



TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
BERGAKADEMIE FREIBERG

Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.

# ADDITIVE FERTIGUNG an der TUBAF



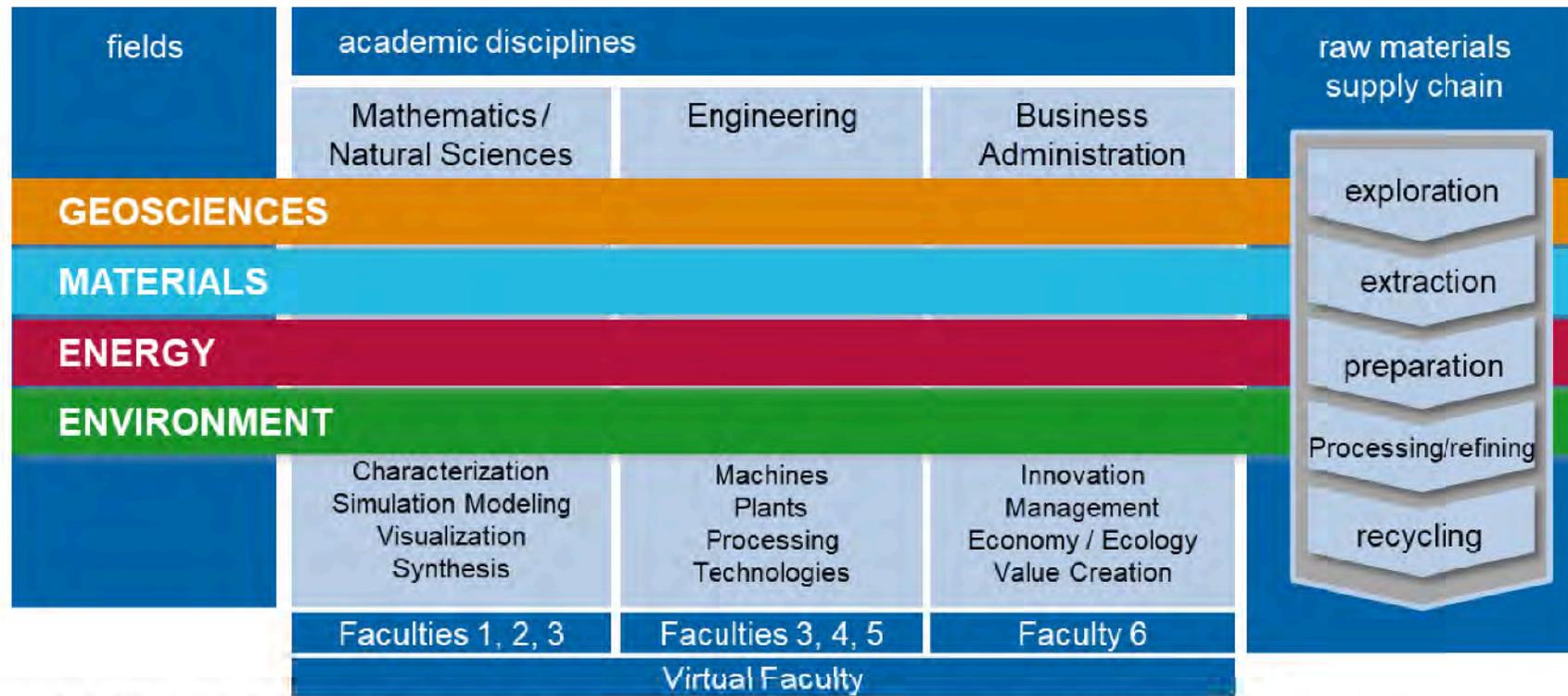
## Kurzüberblick



TU Bergakademie Freiberg | Institut für Maschinenelemente, Konstruktion und Fertigung | Professur für Additive Fertigung  
Agricolastraße 1 | 09599 Freiberg DE | Tel.: +49 3731 39 2986 | <http://www.imkf.tu-freiberg.de> | Prof. Dr.-Ing. Henning Zeidler



# Profil der TUBAF



Faculty 1: **Mathematics and Informatics**, Faculty 2: **Chemistry and Physics**, Faculty 3: **Geosciences, Geotechnology, Mining**,  
 Faculty 4: **Mechanical Engineering, Processing and Energy Technology**, Faculty 5: **Materials and Material Technology**, Faculty 6: **Business Administration**





# DEFINITION (VDI 3405)

„Bei additiven Fertigungsverfahren erfolgt die **Fertigung** nicht materialabtragend aus einem massiven Körper wie beim Fräsen, sondern **materialzufügend**, also additiv.

Das heißt, **die Bauteile entstehen schichtweise** durch Hinzufügen von Ausgangsmaterial oder durch Phasenübergang eines Materials vom flüssigen oder pulverförmigen in den festen Zustand.

Die Fertigung erfolgt **ohne Verwendung von Formen und Werkzeugen.**“



Additive Fertigung

# HERAUSFORDERUNGEN

Zielstellung: funktionales Bauteil

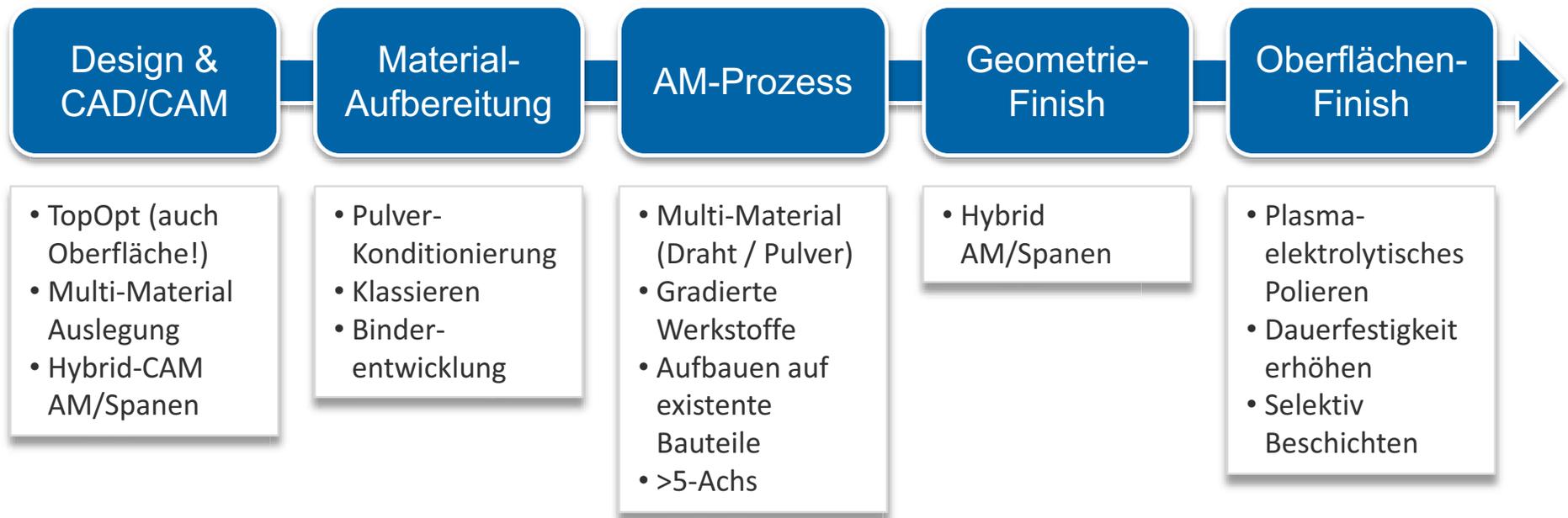
1. Eigenschaften **kennen**
2. Eigenschaften gezielt **einstellen**
3. Optimal **fertigen**

Voraussetzung: Verständnis

- Material
- Prozess
- Prozesskette



# PROZESSKETTE



## 3DP MIT NACHWACHSENDEN ROHSTOFFEN

- Nutzung von biologischen und bioabbaubaren Materialien
  - Upcycling von Reststoffen
  - Lokal spezifisch vorhandene Rohstoffe
- 
- ➔ Entwicklung von Pulver/Binder Kombinationen
  - ➔ Entwicklung von Maschinentchnik (Materialvarianz/Bauteilgröße/Portabilität)
  - ➔ Auslegung von Anwendungen



3D Printing mit nachwachsenden Rohstoffen (© BTE)



Miscanthusschilf als Rohstoff für AM, Bauteil

# MATERIALAUSWAHL



# PLASMA-ELEKTROLYTISCHES POLIEREN

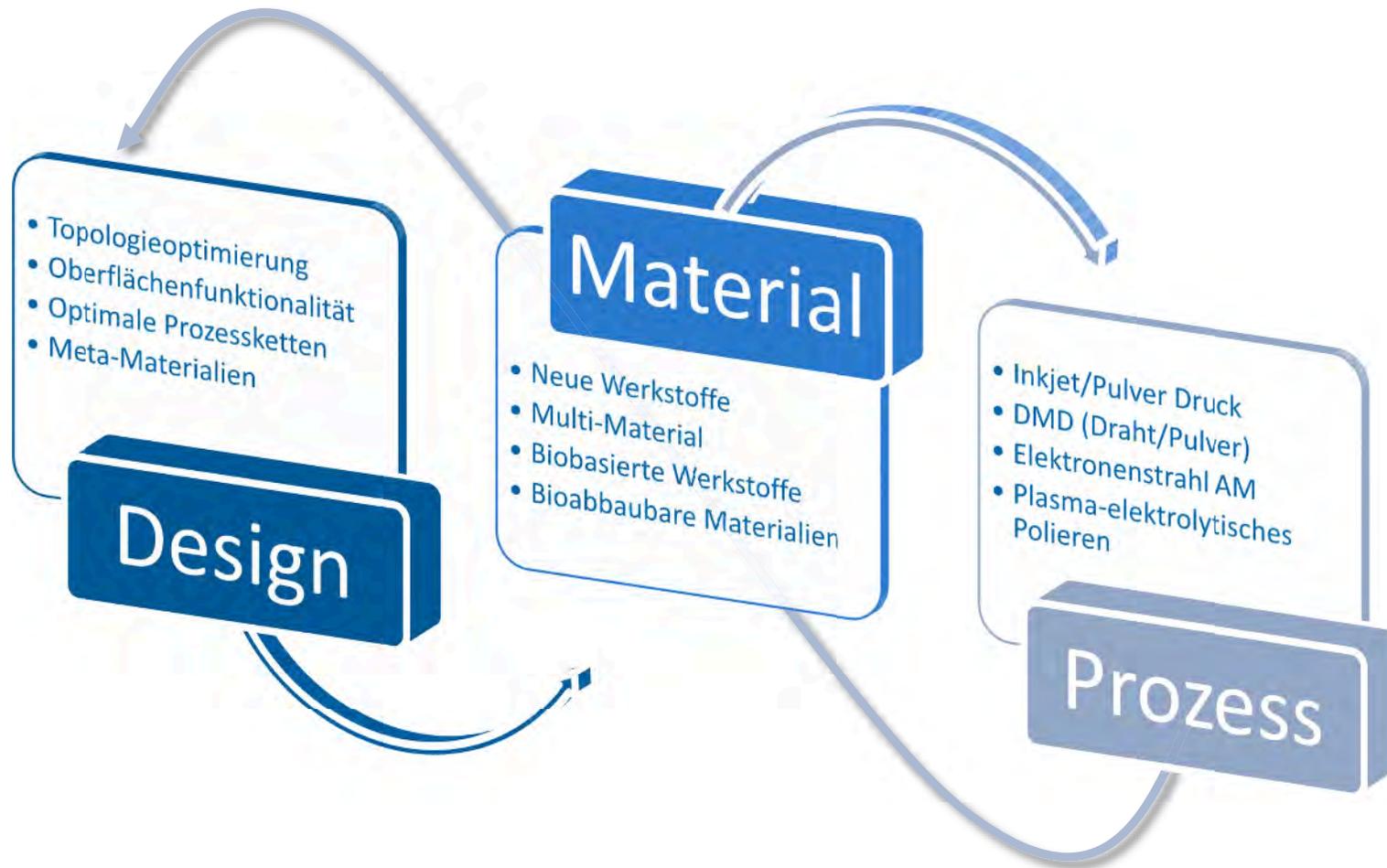
- Entgraten, glätten und glänzen von metallischen Bauteilen
- Komplexe Geometrien polierbar
- Rauheitsreduktion -> Erhöhung der Dauerfestigkeit
- ➔ Entwicklung von Elektrolyt/Legierung Kombinationen
- ➔ Entwicklung von Maschinenteknik (Bauteilgröße/Selektivität/Innenbearbeitung)
- ➔ Definition von Oberflächenanforderungen



PeP von Messing (© BTE)



PeP von Ti-Dentalgußteilen, Stahlnetz, Schweißnähten





AM zum aktuellen Zeitpunkt

# HYPE -> REALITÄT

**tct** ACCELERATING 3D TECHNOLOGIES

NEWS | IMAGING | SOFTWARE | SERVICES | TCT EVENTS | BLOGS

Home / News /  
30 October 2017 17:04

**Additive manufacturing to play key role in £455bn UK manufacturing potential**  
by Laura Grubbs

RSS Print

A government-commissioned review on industrial digitalisation in the UK, has pinpointed additive manufacturing (AM) as one of the major innovations that could catapult the UK manufacturing economy to £455 billion over the next

NEWSLETTER SIGNUP | CONTINUING EDUCATION CENTER | FOCUS ON

**DesignNews**  
Serving the 21st Century Design Engineer

Automation & Motion Control | Design Hardware & Software | Electronics & Test | Materials & Assembly

Home

**Siemens and HP Team Up to Advance Additive Manufacturing**  
Siemens PLM and HP have partnered to support the adoption and advancement of additive manufacturing.

by Rob Spiegel in 3D Printing, Materials & Assembly on October 04, 2017

f in t e

Siemens PLM and HP Inc. have created a partnership to advance their 3D printing tools for industrial design and production. Siemens has created an HP-certified additive manufacturing (AM) software module. The module, Siemens NX AM for HP Multi Jet Fusion, is now an extension to Siemens' solution for additive manufacturing.

ENGINEERING.COM | INFORM | INSPIRE

NEWS | INDUSTRIES | JOBS | GAMES | VIDEOS

Designer Edge | CAD/CAE | PLM/ERP | CAM | Manufacturing | Electronics | 3D Printing | BIM

**MANUFACTURING** | Articles | Quality | Production Technology | Automation

Current Articles | Archives

**World's Largest Titanium Additive Manufacturing Facility Opens in New York**

Issar Mavi posted on October 06, 2017 | 2680 views

**METAL**

HOME | MAGAZINE | ARCHIVE | NEWS | E-NEWS

DIGITAL METAL | SMALL IS THE NEW BIG | LEADING MANUFACTURING

**GE sees potential in 'self-inspecting' metal Additive Manufacturing systems**

October 27, 2017

more...

The view inside an AM system's built chamber (courtesy Concept Laser)

General Electric (GE) reports that researchers at its Additive Research Lab, GE Global Research, Niskayuna, New York, USA, are working to combine

**BeamIT opens Additive Manufacturing Competence Centre**

October 13, 2017

more...

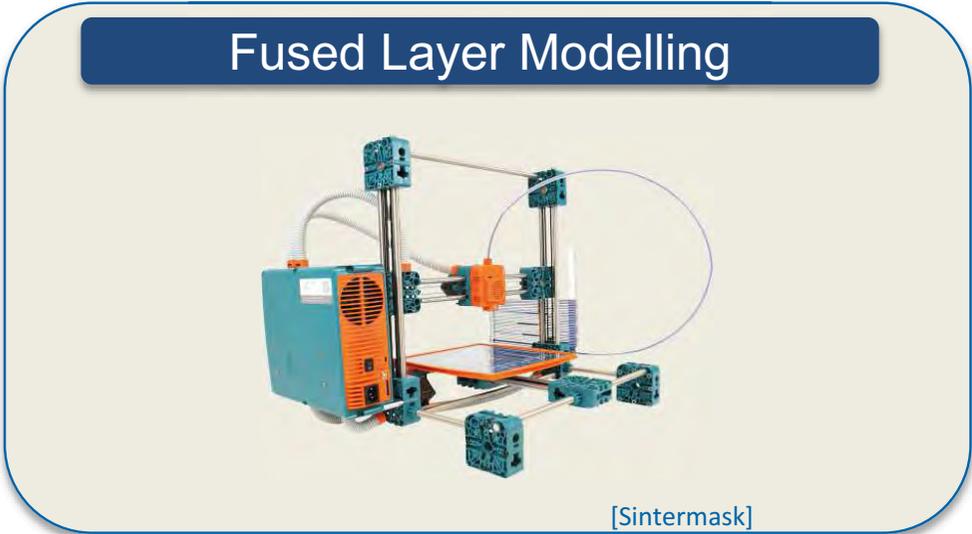
BeamIT SpA, Forlivo, Italy, has opened a new Additive Manufacturing Competence Centre (AMCC). The specialised technology centre will also support its customers, thus making the field of



2.1 Urformen

# EXKURS: „3D DRUCK“ ≠ 3D DRUCK

- Stereolithographie
- Laser-Strahlschmelzen
- Elektronen-Strahlschmelzen
- Multi-Jet Modeling
- Poly-Jet Modeling
- Thermotransfer-Sintern
- Digital Light Processing
- Layer Laminated Manufacturing
- Laser-Sintern



www.uni-due.de/fertigungstechnik

# BESONDERE KENNZEICHEN ADDITIVER FERTIGUNGSVERFAHREN

- die Generierung der Schichtgeometrie erfolgt direkt aus den 3D-CAD-Daten
- keine produktspezifischen Werkzeuge notwendig
- die Erzeugung der mechanisch-technologischen Eigenschaften geschieht während des Bauprozesses
- die Datensätze können grundsätzlich in jeder beliebigen Orientierung gebaut werden (Entfall der Spannproblematik)
- alle heute auf dem Markt befindlichen Maschinen können mit dem gleichen (STL)-Datensatz angesteuert werden



## 2.1 Urformen

# TECHNOLOGISCHE PROZESSKETTE

1. CAD Modell
2. Modellaufbereitung
3. Prozessvorbereitung
4. Bauprozess
5. Nachbearbeitung
6. Anwendung

## 2.1 Urformen

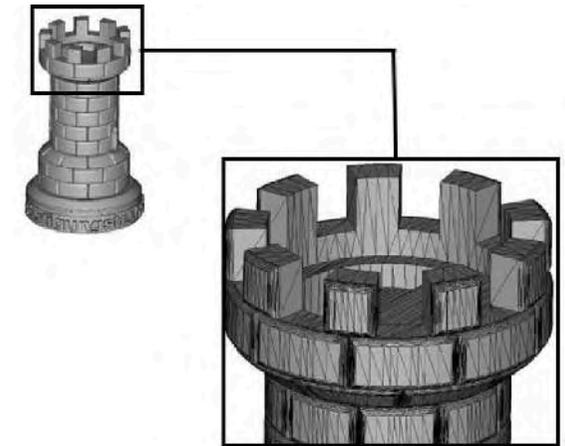
# VERFAHRENSABLAUF

### 1. 3D-CAD-Modell

- Ausgangspunkt des Fertigungsprozesses
- Die 3D-CAD-Daten stammen aus der Konstruktion, dem Reverse Engineering oder aus der Medizin (Computertomographie)
- Formate z. B.: STL, IGES, STEP

### 2. Triangulation

- Möglichst genaue Annäherung der Geometrieoberfläche durch Dreiecke
  - Triangulationsfehler treten verstärkt an stark gekrümmten Freiformflächen auf
- Anzahl der Dreiecke so **genau wie nötig**, aber nicht so **genau wie möglich gestalten**.
- Die Überprüfung der Geometrie des Bauteils ist nach der Triangulation unabdingbar



STL-Modell mit triangulierter Oberfläche



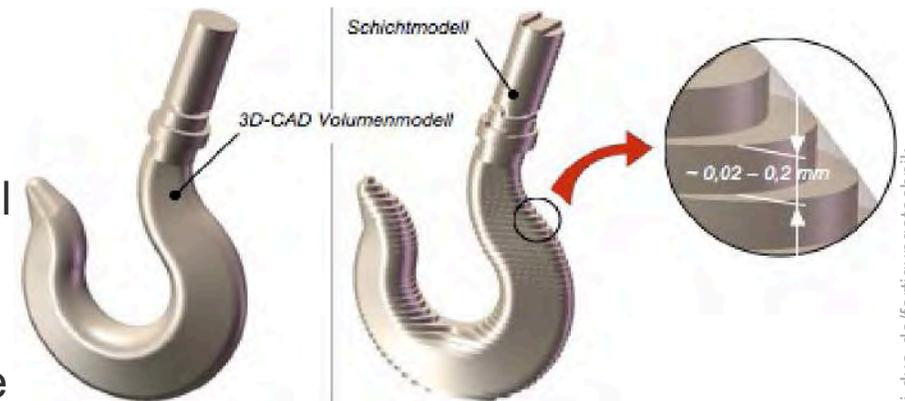
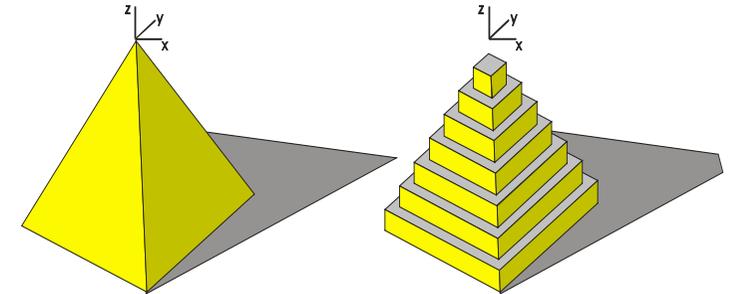
Gefertigtes Bauteil

## 2.1 Urformen

# VERFAHRENSABLAUF

### 3. Modellaufbereitung

- Bauteil (STL-Modell) in Schichten „zerlegen“
- Für jede Schicht werden Geometrieinformationen für den Bauvorgang erzeugt
- „Stufeneffekt“ an Rundungen, Freiformflächen und stumpfen Winkeln
- geringe Oberflächenqualität
- Für gute Oberflächenqualität und -genauigkeit sollten gerade Bauteilflächen möglichst vertikal oder horizontal im Bauraum angeordnet sein
- Stufeneffekte werden minimiert.
- Je größer die Schichtdicke ist, desto kürzer die ist Bauzeit aber der Stufeneffekt wird größer.



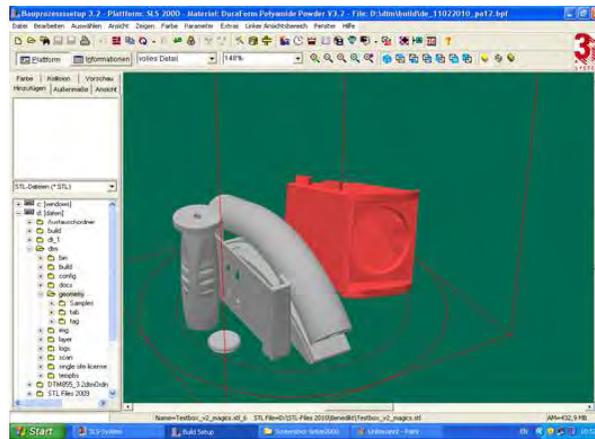
## 2.1 Urformen

# VERFAHRENSABLAUF

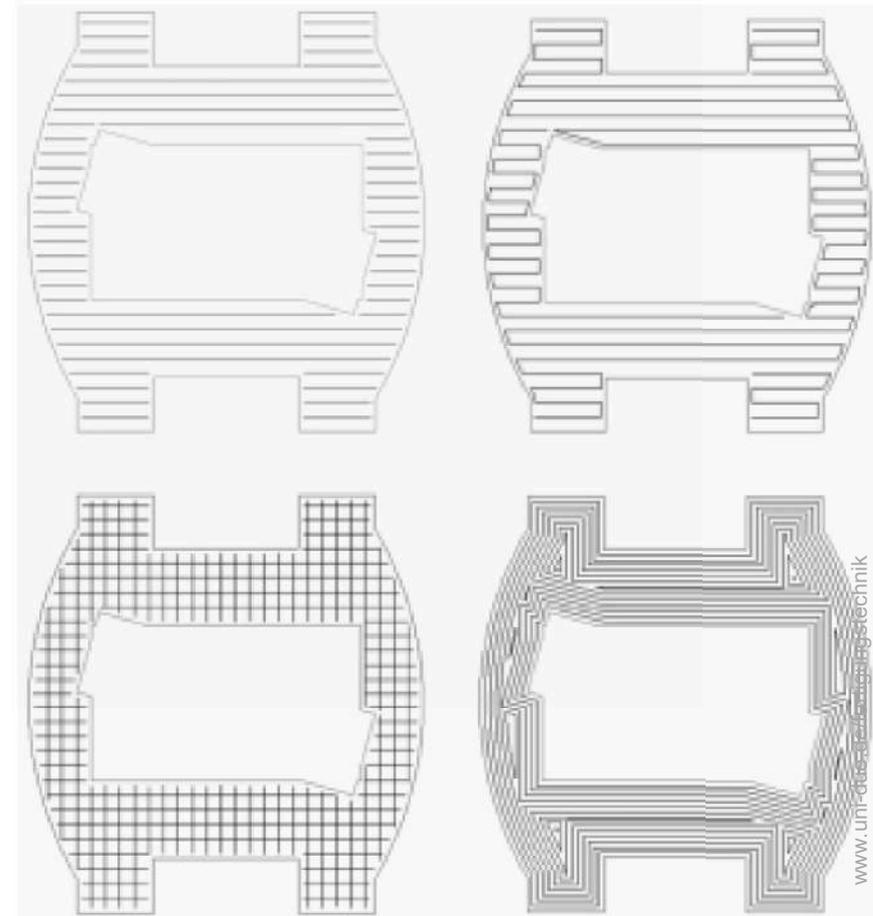
### 4. Prozessvorbereitung:

- Schichtinformationen werden mit Steuerinformationen in der Anlage verknüpft
- Materialspezifische Verarbeitungseigenschaften sind zu beachten
- Scannen: Pfade berechnen, die während des Bauprozesses abgefahren werden

### Bauteilorientierung



### Unterschiedliche Scan-Strategien



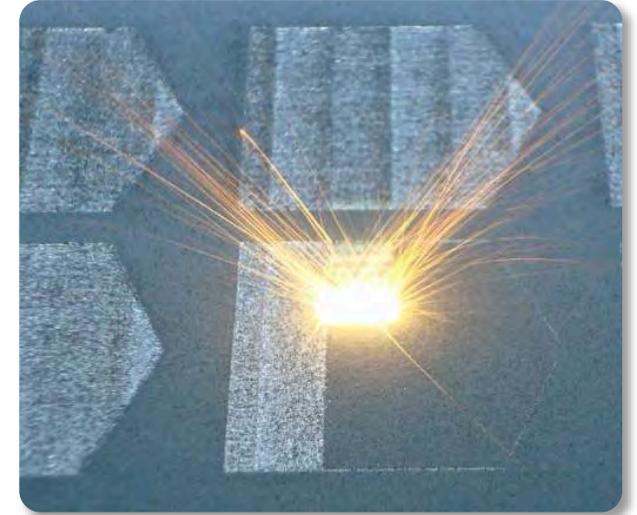
www.uni-due.de/~img/abg/abgstechnik

## 2.1 Urformen

# VERFAHRENSABLAUF

### 5. Bauprozess:

- Ausgangsmaterialschicht wird auf die Bauplattform aufgebracht
- Ausgangsmaterial wird durch eine Energiequelle oder einen chemischen Aktivator verfestigt
- Absenken der Plattform um eine Schichtdicke und Aufbringen einer neuen Materialschicht



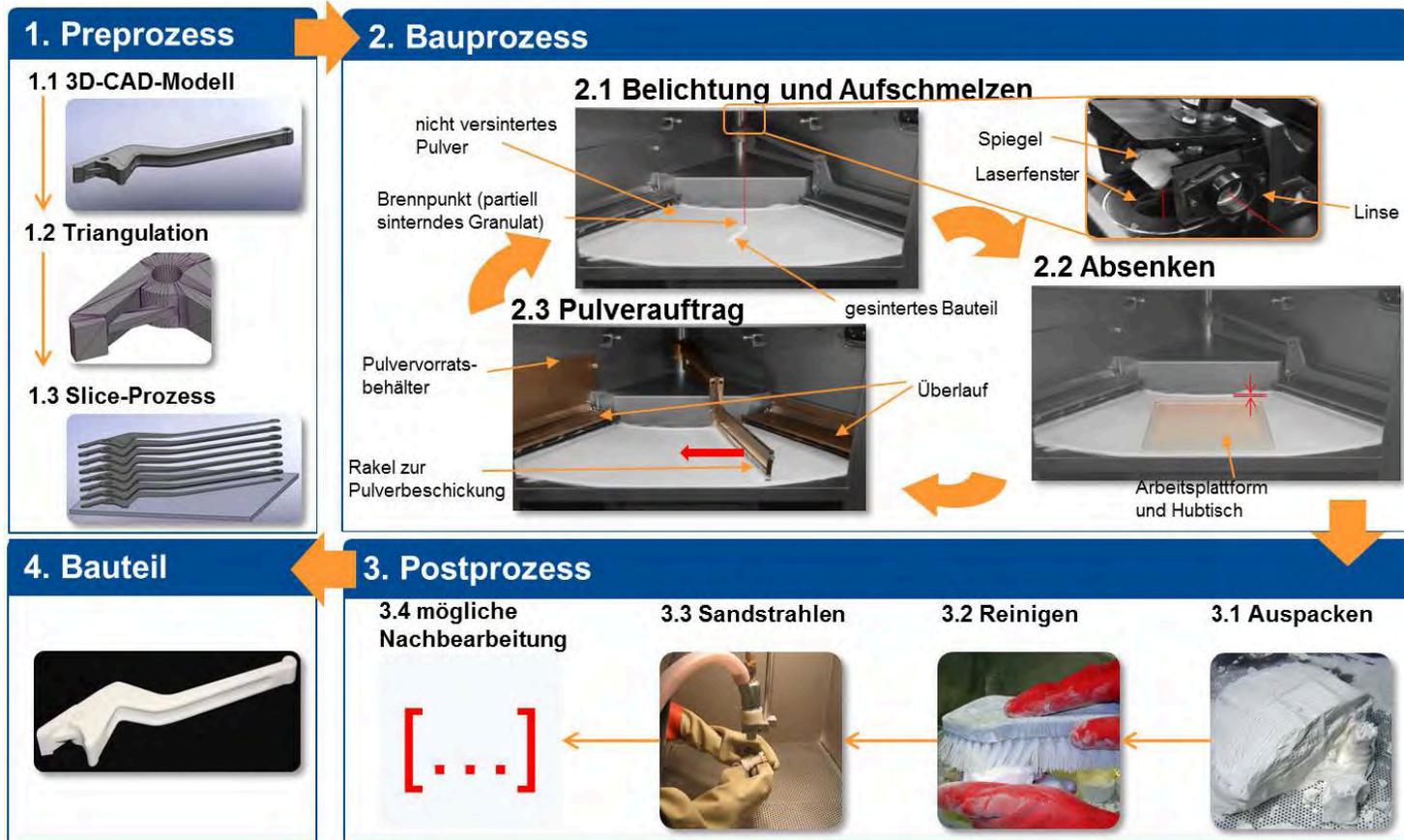
### 6. Nachbearbeitung:

- Nicht verwendetes Material entfernen
- Stützkonstruktionen entfernen (verfahrensabhängig)
- Material aushärten (verfahrensabhängig)

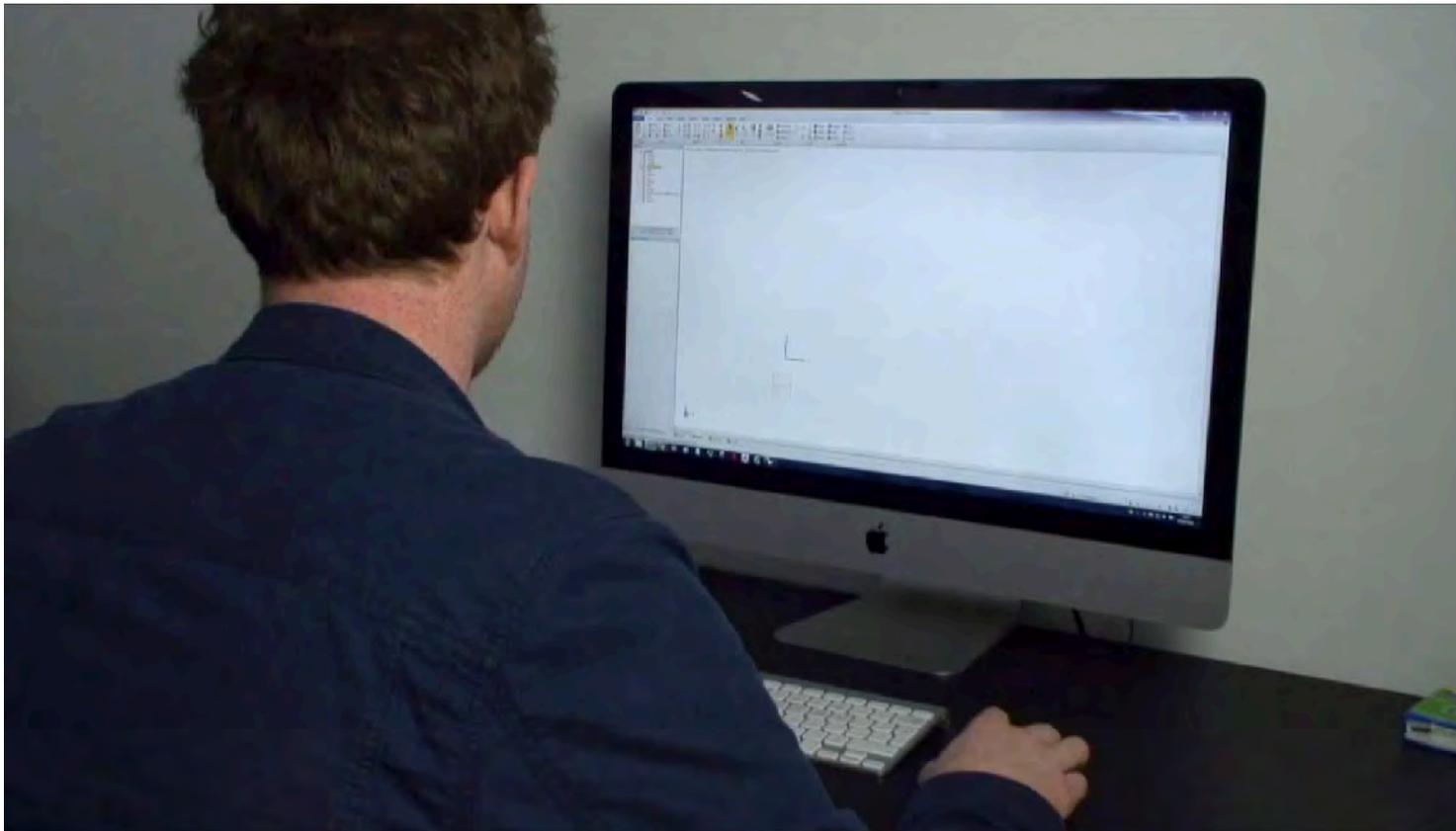


2.1 Urformen

# PROZESSABLAUF AM BEISPIEL SLS



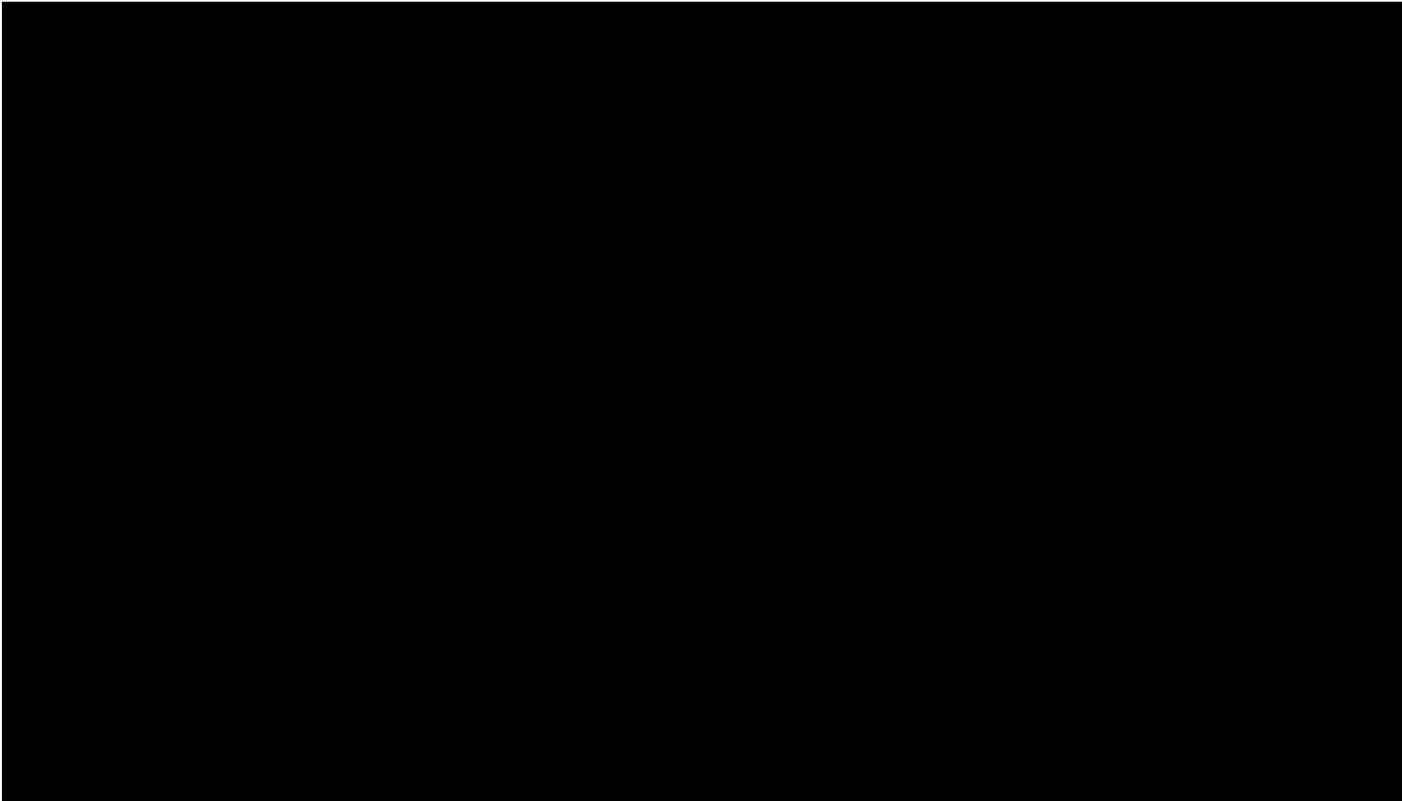
# SELEKTIVES LASER SINTERN (SLS)





## 2.1 Urformen

# SELEKTIVES LASERSCHMELZEN (SLM)



Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=8ujiae6jYcmU>



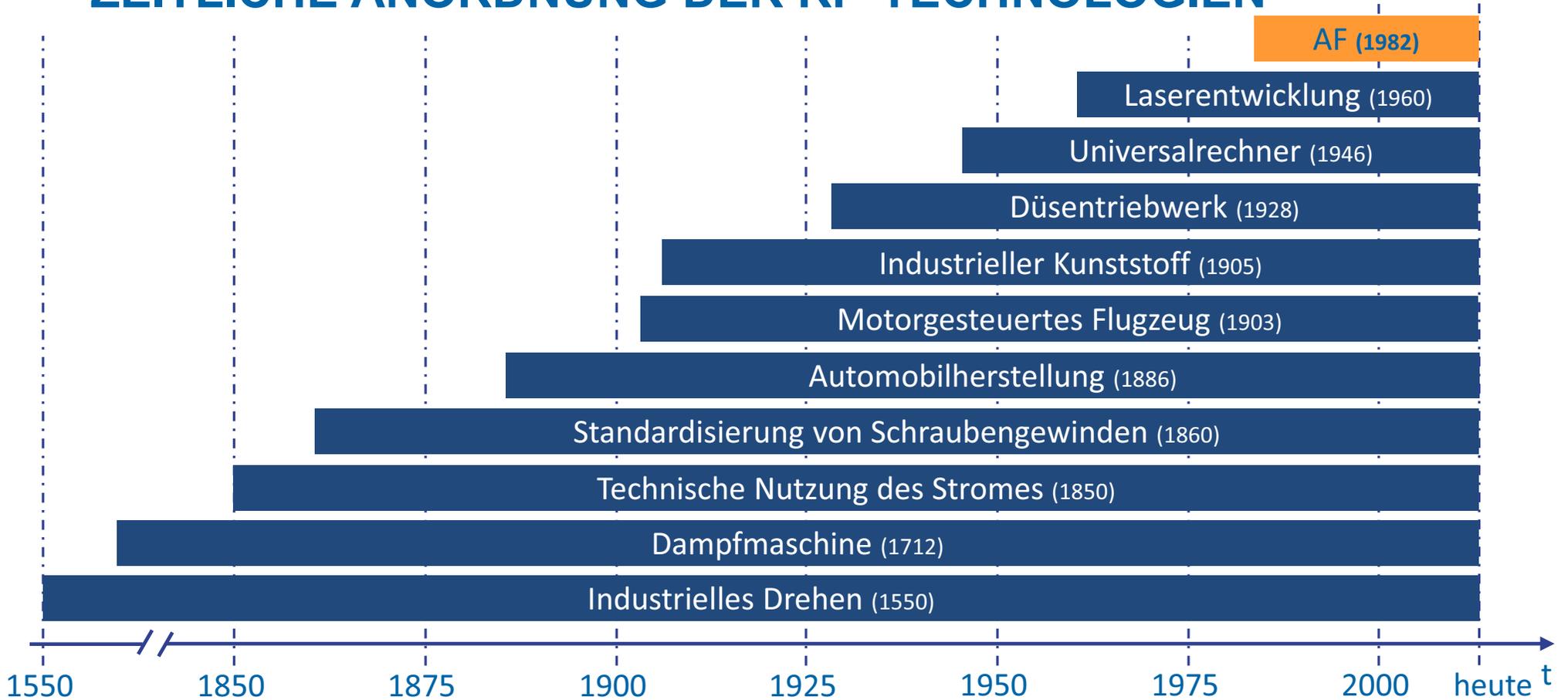
# TYPISCHE EINSATZGEBIETE

- Kleine Stückzahlen und/oder kundenspezifisch angepasste Produkte
- Fertigung nach Bedarf
- Fertigung vor Ort
- Fertigung von Ersatzteilen für ältere Serienprodukte
- Verkürzung der Iterationszyklen bei der Produktentwicklung
- Komplexe Designs (z.B. bionisch)
- Leichtbau...



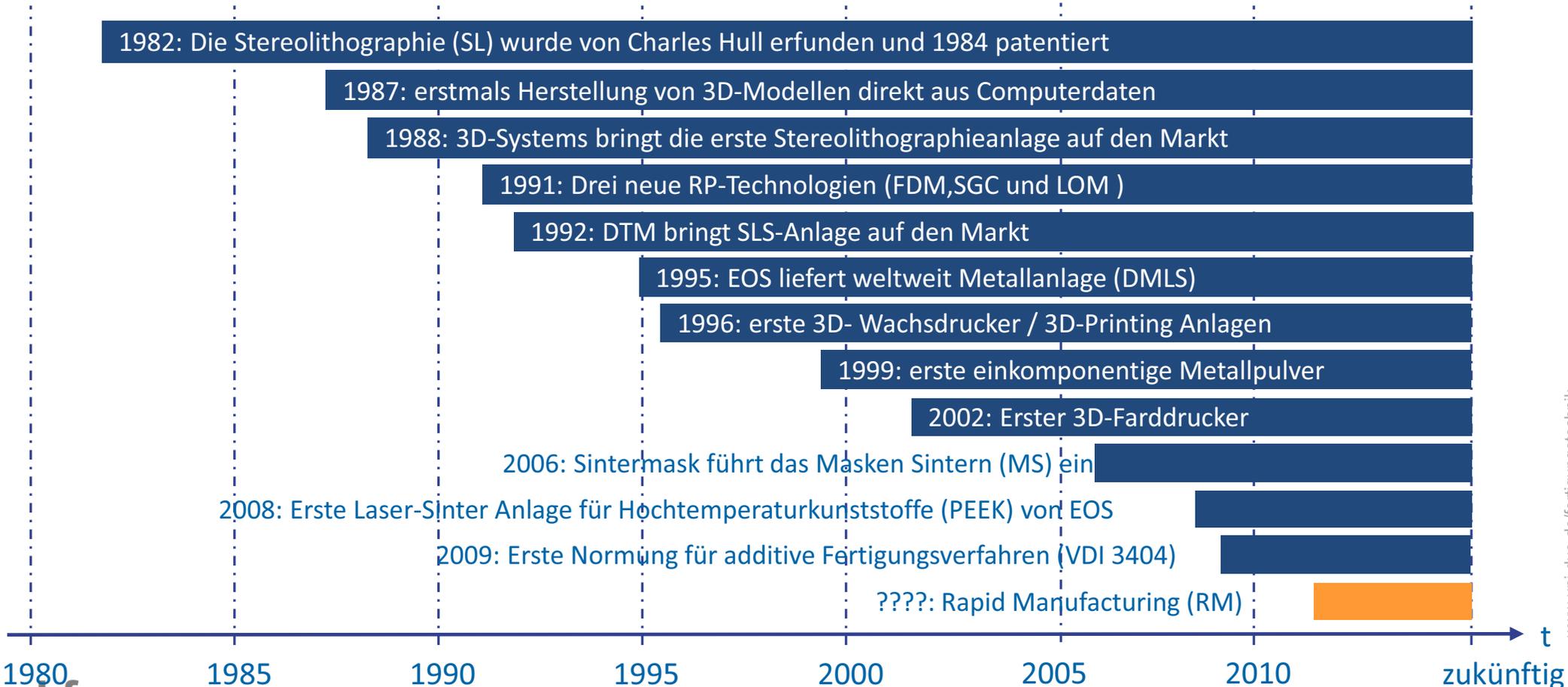
2.1 Urformen

# ZEITLICHE ANORDNUNG DER RP-TECHNOLOGIEN



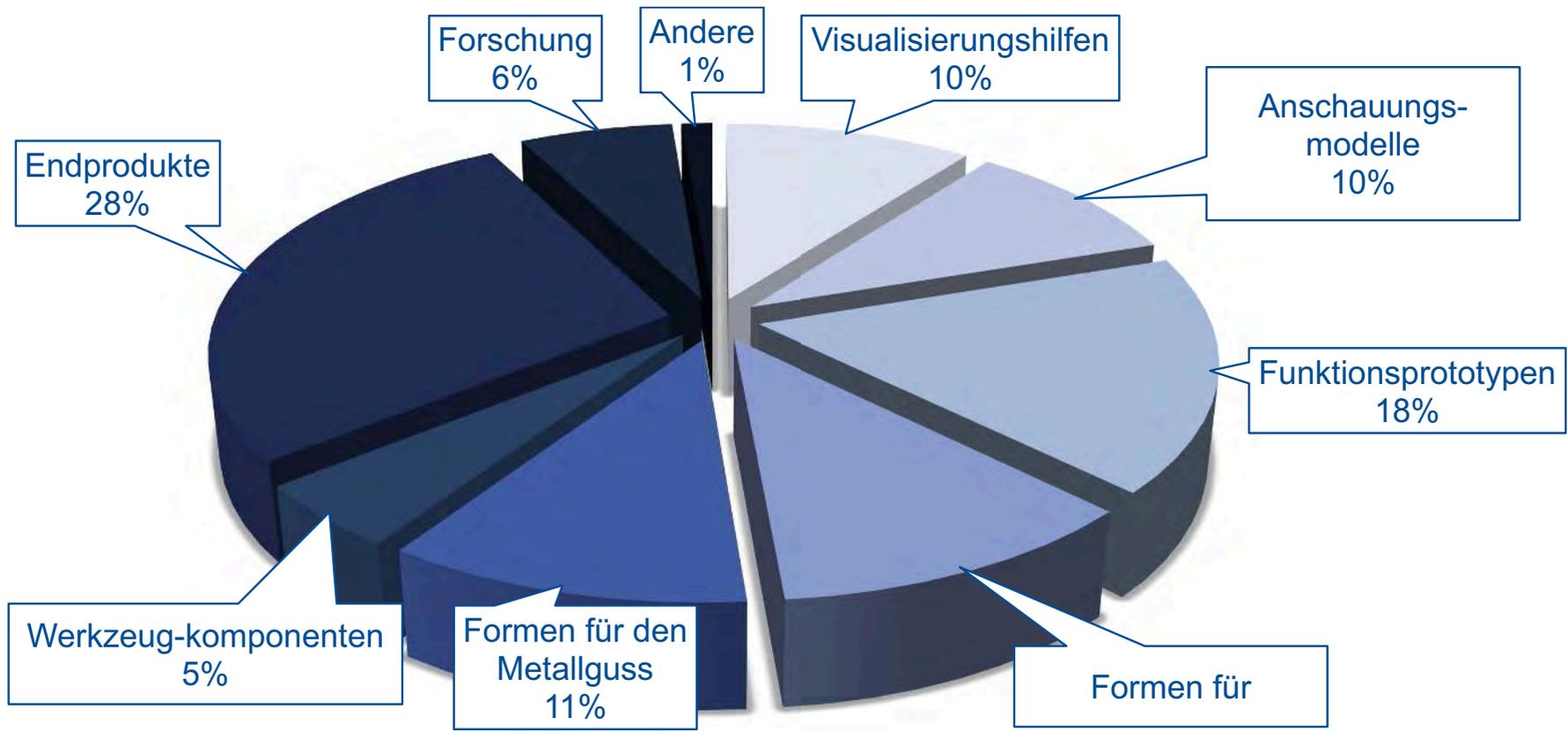
## 2.1 Urformen

# ZEITLICHE ENTWICKLUNG DER ADDITIVEN TECHNOLOGIEN

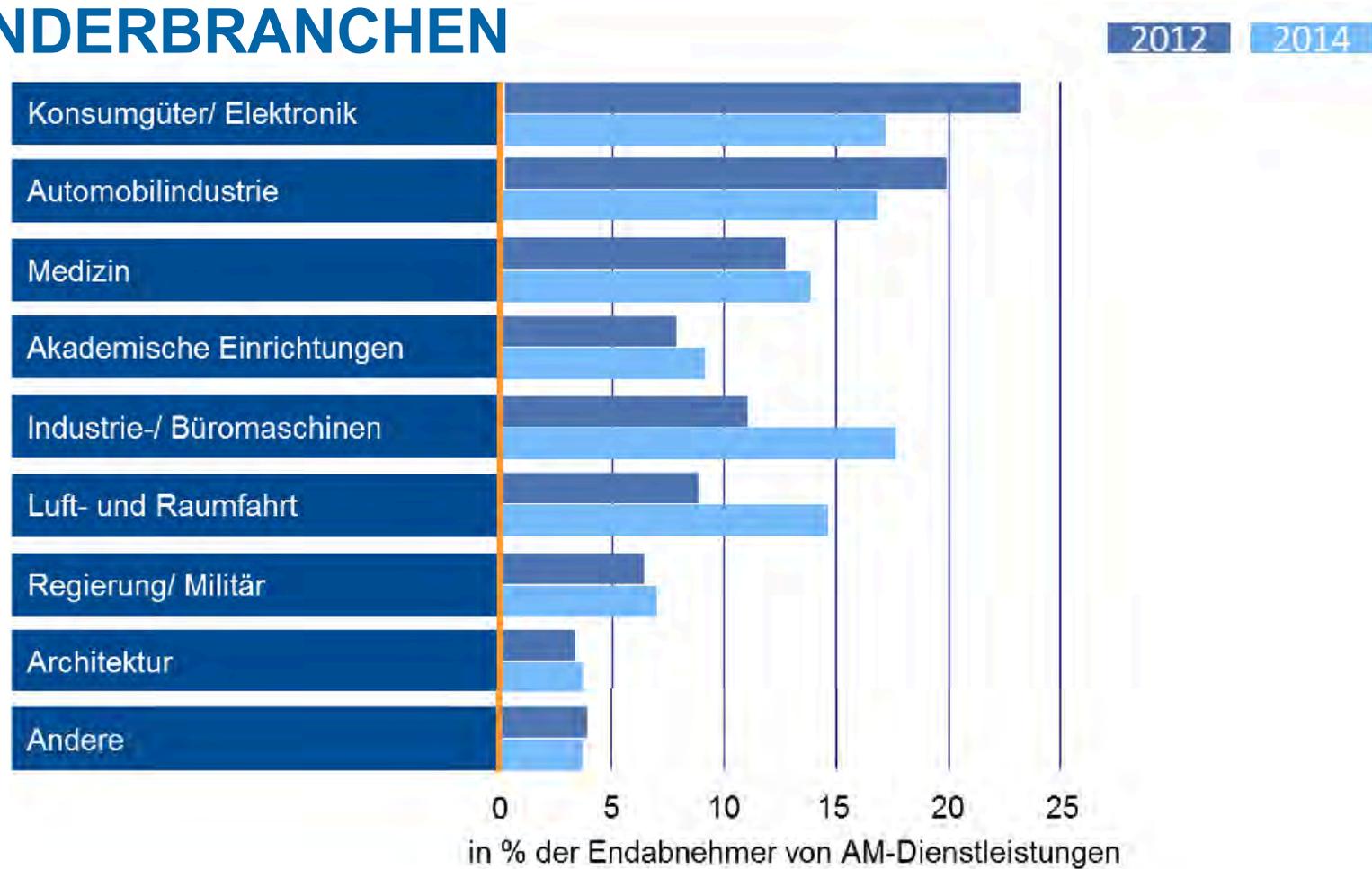


## 2.1 Urformen

# ANWENDUNGSGEBIETE

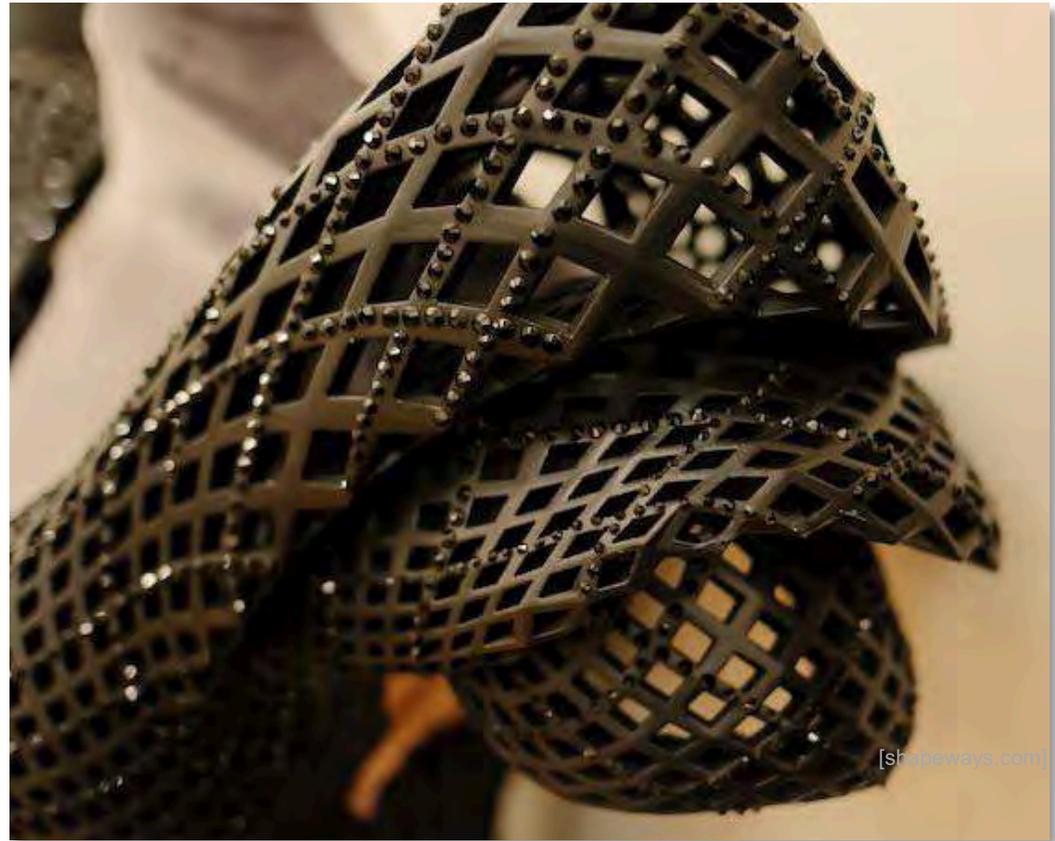


# ANWENDERBRANCHEN



## 2.1 Urformen

# ANWENDUNG MODE?





## 2.1 Urformen

# ANWENDUNG AUTOMOTIVE?



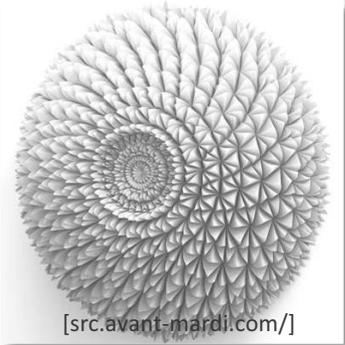
## 2.1 Urformen

# ANWENDUNG NAHRUNGSMITTEL?



2.1 Urformen

# ANWENDUNG KUNST?



# RESTAURATION



[3druck.com]

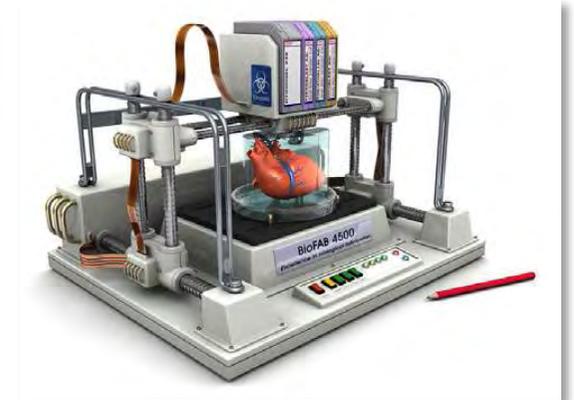
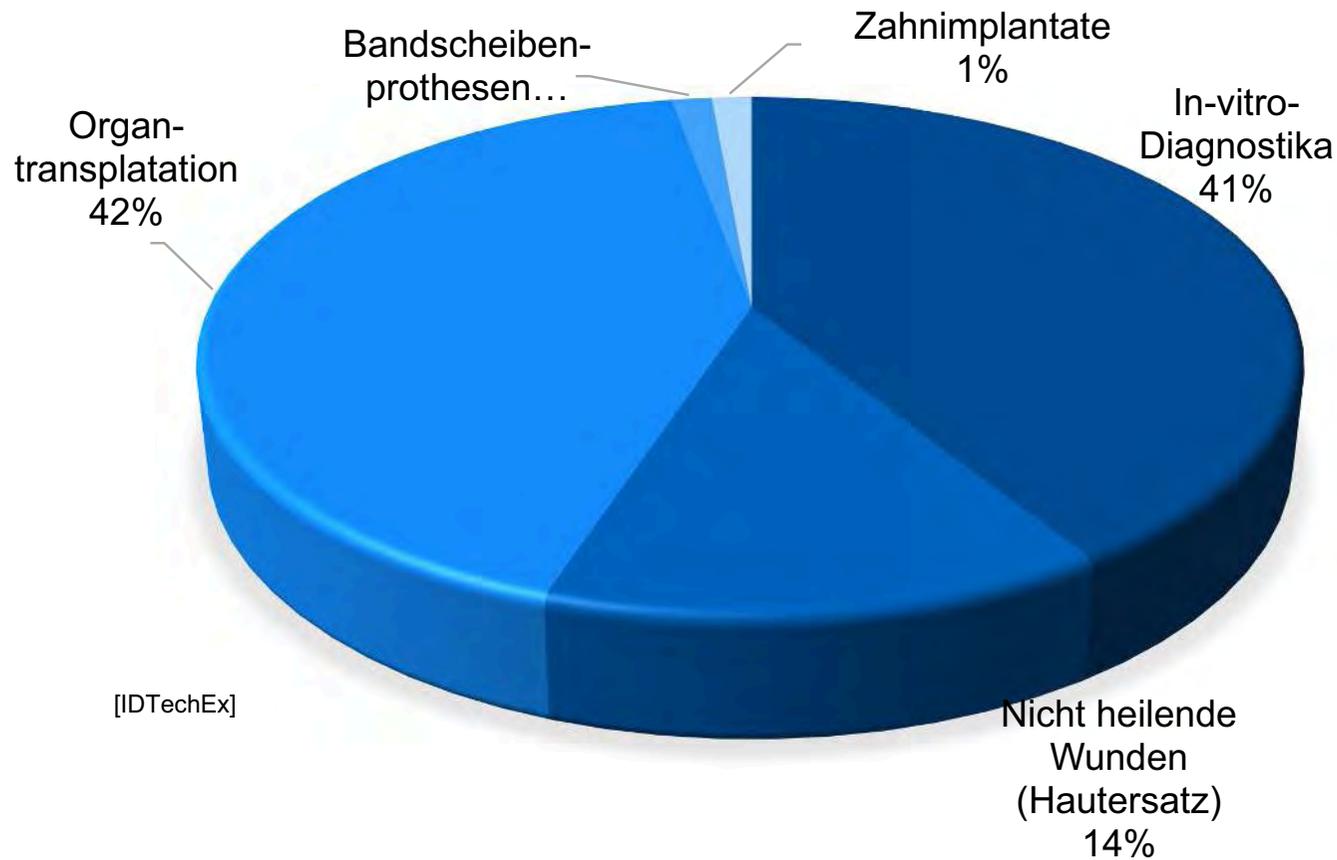
## 2.1 Urformen

# GOLDSCHMIED → SCHMUCKDESIGNER?



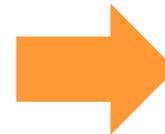
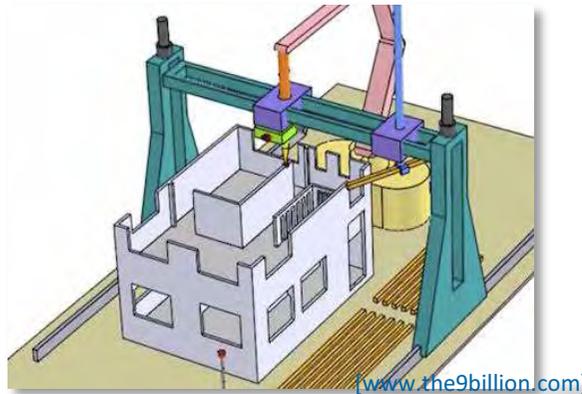
2.1 Urformen

# ANWENDUNG MEDIZIN?



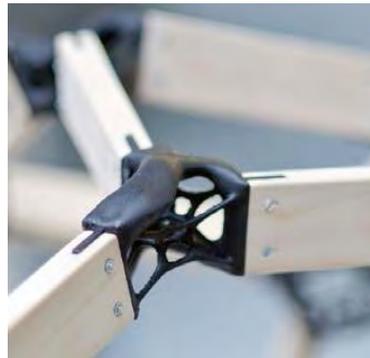
## 2.1 Urformen

# ANWENDUNG BAUINDUSTRIE?



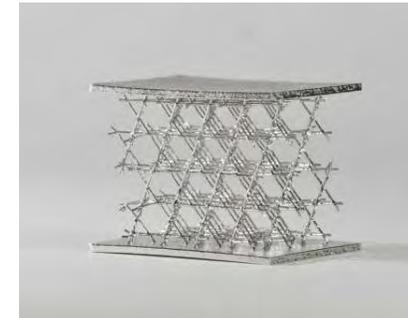
Neue Konstruktionsansätze notwendig

# FORM FOLLOWS FUNCTION



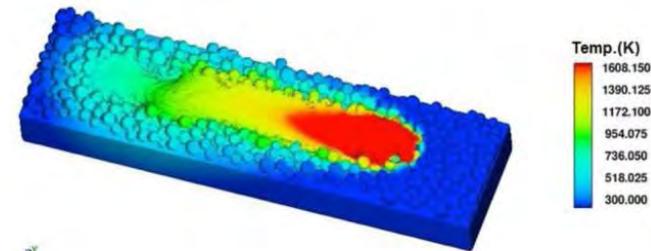
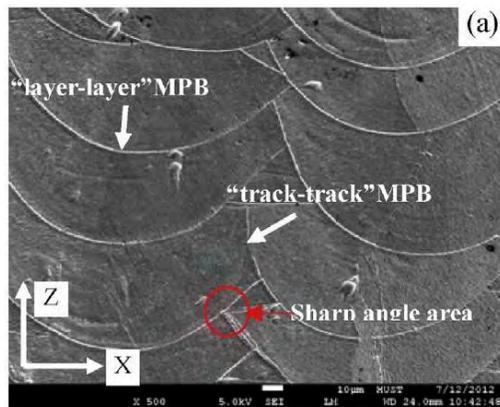
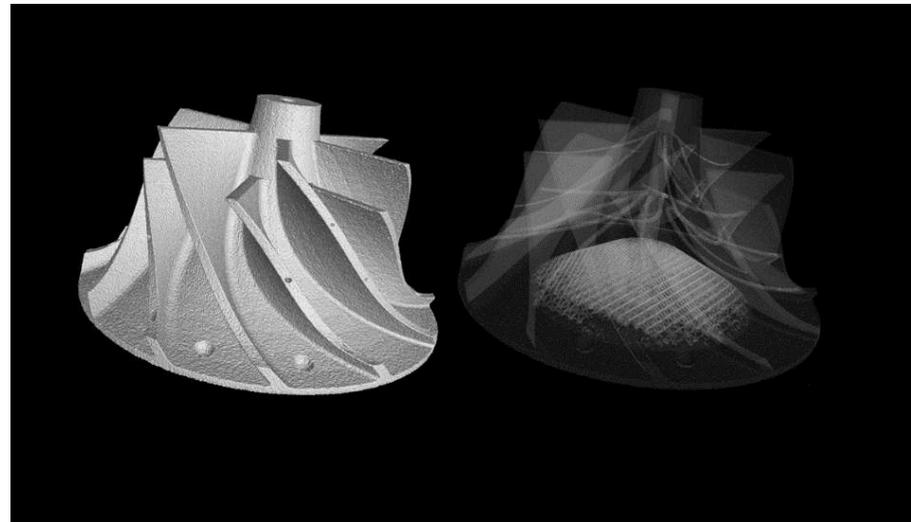
# EINFLUSS DER OBERFLÄCHE

- Tatsächliche Zielgröße bislang undefiniert
- Raue Oberfläche bei vielen Verfahren
- Welligkeit / kinematische Rauheit in Z
- Integration in TopOpt fehlt bislang
- Zugänglichkeit für Finish-Verfahren



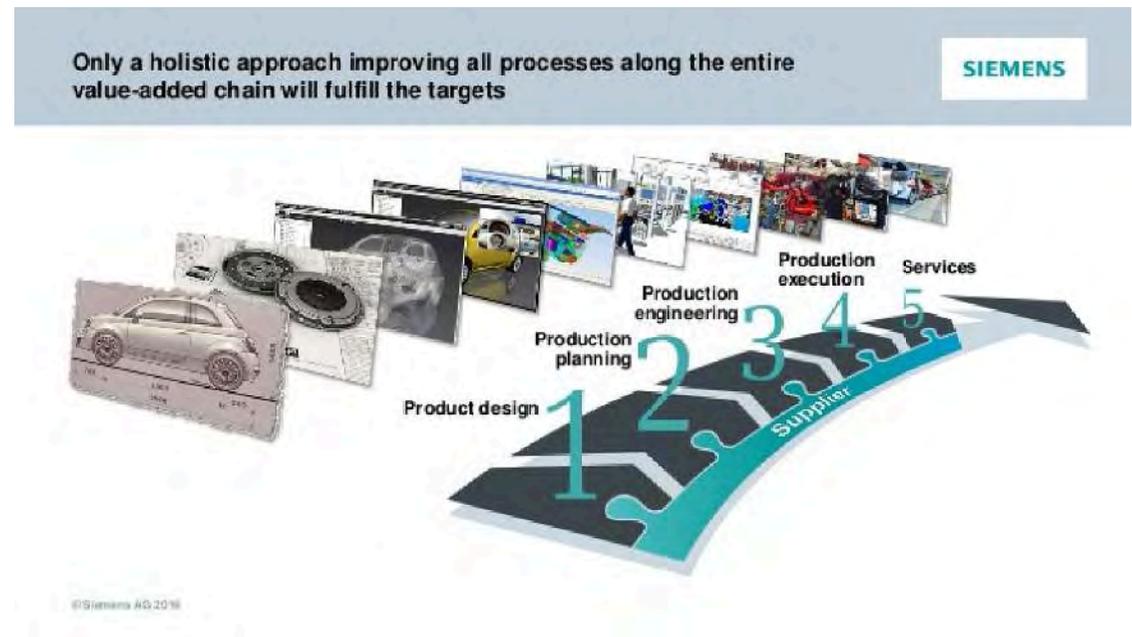
# QUALITÄTSSICHERUNG!

- Prüfen auf Poren
- Gefügeanalyse
- **Reproduzierbarkeit**
- Prozessstabilität



# PROZESSKETTE

- Prozesskettenintegration notwendig: additive und subtraktive Prozesse auslegen und verknüpfen
- Erste Ansätze existieren



# UMSETZUNG IN DER PRODUKTION NEU ZU DENKEN

- Verbindung von AM und Post-Processing Technologien
- Qualitätssicherung
- Automatisierung
- Digital hubs?



Neue Konstruktionsansätze:

# POTENTIALE AM BEISPIEL GE

**GE Aviation LEAP Engine**

**Fuel Nozzle (19)**      **CFM LEAP Aircraft Engine**

Lighter in weight      **25%**

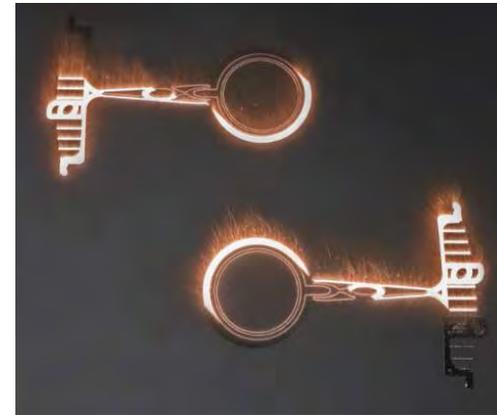
Simpler design-parts reduced      **18 to 1**

New design features – higher durability      **5X**

By 2020 will produce more than **100,000** parts

Copyright 2014 ITRI 工業技術研究院

- 24 -





## POTENTIALE

- Realisierung von struktur- und strömungsoptimierten Bauteilen
- Funktionsintegration (Differential- vs. Integralbauweise)
- Hoher Individualisierungsgrad und geringe Stückzahlen
- Reduktion Materialeinsatz bei teuren Werkstoffen



Zusammenfassung:

## ANFORDERUNGEN AN DIE KONSTRUKTION IM AM

- Konstruktion muss Zielstellung und Randbedingungen **vereinbaren**
- Kenntnis des
  - **Additiven Fertigungsprozesses** und der
  - gesamten **Prozesskette** genauso wie des
  - **Materials** zwingend notwendig
- Enge **Interaktion** mit Designer und Anwender erforderlich
- Software- als auch Hardware-Tools entwickeln sich stetig weiter -> **kontinuierlicher Lernprozess**





# AM IN DER WEITERBILDUNG



TU Bergakademie Freiberg | Institut für Maschinenelemente, Konstruktion und Fertigung | Professur für Additive Fertigung  
Agricolastraße 1 | 09599 Freiberg DE | Tel.: +49 3731 39 2986 | <http://www.imkf.tu-freiberg.de> | Prof. Dr.-Ing. Henning Zeidler



## Fort- und Weiterbildungen (national)

**VDI Seminar** „Grundlagen der Additiven Fertigung“ (2-tägig)

<https://www.vdi-wissensforum.de/weiterbildung-maschinenbau/additive-fertigungsverfahren/>

Wien, Stuttgart, Fürth

**VDI Lehrgang** „Fachingenieur Additive Fertigung VDI“ (2-jährig)

<https://www.vdi-wissensforum.de/lehrgaenge/fachingenieur-additive-fertigung-vdi/>

Leinfelden-Echterdingen, Düsseldorf, Duisburg, Paderborn, Augsburg

**GSI-SLV Fortbildung** „Fachkraft für additive Fertigungsverfahren“ (1-wöchig)

<https://www.gsi-slv.de/aus-weiterbildung/theoretische-ausbildung/schweissfachpersonal/fachkraft-fuer-additive-fertigungsverfahren/>

Hannover

**Hochschule Schmalkalden** „Anwendungstechniker (FH) für Additive Verfahren/Rapid-Technologien“ (2 Semester)

<https://www.hs-schmalkalden.de/studium/studienangebot-hs-schmalkalden/berufsbegleitende-zertifikatsstudien/anwendungstechniker-fh-fuer-additive-verfahrenrapid-technologien.html>

Schmalkalden, Aachen, Duisburg, Halver

**RWTH Aachen Seminar** „Additive Fertigung für den Werkzeugbau und die Kleinserienfertigung“ (1-tägig)

<http://weiterbildung.rwth-aachen.de/de/event-technologie-produktion/additive-fertigung-fuer-den-werkzeugbau-und-die-kleinserienfertigung>

Aachen

**Faunhofer Seminarreihe** „Additive Fertigung“ (2-tägig)

<https://www.academy.fraunhofer.de/de/weiterbildung/fertigungs-prueftechnik/additive-fertigung.html>

Augsburg, Dresden





## Fort- und Weiterbildungen (national)

**3D Activation Siminar** „Additive Verfahren“ (mindestens 1,5 Tage)

<https://www.3d-activation.de/der-3d-druck-blog/schulung-und-weiterbildung-im-3d-druck/>

**IHK Akademie Schwaben** „Additive Fertigungsverfahren - 3D-Druck - Rapid Prototyping“ (1-tägig)

<https://www.ihk-akademie-schwaben.de/weiterbildung/seminar/221548/ausburg/additive-fertigungsverfahren-3d-druck-rapid-prototyping>

Augsburg, Donauwörth

**LZH Laser Akademie GmbH Hannover Weiterbildung** „Fachkraft für additive Fertigungsverfahren nach Richtlinie DVS® 3602-1“ (5-tägig)

<http://www.lzh-laser-akademie.de/fachkraft-additive-fertigung.html>

Hannover

**Steinbeis Business Academy Fachseminar** „Grundlagen der additiven Fertigung und des 3D-Druckens“ (2-tägig)

<http://www.steinbeis-academy.de/weiterbildung/technical-and-it-management/grundlagen-der-additiven-fertigung-und-des-3d-druckens/>

Gaggenau

**IHK Würzburg-Schweinfurt Lehrgang** „Geprüfter Industrietechniker/in (IHK) Fachrichtung Additive Fertigung“ (ca. 9 Monate)

<https://www.wuerzburg.ihk.de/weiterbildung/weiterbildungsprogramm/weiterbildungsdetails/veranstaltung/gepruefter-industrietechnikerin-ihk-215466.html>

Würzburg

**Günter-Köhler-Institut für Füge und Werkstückprüfung GmbH DVS-Lehrgang** „Fachkraft für Additive Fertigungsverfahren Fachrichtung Metall“ (5-tägig)

<https://www.ifw-jena.de/www/ifw/veranstaltungen/index/detail.htm?Termine=15D9C45BC52&Veranstaltungen=15D9C456F0B&recordid=15D9C40748D>

Jena





## Kartendarstellung



