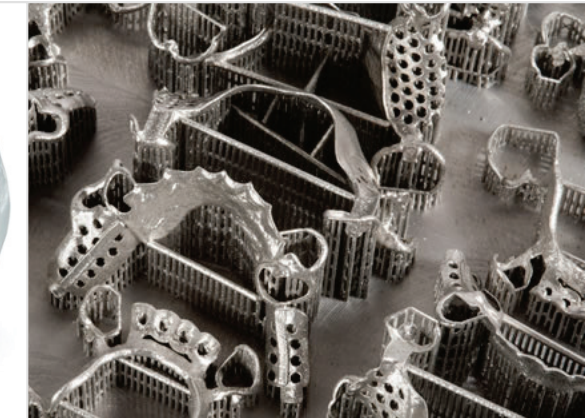
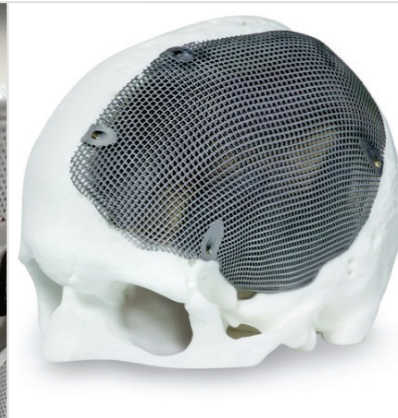
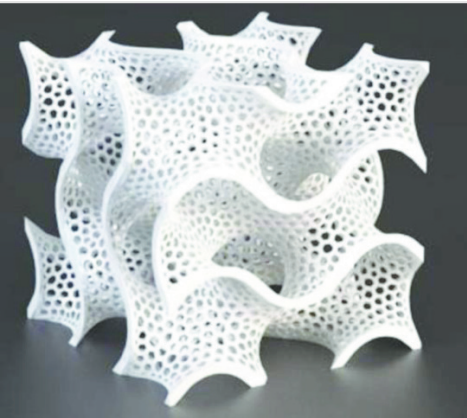


# FERTIGUNGSPLANUNG IN DER ADDITIVEN FERTIGUNG



Wintersemester 2021/22

### **GLIEDERUNG**

1. Einführung in das Thema Fertigungsplanung
2. Standardisierung in der AM
3. Prozesskette der Additiven Fertigung
4. Produktentstehungsprozess
5. Modelle und Prototypen
- 6. Rapid Manufacturing**
7. Gestaltung der Additiven Fertigungsprozesse
  - 7.1. Additive Fertigungsverfahren
  - 7.2. Planung der Prozesse
8. Nachbearbeitung von additiv gefertigten Teilen
9. Mechanische Bearbeitung
10. Qualitätssicherung und Prüfplanung
11. Kostenplanung

# RAPID MANUFACTURING

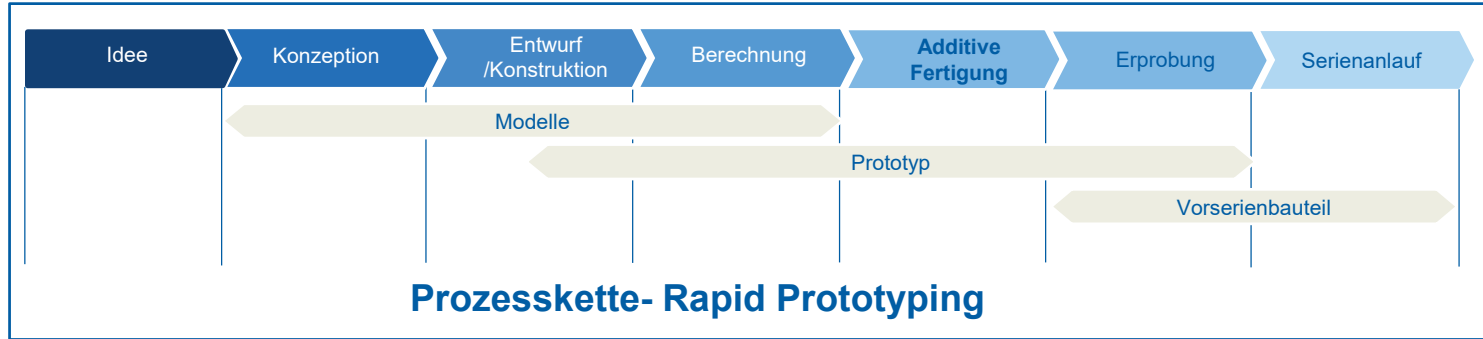
- Als Rapid Manufacturing (RM) oder auch Direct Manufacturing (DM) wird die schnelle Herstellung kundenindividueller Produkte bezeichnet.
- Rapid Manufacturing (RM) fußt auf den Additiven Fertigungsverfahren.
- Hauptziel ist es, Bauteile mit möglichst serienidentischen Eigenschaften direkt zu fertigen.
- Stückzahl-unabhängige Produktion ist möglich.
- Eine höhere Prozesssicherheit ist erforderlich.

# WICHTIGE SCHLÜSSELBEREICHE DES RAPID MANUFACTURING

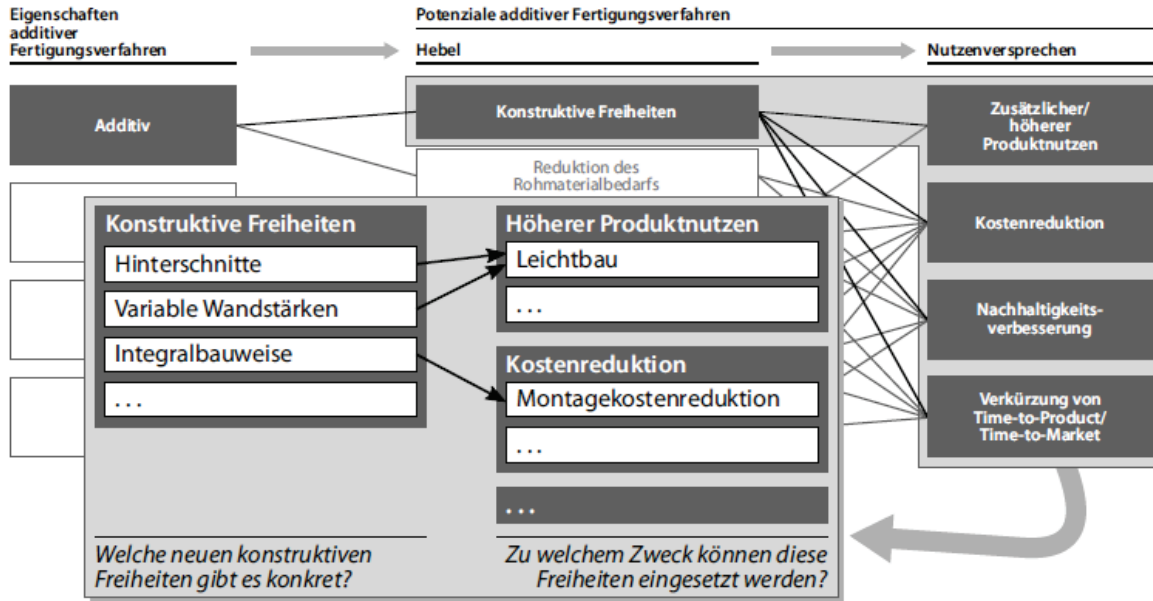
- Konstruktionsdaten
  - kundenspezifisch
  - fertigungsgerecht
- Material
  - Monomaterialien
  - Multimaterialien
- Prozesse
  - Additiv
  - Hybrid
- QS/QM-Werkzeuge
  - Ishikawa Diagramm
  - FMEA
  - ...



# UNTERSCHIED ZU RAPID PROTOYPTING

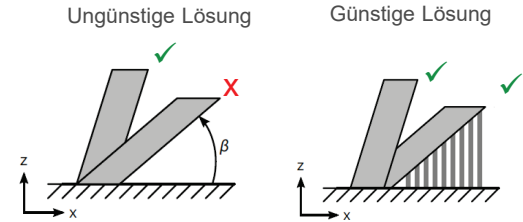


# POTENZIALE DES RAPID MANUFACTURING



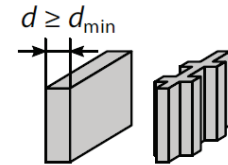
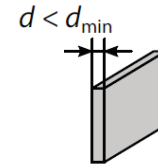
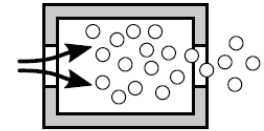
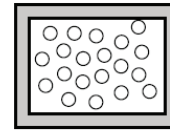
# FERTIGUNGSGERECHTE KONSTRUKTION FÜR RAPID MANUFACTURING

- Einflüsse der Bauteilorientierung in der AM-Anlage auf
  - Stützstruktur,
  - kritische Winkel und
  - Überhänge berücksichtigen
  
- Bei der Topologieoptimierung
  - Genauigkeitsanforderungen und
  - Nachbearbeitung berücksichtigen



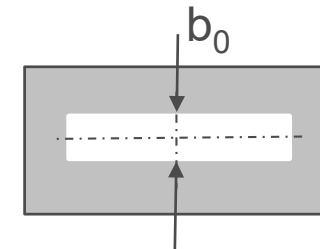
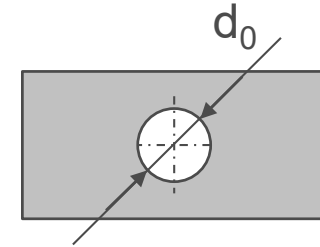
# FERTIGUNGSGERECHTE KONSTRUKTION FÜR RAPID MANUFACTURING

- Hohlräume mit Öffnungen versehen, um nicht verschmolzene Pulver entfernen zu können
- Beim Einsatz dünner Wände darf eine Mindestdicke nicht unterschritten werden. Dünne Wände müssen ggf. durch Rippen gestützt werden.



# FERTIGUNGSGERECHTE KONSTRUKTION FÜR RAPID MANUFACTURING

- Bei der Auslegung des Kanaldurchmessers verfahrensspezifische Anforderungen berücksichtigen. Z.B. ist bei Pulverbettverfahren der minimale Durchmesser von der minimalen Spurbreite abhängig.
- Die Genauigkeit der Spaltbreite hängt von der minimalen Spaltbreite ab. Bei pulverbettbasierten Verfahren hat die umgebende Wandstärke aufgrund der eingebrachten Energie Einfluß auf die Spaltbreite. Dabei ist auch die Pulverentfernbarkeit zu berücksichtigen.



# LEICHTBAU DURCH AM

## Prinzipien der Leichtbaukonstruktion

- ➔ Möglichst direkte Kraftein- und –weiterleitung
- ➔ Realisierung eines möglichst großen Flächenträgheits- bzw. Widerstandsmoments
- ➔ Feingliederung von Strukturen bzw. gezielte Versteifung von Konstruktionen in den Hauptbelastungsrichtungen
- ➔ Nutzung der natürlichen Stützwirkung durch Krümmung
- ➔ Gezielte Einbringung von Hohlräumen
- ➔ Bevorzugen von Integralbauweise

# LEICHTBAU DURCH AM

## Felder der Leichtbaukonstruktionen

### ➔ Stoffleichtbau

Das Bauteil wird unter Einsatz des leichtesten verwendbaren Werkstoffes hergestellt. Die Auswahl des Werkstoffes übt einen starken Einfluss auf das Bauteildesign und die eingesetzten AM-Verfahren aus. Der Einsatz von Multimaterialien schafft neue Wege, die Masse zu reduzieren.

Das Potential des Stoffleichtbaus durch AM ist angesichts der wenigen kombinierbaren Werkstoffe (Verbundwerkstoffe) begrenzt.



*Bauteil aus CFK-Material statt Metall*

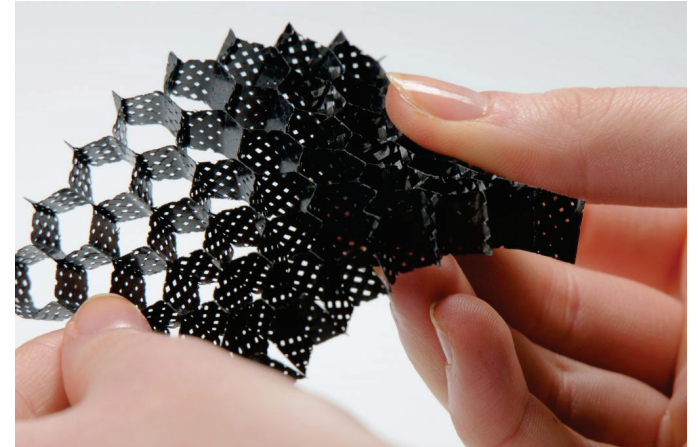
# LEICHTBAU DURCH AM

## Felder der Leichtbaukonstruktionen

### ➔ Formleichtbau

Hier wird angestrebt, die Struktur des Bauteils an die gegebenen Anforderungen so anzupassen, dass durch einen optimalen Kraftfluss und eine bestmögliche Formgebung eine Struktur mit minimaler Masse entsteht.

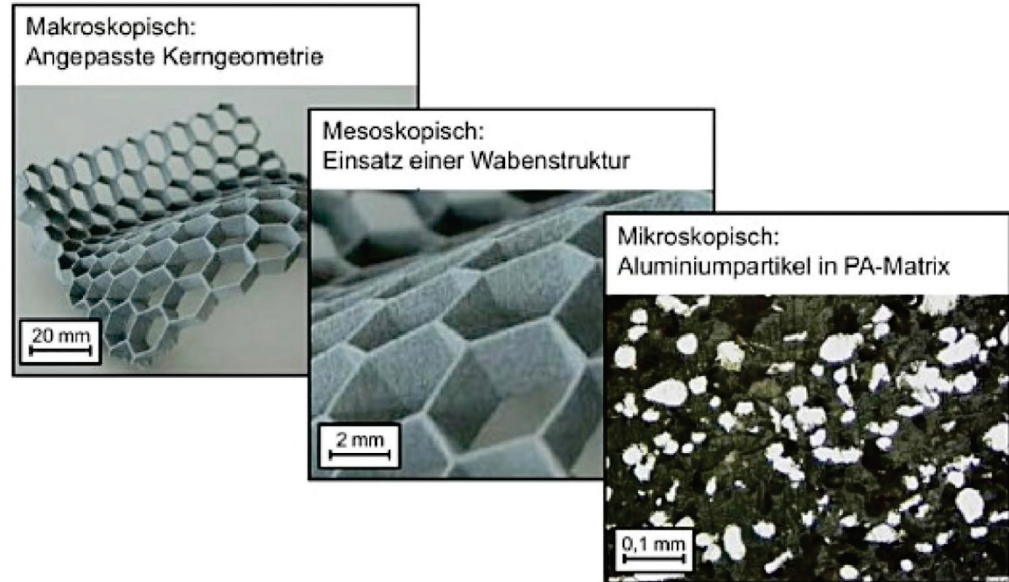
Die Gestaltungsfreiheit der AM ermöglicht den bionischen Leichtbau in hohem Maße zu realisieren. Hierbei lassen sich auf sämtlichen geometrischen Ebenen komplexe Strukturen erzeugen. Dies sichert die ausreichende Belastbarkeit der Konstruktion bei minimaler Masse.



# LEICHTBAU DURCH AM

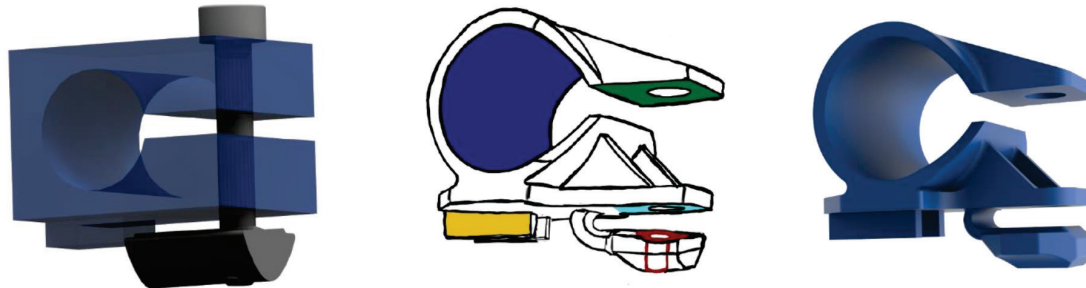
## Felder der Leichtbaukonstruktionen

- ➔ Formleichtbau wird in Abhängigkeit der Dimension in makroskopische, mesoskopische und mikroskopische Ansätze unterteilt



# FUNKTIONSINTEGRATION

- Die Gestaltungsfreiheit der AM ermöglicht es, in Bauteile zusätzliche Funktionen zu integrieren
- Dies ermöglicht es, durch Teilereduktion und Vereinfachung der Montage/Demontage die Fertigungsprozesskette deutlich zu kürzen
- Funktionsintegration soll bereits beim Konzeptentwurf mit beachtet und durch Strukturoptimierung eine optimale Gestalt des Bauteiles gefunden werden

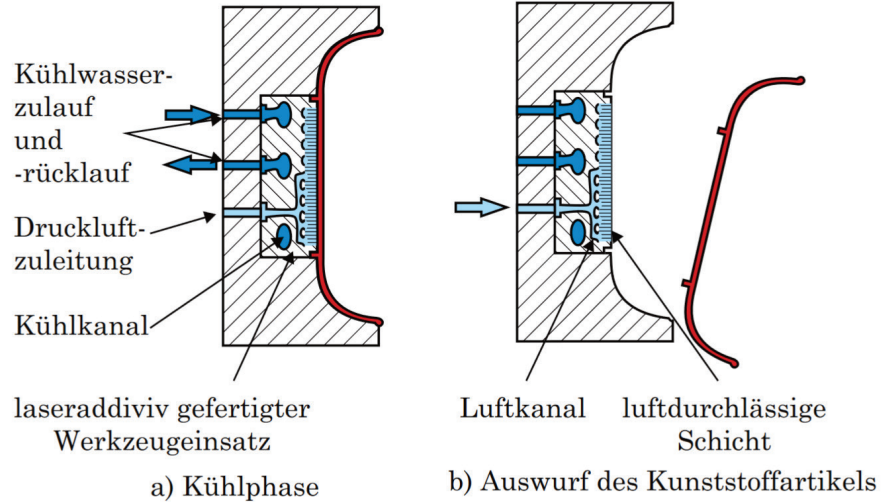


*Konventioneller Halter mit Nutstein (links); Konzeptskizze für Funktionsintegration des Nutsteins (Mitte) Idealgestalt des Halters mit Funktionsintegration (rechts)*

# FUNKTIONSINTEGRATION

## Beispiel

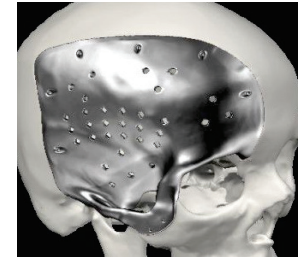
- Durch die Integration eines Druckluft-Auswerfsystems in einem additiv gefertigten Einsatz für ein Spritzgusswerkzeug kann die gesamte Auswurfmechanik ersetzt werden
- Die Oberfläche des Einsatzes besitzt eine luftdurchlässige Mesostruktur



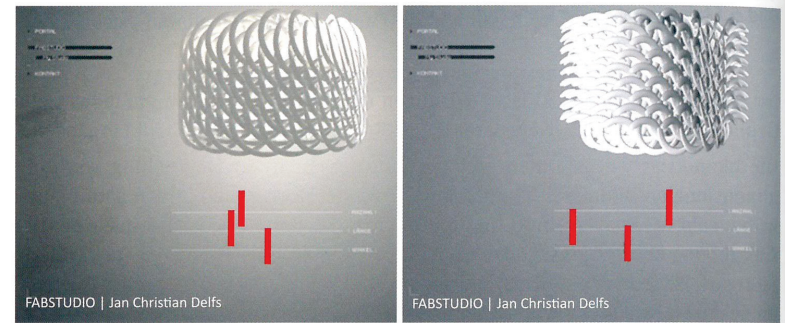
*Aufbau und Funktionsprinzip des Druckluftauswerfersystems*

# INDIVIDUALISIERUNG DER PRODUKTE

- Individualisierung oder auch Customization bedeutet die Anpassung von Produkten an die Bedürfnisse einzelner Kunden
- Die individuelle Ausgestaltung des zu fertigenden Produkts wird vom Kunden initiiert
- **Passive** Customization tritt dann auf, wenn der Kunde nur die individuellen Wünsche nennt, welche vom Hersteller umgesetzt werden
- Nimmt der Kunde selbst bei der Produktgestaltung aktiv teil, spricht man von **aktiver** Customization



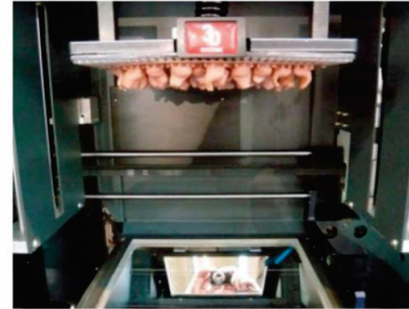
*Implantat- Passive Customization*



*Vom Kunde aktiv mitgestaltete Leuchte -Aktive Customization*

# INDIVIDUALISIERUNG DER PRODUKTE

- Definition/Scannen der Kundendaten
- Überarbeitung der Produktdaten durch Integration von Scandaten
- Fertigung mit geeignetem Verfahren
- Bei wiederkehrenden Anforderungen an Customization kann ein standardisierter Individualisierungsprozess angewendet werden.



*Patientenindividuelle Hörgeräteschalen*

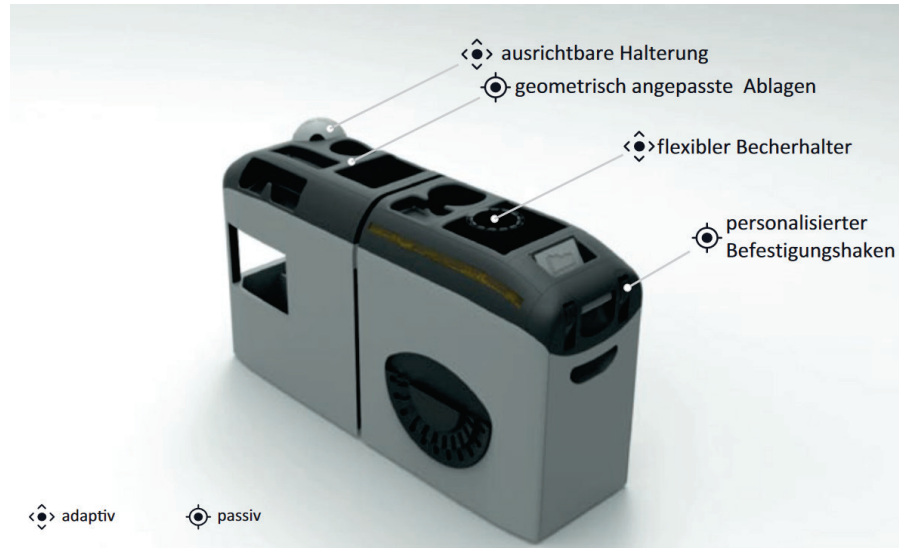
# INDIVIDUALISIERUNG DER PRODUKTE

*Funktionale Individualisierung:* Die kundenspezifische Auswahl, Gestaltung oder Zusammenstellung von Produkteigenschaften, welche in einer Steigerung z. B. der Praktikabilität des Produktes für den Kunden resultieren.

*Funktionsbeeinträchtigende Individualisierung:* Die kundenspezifische Auswahl, Gestaltung oder Zusammenstellung von Produkteigenschaften, welche in einer Beeinflussung bzw. Einschränkung hierarchisch übergeordneter Produktfunktionen resultieren. Hier steht der Individualisierungswunsch im Konflikt mit einer übergeordneten Produktfunktion.

# INDIVIDUALISIERUNG DER PRODUKTE

Kundenindividuelles Mittelkonsolenkonzept mit umgesetzten Lösungen für adaptive und passive Individualisierungsfunktionen



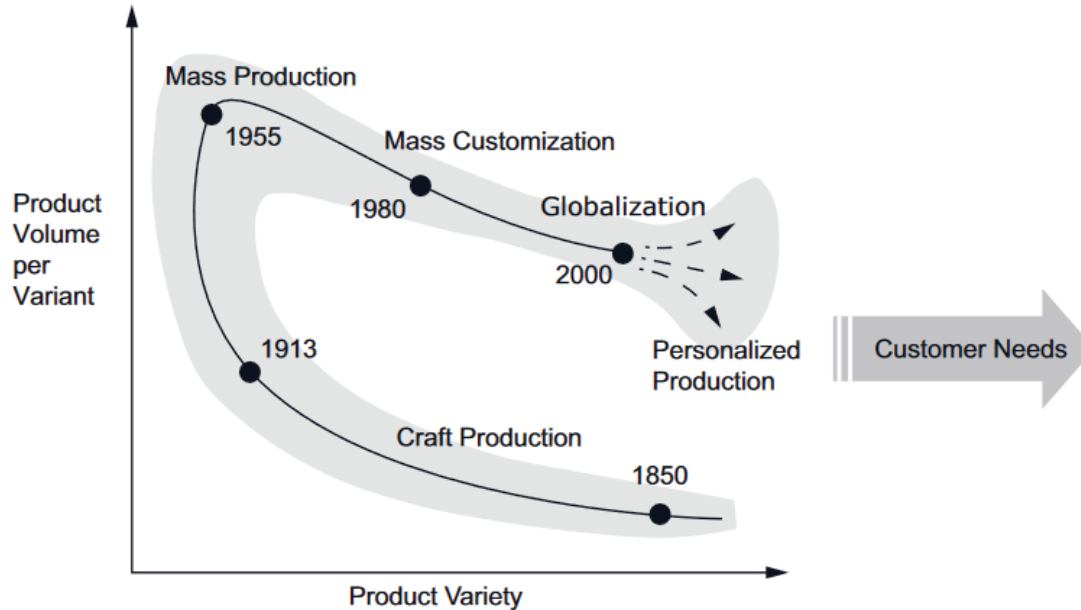
# INDIVIDUALISIERUNG DER PRODUKTE

Standardisierung des Entwicklungsprozesses



# INDIVIDUALISIERUNG DER PRODUKTE

Marktentwicklung hin zur Produktindividualisierung



# GESTALTUNGSRICHTLINIEN FÜR RAPID MANUFACTURING

### Allgemeine Vorgehensweise

- ✓ Materialeinsatz und verwendete Stützstrukturen minimieren;
- ✓ die Größe des 3D Druckers beachten;
- ✓ kleine Details nach den Vorgaben des Druckers gestalten;
- ✓ es ermöglichen, überschüssiges Pulver oder Harz zu entfernen;
- ✓ die mechanischen Eigenschaften in jeder Richtung unter Berücksichtigung der Anisotropie sichern

## RAPID MANUFACTURING

### Mögliche Vorteile:

- ➕ Erweiterte konstruktive und gestalterische Möglichkeiten
- ➕ Funktionsintegration
- ➕ Neuartige Konstruktionselemente
- ➕ Realisierung neuer Werkstoffe
- ➕ Individualisierung von Produktion
- ➕ Fertigung on demand

### Nachteile

- ➖ (noch) höhere Kosten
- ➖ Verfahrensabhängige Anisotropie
- ➖ (noch) geringe Werkstoffauswahl



Fertigungsplanung in der Additiven Fertigung – Rapid Manufacturing

# Fertigungsplanung in der Additiven Fertigung 2021 - 06

Technische Universität Bergakademie Freiberg  
IMKF - Additive Fertigung  
Agricolastraße 1, 09599 Freiberg, Germany

Prof. Dr.-Ing. Henning Zeidler  
Tel: +49 3731 39 30 66  
henning.zeidler@imkf.tu-freiberg.de



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