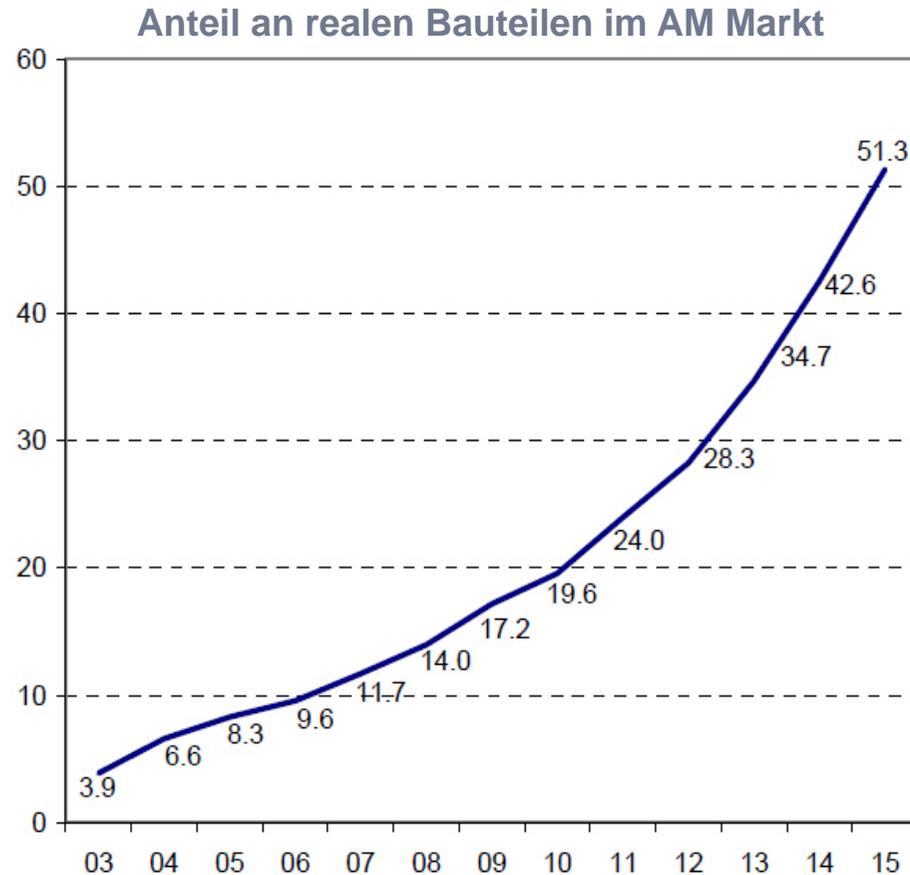


# **ADDITIVE FERTIGUNG**

**Der Weg zu einer voll industrialisierten Prozesskette**

Prof. Dr. Jens Telgkamp  
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
08.11.2019

# VOM RAPID PROTOTYPING ZUR DIREKTEN ADDITIVEN BAUTEILFERTIGUNG



Quelle: Wohlers Report 2016

**Klarer Trend:**

**weg von Prototypen und Hilfsmitteln**

**hin zur Produktion realer und  
funktionaler Bauteile!**

**offene Frage: wie beherrscht man  
Zulieferketten für derartige Bauteile,  
während die Technologien sich noch  
entwickeln?**

# WELCHES PRODUKT HABE ICH, WAS WILL ICH MIT ADDITIVER FERTIGUNG ERREICHEN?



PKW



Kurz- / Mittelstreckenflugzeug

Lebens-Fahrleistung

ca. 200 000 km

ca. 300 000 km  
AM BODEN!

Quotient  
Listenpreis/Leergewicht

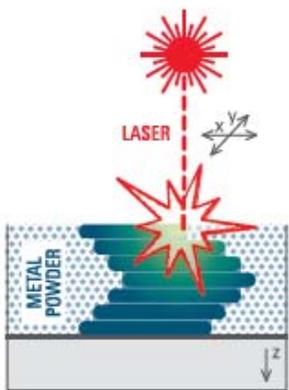
Q

170 x Q

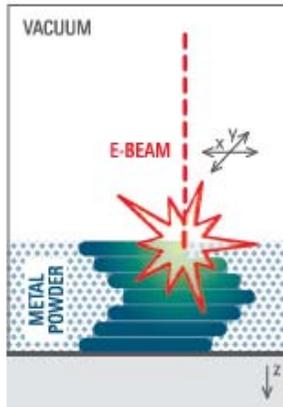
**Die Entscheidung für Anwendung und Technologie  
hängt stark vom Produkt ab!**

# TECHNOLOGIE ÜBERSICHT METALLE – KOMMENTIERT BEZÜGLICH NUTZUNG IN DER LUFT- UND RAUMFAHRT

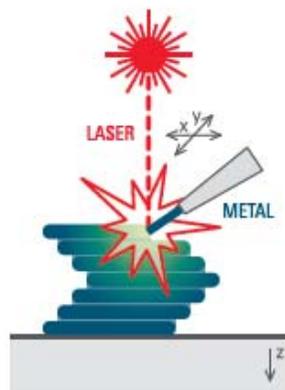
**SLM**  
Selective Laser Melting



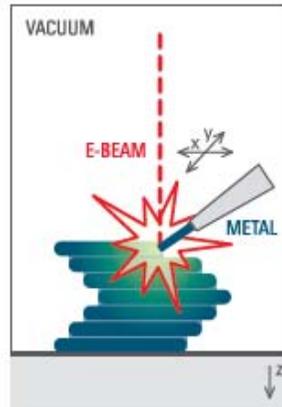
**EBM**  
Electron Beam Melting



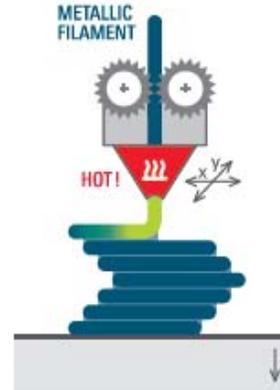
**LENS**  
Laser Engineering  
Net Shape



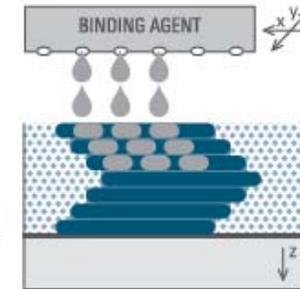
**EBAM**  
Electron Beam Additive  
Manufacturing



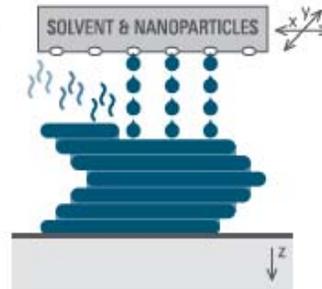
**FDM**  
Fused Deposition  
Modeling



**BJ**  
Binder Jetting



**NPJ**  
Nano Particle Jetting



**Luftfahrt:**  
**Pulver (LBM/EBM)**  
Hauptsächlich Ti / Inconel /  
Aluminium Pulver  
Hauptsächlich Flugzeuge und  
Raumfahrt

**Luftfahrt:**  
**Direct Energy Deposition**  
Hauptsächlich Titan  
Auftragsschweißen  
Hauptsächlich zivile Luftfahrt

**Luftfahrt:**  
  
– Keine (systematische) Nutzung bisher –

# TECHNOLOGIE ÜBERSICHT POLYMERE – KOMMENTIERT BEZÜGLICH NUTZUNG IN DER LUFT- UND RAUMFAHRT

**SLS**  
Selective Laser  
Sintering

**FDM**  
Fused Deposition  
Modeling

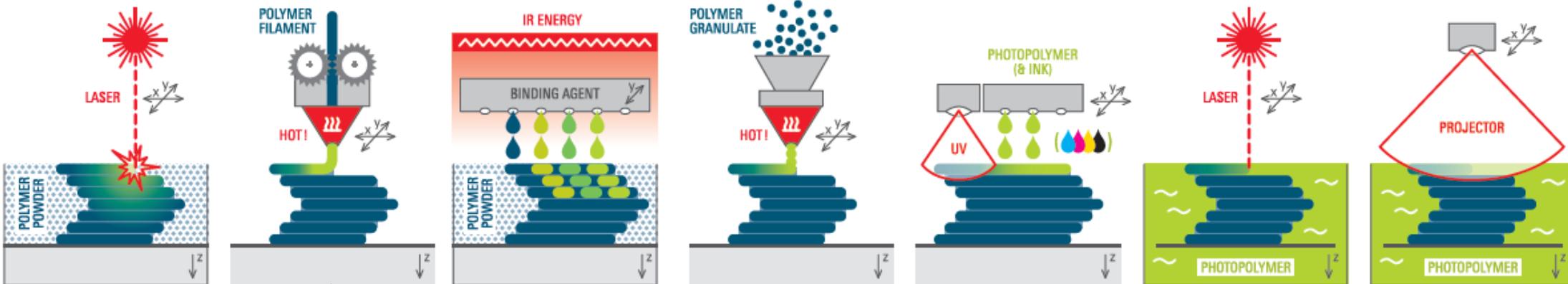
**MJF**  
Multi Jet Fusion

**AKF**  
Arburg Kunststoff  
Freiformen

**MJ**  
Material Jetting

**SLA**  
Stereo Lithography

**DLP**  
Direct Light Processing

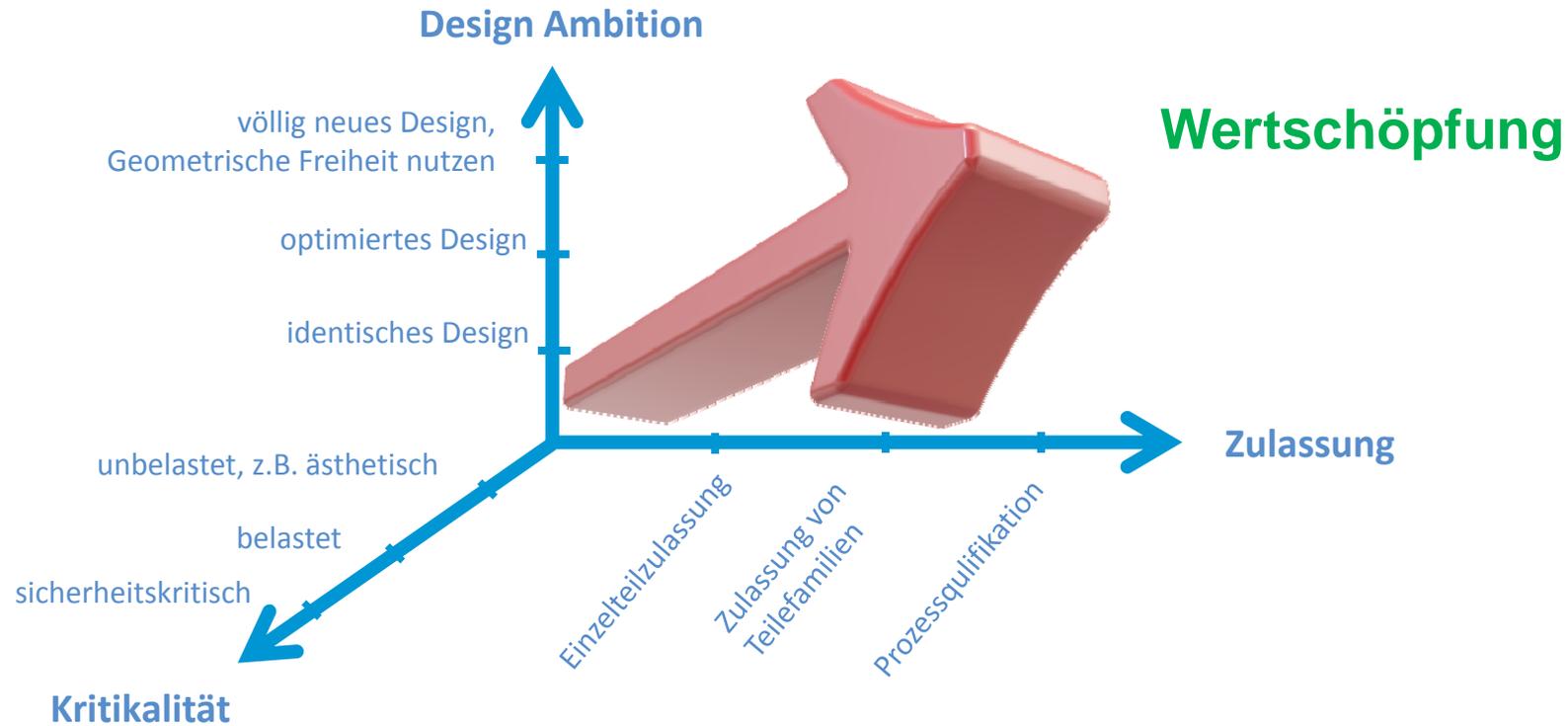


**Luftfahrt:** – Keine (systematische) Nutzung bisher –

**Luftfahrt :**  
Hauptsächlich PA Material  
Hauptsächlich zivile Luftfahrt  
und Helikopter

**Luftfahrt:**  
PEI Materialien erfüllen  
Anforderungen für  
Systeminstallation und Kabine

# WELCHE BAUTEILE WILL VON „KONVENTIONELL“ AUF „ADDITIV“ UMSTELLEN? WELCHE WERTSCHÖPFUNG HABE ICH DANN?



**Schrittweise Einführung, Vertrauen schaffen/gewinnen, LERNEN!**

5

# ZULASSUNGSSTRATEGIEN FÜR SICHERHEITSKRITISCHE BAUTEILE

## 1. Option: Einzelteilqualifikation / Zulassung eines Rohlings

- Qualifikation einer Kombination aus einem Rohling mit einem Hersteller und Maschine
- Findet heute in ähnlicher Form für Gussteile und Schmiedeteile in der Luftfahrt statt
- Bietet sich an, wenn die Reife der Technologie noch niedrig ist
- Bietet sich an, wenn man insgesamt nur wenig Bauteile mit der Technologie herstellen will

## 2. Option: Prozessqualifikation

- Qualifikation eines Materials in Kombination mit einem Prozess und einem Hersteller
- Findet man heute in ähnlicher Form für Blechumformung, Kugelstrahlen etc
- Meist in Kombination mit einer First Part Qualification (FPQ)
- Bietet sich an, wenn die Technologie schon eine gewisse Reife hat
- Bietet sich an, wenn man insgesamt viele Bauteile mit der Technologie herstellen will

# WIE SAMMELE ICH ERFAHRUNGEN, WIE GEWINNE ICH VERTRAUEN?

## Schritt 1: Erfahrungen sammeln mit der Prozesskette

- Nicht – PSE\* Bauteile
- Fokus auf Ti64 als erstes AM Material in der Luftfahrt
- 1-zu-1 Übersetzung des Bauteildesigns
- Einzelteilqualifikation

## Schritt 2: Prozessqualifikation einführen

### Variante 2.1

- Nicht – PSE\* Bauteile
- Prozessqualifikation
- Optimiertes Design (für AM)

### Variante 2.2

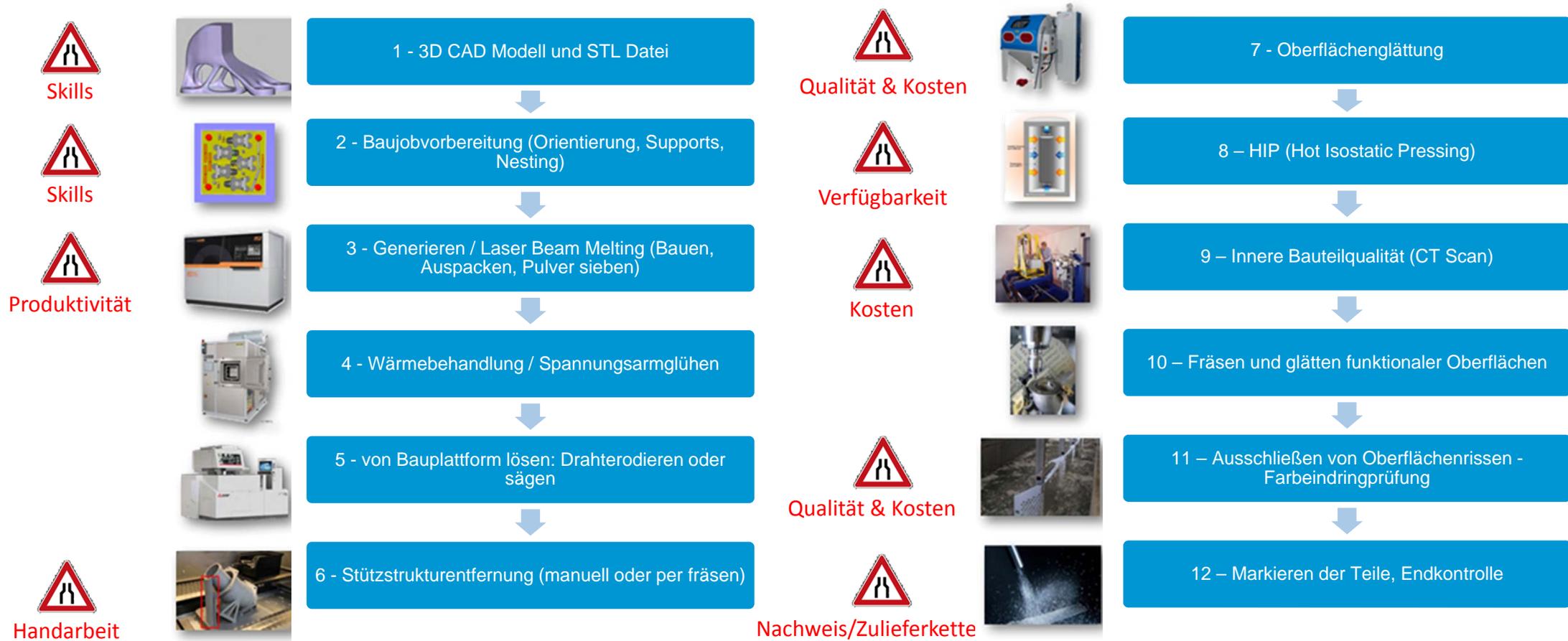
- PSE Bauteile (mit parallelen Lastpfaden)
- Einzelteilqualifikation
- 1-zu-1 Übersetzung des Bauteildesigns

## Schritt 3: Optimiertes Design, Ausweitung auf diverse Bauteile

- PSE\* und nicht-PSE\* Bauteile
- Optimiertes Design (für AM), funktionale Integration, Bionik
- Volle Prozessqualifikation (extern, in der Zulieferkette)
- Ausweitung auf diverse Materialien (Ti, Alu, Inconel, Stahl, ...)

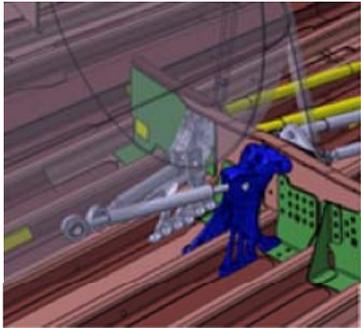
\* PSE = Primary Structural Element

# LÄNGE UND KOMPLEXITÄT DER PHYSISCHEN PROZESSKETTE, AM BEISPIEL METAL POWDER BED FUSION



Quelle: BDLI

# PROZESSKETTE ADDITIV GEFERTIGTER TEILE: ENTWICKLUNG UND FERTIGUNG



Bedarf an 3D-Druck Bauteil



Digitale Lizenzen vergeben?  
 Digitalen Qualitäts-Nachweis „anheften“?  
 Teile markieren?



Quelle Bilder: Airbus, AM Forum Key Note 2019

# NOTWENDIGKEIT, DIE HERAUSFORDERUNGEN GEMEINSAM ANZUGEHEN

## BEISPIEL: BDLI / AMIAS KOMPETENZNETZWERK ADDITIVE FERTIGUNG



Im erweiterten Kernteam vertreten:

- ALM Maschinenhersteller
- ALM Teilezulieferer
- Forschungsinstitute, Hochschulen, Fraunhofer Institute

Fokus der Arbeitsgruppen derzeit:

- Verbessern der Oberflächenqualität von metallischen ALM Teilen
- Qualitätssicherung, on-line Parameterüberwachung
- Produktentwicklung / Design

Konferenz / Austausch

Quelle: BDLI

10

## EINIGE SCHLUSSFOLGERUNGEN

- Additive Fertigung (Metall / Polymere) ist nicht neu, aber die Aktivität steigt weltweit
- Anwendungen für Additive Fertigung verschieben sich:  
von Prototypen und Fertigungshilfsmitteln → zu realen Bauteilen (mit steigender Komplexität)
- Luft- und Raumfahrt ist eine der Branchen, welche als erste AM Serienteile umsetzen
- Wir sind noch nicht in der Lage, das volle Potential zu heben  
(lange physische Prozesskette, fehlende Skills und digitale Bausteine)
- Zum Konferenzthema „MIT 3D-DRUCK ZUR DIREKTEN DIGITALEN FERTIGUNG “ – was fehlt?  
Beispielsweise:
  - Integrierte Entwicklungsumgebung Stress / Design / Optimierung / Arbeitsvorbereitung / Zulieferer
  - Digitale Auftrags- und Lizenzvergabe in der Zulieferkette, zertifizierter Qualitätsnachweis für kritische Bauteile
  - Markierung und physische Verfolgbarkeit einzelner Bauteile
  - ...
- Neue Formen der Kooperation können helfen, die Lücken gemeinsam zu schließen, ich freue mich auf Gespräche!

Ab hier: Backup Slides...

# WARUM ÜBERHAUPT ADDITIVE FERTIGUNG? WAS WILL ICH FERTIGEN?

→ ES GIBT VIELE ANWENDUNGEN!

Prototypen und Hilfsmittel



Protoytypen



Herstellen von Gussmodellen/-formen



Reparatur

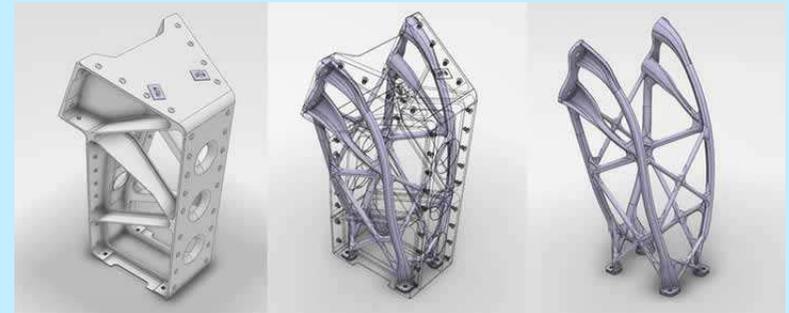
Herstellung von Bauteilen



Fertigungs(hilfs)mittel

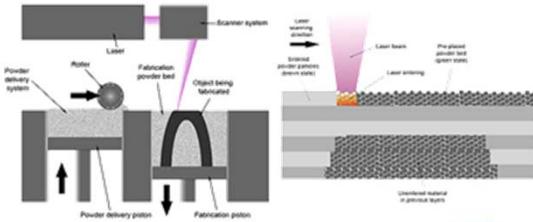


Herstellen von Rohlingen



Belastete Teile / Serienteile

# ENGE VERKNÜPFUNG DER DISZIPLINEN FÜR ADDITIVE FERTIGUNG

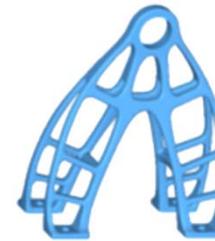
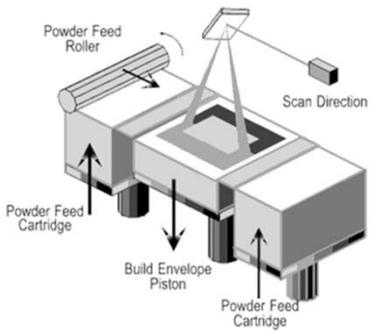


Materialien und Technologien

Fertigung und industrielle Prozesskette

Forschung für die Additive Fertigung

Neue Entwicklungsprozesse Stress & Design



Quelle: Airbus AM Forum Key Note 2019

14