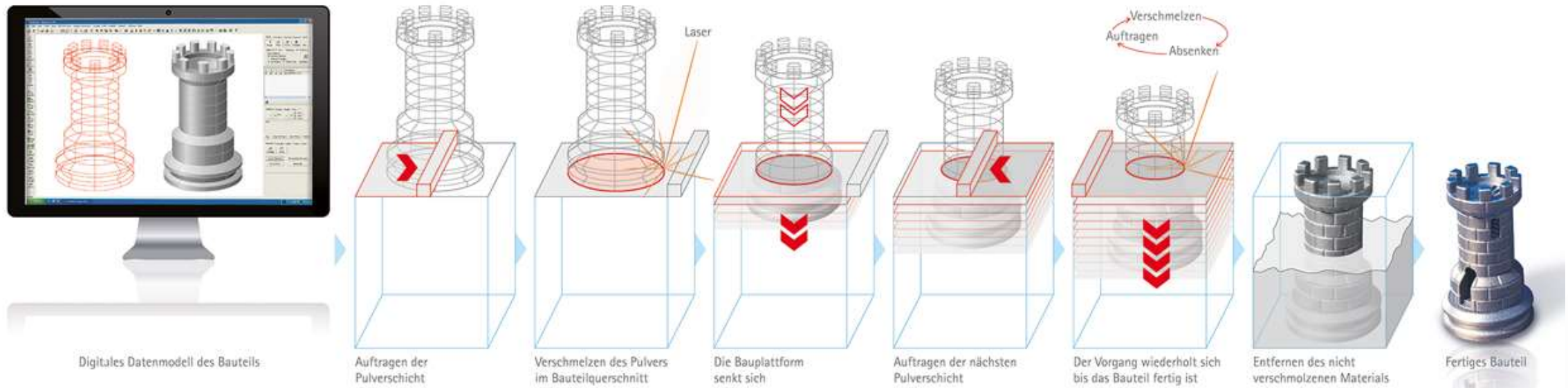
Nachteile: Fused Filament Fabrication (FFF)

- Geriffelte Oberflächenstruktur (Z-Achse)
- Stützmaterialien notwendig (langsame Abkühlung)
- Nachbearbeitungsprozesse notwendig und z.T. aufwendig
- Geringere Festigkeit in Z-Richtung



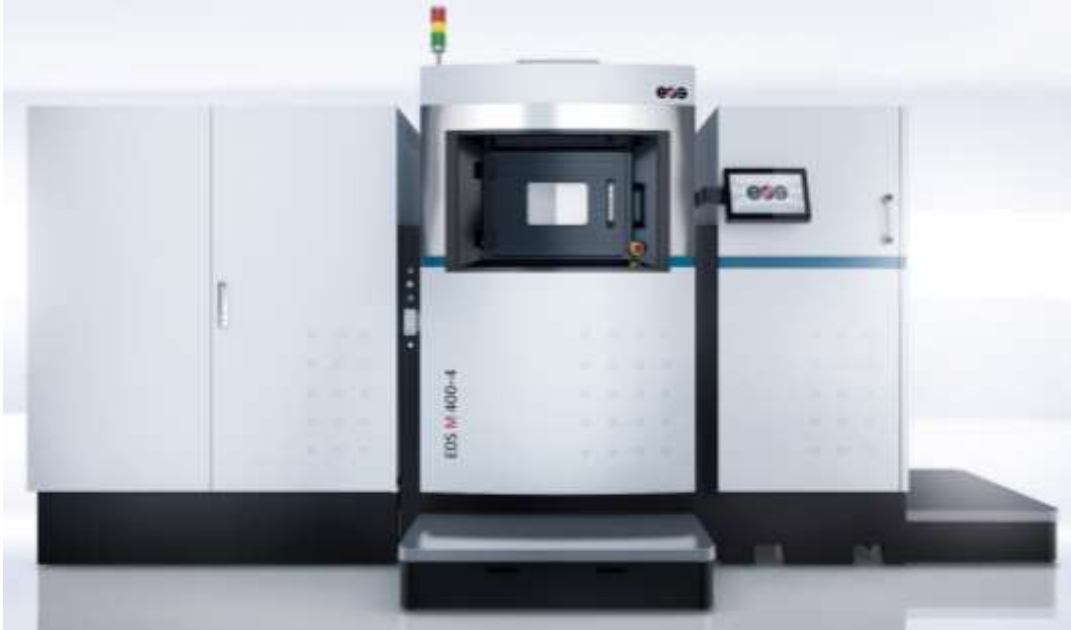
AM-TECHNOLOGIEN

Selective Laser Melting/Sintering (SLM/SLS)



AM-TECHNOLOGIEN

Auszug: Industriergeräte ~ EUR 250.000 – 500.000 (SLM)



AM-TECHNOLOGIEN

Vorteile: Selective Laser Melting/Sintering (SLM/SLS)

- Große Materialvielfalt → Metalle und Polymere (Pulver)
- Sehr hohe Festigkeiten/Steifigkeiten
- Neue Geometrien und Bauteile möglich
- Hohe Detailgenauigkeit der Werkstücke
- Wiederverwendbarkeit des Pulvers
- Bei Kunststoffen keine Stützstrukturen notwendig
- Gewichtsreduktion bis zu 30%

Beispiel: Werkzeug- und Formenbau

Bei dieser Vorkammerbuchse wurde eine optimale Temperierung sowie ein thermisches Entkoppeln der Heißkanaldüsen erreicht. Konventionell lassen sich diese Temperierkanäle nicht fertigen.



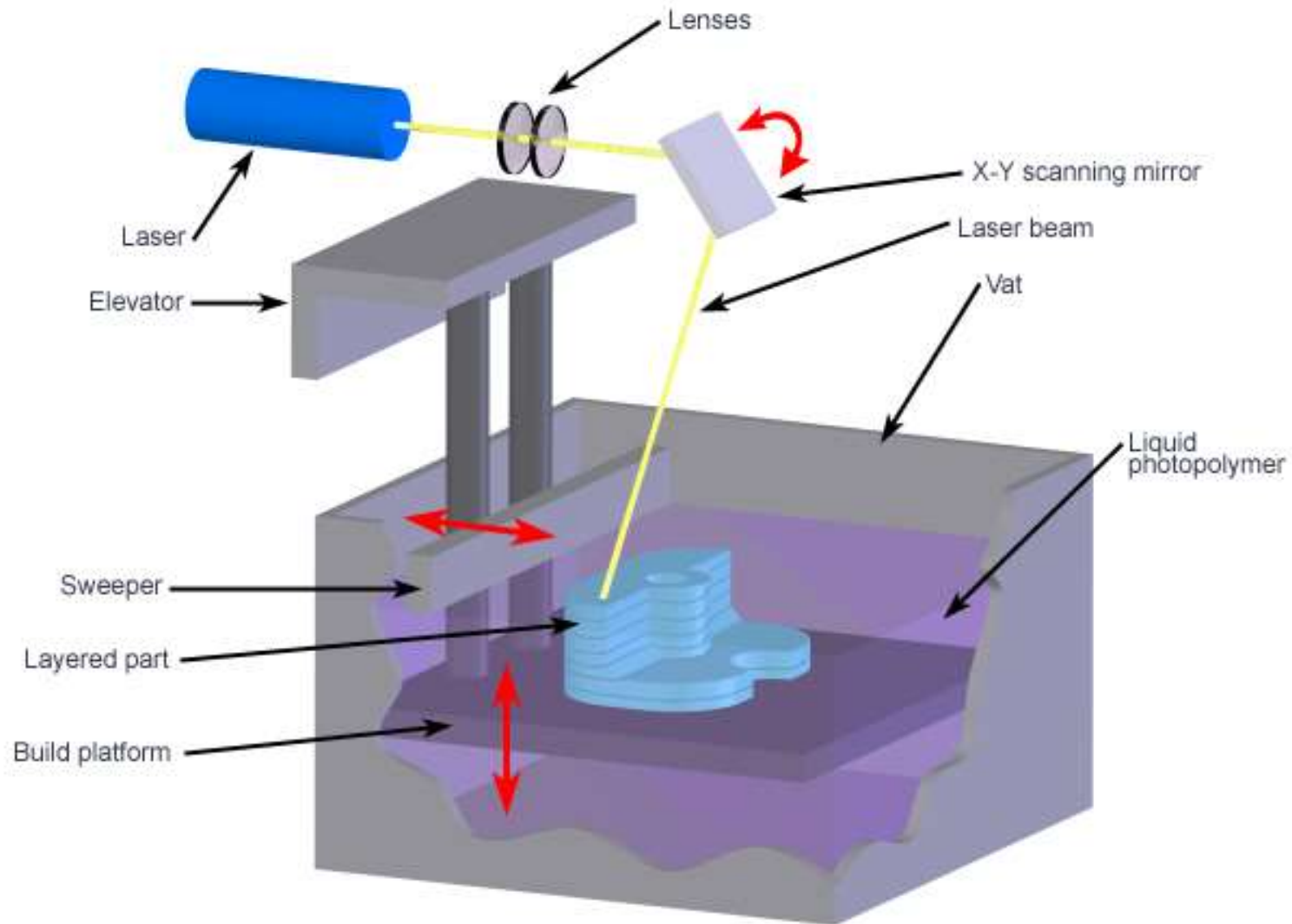
AM-TECHNOLOGIEN

Nachteile: Selective Laser Melting/Sintering (SLM/SLS)

- Lediglich ein Material verarbeitbar
- Kleine Bauvolumina
- Raue Oberflächen bei grobkörnigem Pulver
- Hoher Energiebedarf
- Hohe Anschaffungskosten (kEUR 250-500)
- Spezielle Anforderungen an die Umgebung
- Staubbelastung (Arbeitsplatz!)
- Intensive Reinigungsarbeiten
- Wenige Vormateriallieferanten
- Wärmebehandlung notwendig
- Nachbehandlung (Strahlen, Schleifen, Fräsen, Drehen) notwendig
- Recycling des Pulvers ist aufwendig
- Gaslager notwendig (Stickstoff, Argon)

AM-TECHNOLOGIEN

Stereolithographie (SLA)



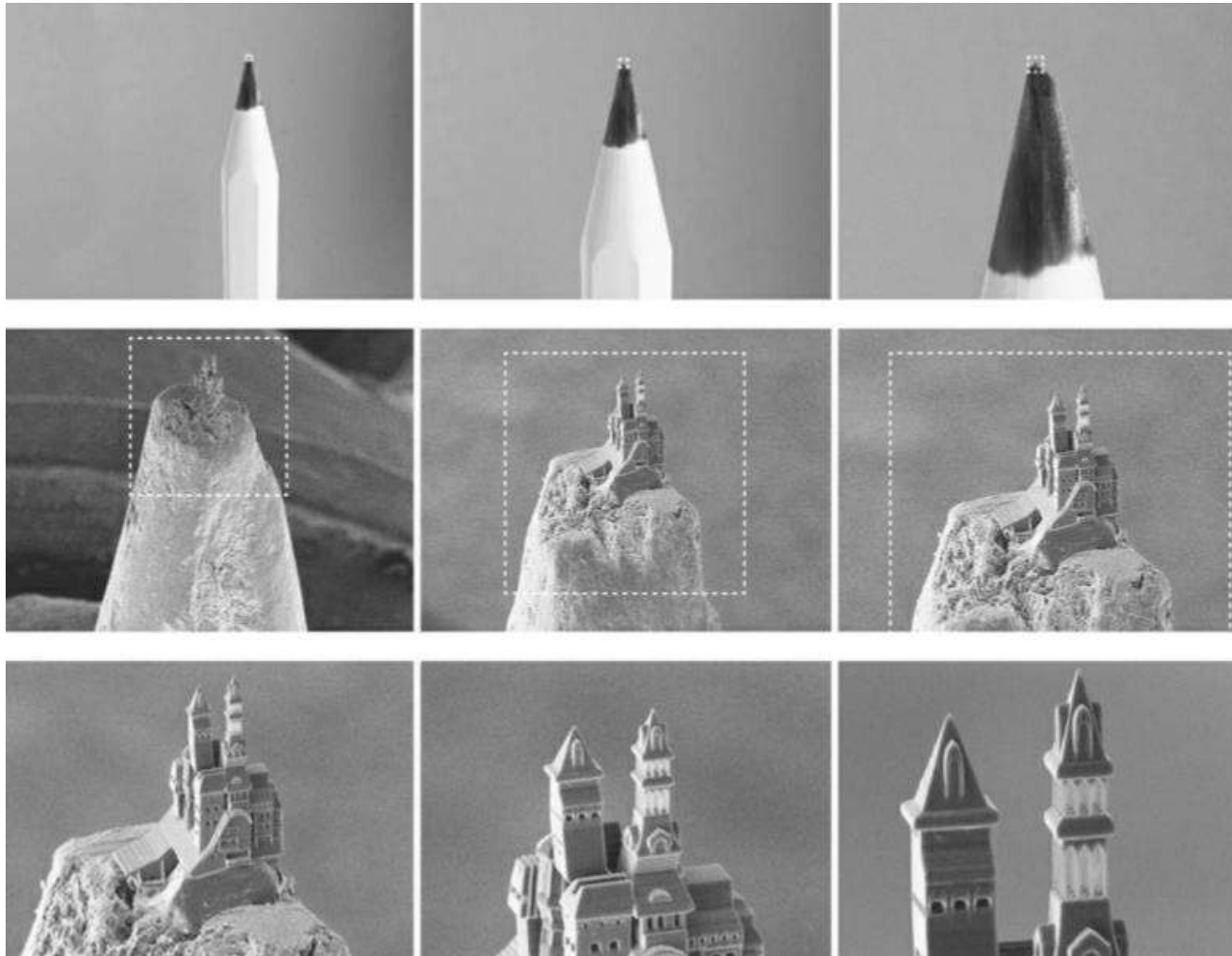
AM-TECHNOLOGIEN

Stereolithographie (SLA)



AM-TECHNOLOGIEN

Stereolithographie (SLA)



Quelle: https://amt.tuwien.ac.at/projects/multiphoton_lithography/

AM-TECHNOLOGIEN

Vorteile: Stereolithographie (SLA)

- Seit 1988 für den industriellen Einsatz qualifiziert
- Genaueste Technologie → Laserstrahl: 0,076 – 0,013 mm
- Schichtstärke: 0,02 mm
- Geringe Investkosten ab EUR 3.000
- Mehr als 3.300 verschiedene Systeme im Einsatz

Nachteile: Stereolithographie (SLA)

- Lediglich lichtempfindliches Kunstharz (Photopolymer) verarbeitbar
- Stützstrukturen sind aus dem gleichen Material
- Intensive Reinigung der Teile mit z.B. Isopropanol (Gefahren)
- Zum Teil nur kleine Bauvolumina realisierbar
- Überschüssiges Material ist unvermeidbar
- Bedingte Haltbarkeit des Harzes (Temperatur, UV-Strahlung)
- Schlechte UV-Beständigkeit der Fertigteile



USE-CASES

USE-CASE 1: VAKUUMGREIFER

Ausgangssituation:

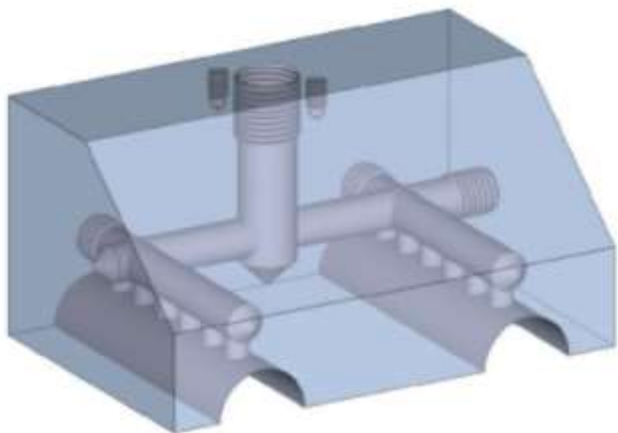
Bauteil wird konventionell gefertigt (Bohrungen, Blindstopfen,...), Bauteilgewicht ist nicht zufriedenstellend, Fertigungspreis ist hoch EUR 300,-

Lösungsansatz:

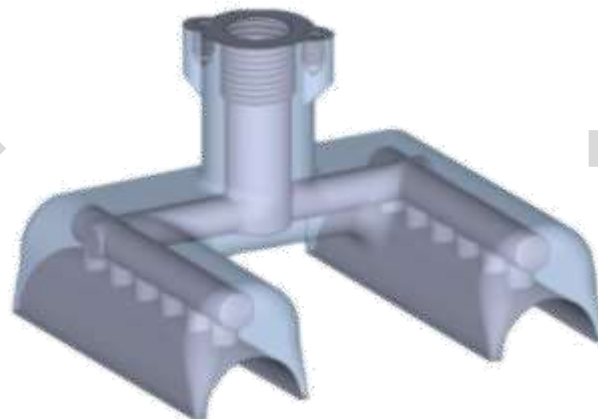
3D-Druck, eigene Anpassung der Konstruktion um Material zu sparen, Optimierung der Konstruktion durch AM-Fertigerer

Ergebnis:

-94% Materialeinsatz, EUR 150,-



IST: 242.900 mm³
EUR 300,-



Design Kunde: 50.590 mm³
EUR 317,-



Design Fertigerer: 15.150 mm³
EUR 150,-

USE-CASE 2: EXTRAKTIONSGREIFER (SSI DE)

Ausgangssituation:

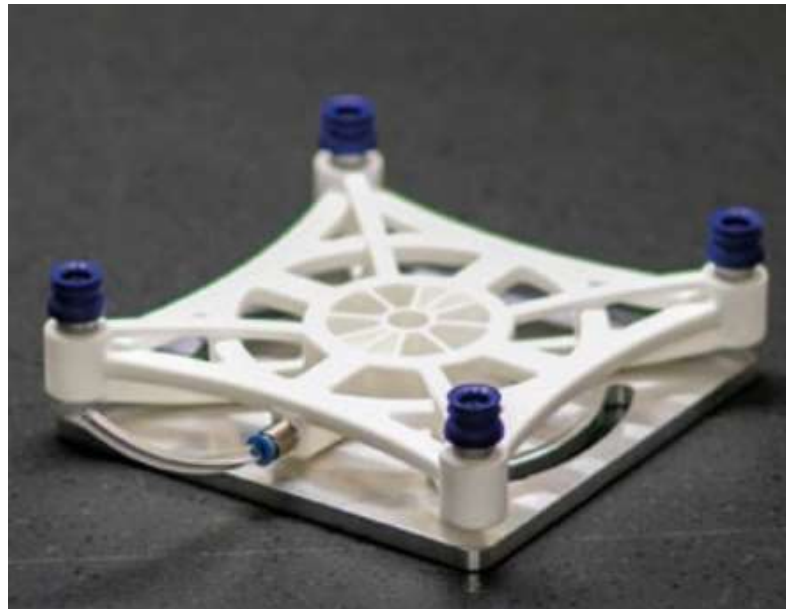
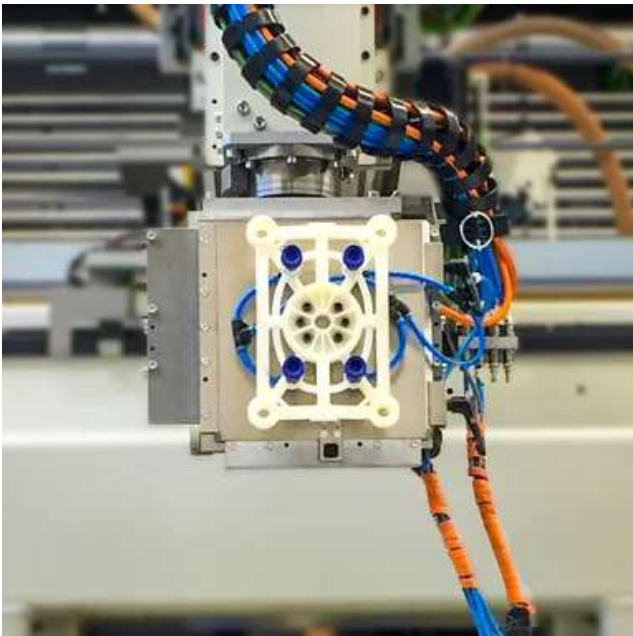
Zuverlässigkeit und Geschwindigkeit der Sauggreifer war unzufrieden stellend, Bauweise aus Aluminiumprofilen, schwierig einzustellen, lange Beschaffungszeit

Lösungsansatz:

3D-Druck, gemeinsame Entwicklung mit EOS

Ergebnis:

-70% Materialeinsatz, -80% Einrichtzeit, +120h Produktionszeit, Beschaffungszeit wenige Tage



USE-CASE 3: GREIFSYSTEM FÜR KUGELLAGER

Ausgangssituation:

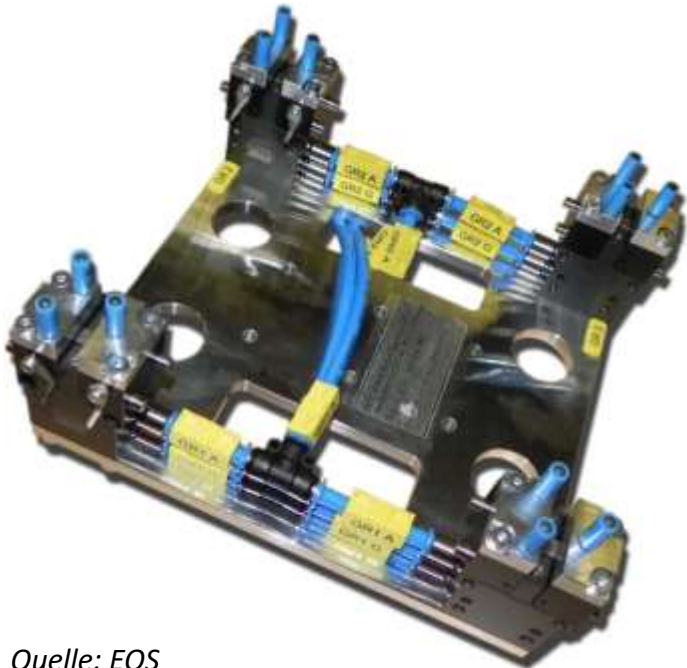
Greifsystem für Entnahme von Teilen aus Maschine soll optimiert werden, Gewicht ist zu hoch, teuer in der Herstellung

Lösungsansatz:

3D-Druck, gemeinsame Entwicklung mit EOS, Integration einer Membranfunktion

Ergebnis:

-19 Teile (21 → 2), -1350g (-86%), -50% der Kosten, Produktionsdauer 2 statt 12 Tage



USE-CASE 4: END-USE PARTS IM MODELLBAU

- Serienfertigung von Modell-Eisenbahn
- Insgesamt werden für einen Schneepflug fünf Komponenten additiv hergestellt:
 - das Chassis, das Dach, ein Kamin
 - zwei Fahrwerkskomponenten.
- Druck seit 2 Jahren fast dauerhaft mit 24/7 im Einsatz
- ASA als Werkstoff aufgrund der besseren UV – Beständigkeit gg. ABS
- Chassis: 340 x 115 x 135 mm mit 0,5 kg
- Druckzeit: rund 26h
- Kunde: Fa. Hermann3D GbR (Westhausen, D)



USE-CASE 5: END-USE PARTS BEI OLDTIMERN

[Oldtimer-Ersatzteile aus dem 3D-Drucker - steiermark.ORF.at](https://www.steiermark.orf.at/oldtimer-ersatzteile-aus-dem-3d-drucker)

[Oldtimerparts | Rekonstruktion & 3D-Druck für Oldtimerteile](#)

DISKUSSION UND FRAGEN

THINGIVERSE

[SCREWDRIVER HANDLE by Namurei - Thingiverse](#)