

UNIVERSITÄT  
DUISBURG  
ESSEN

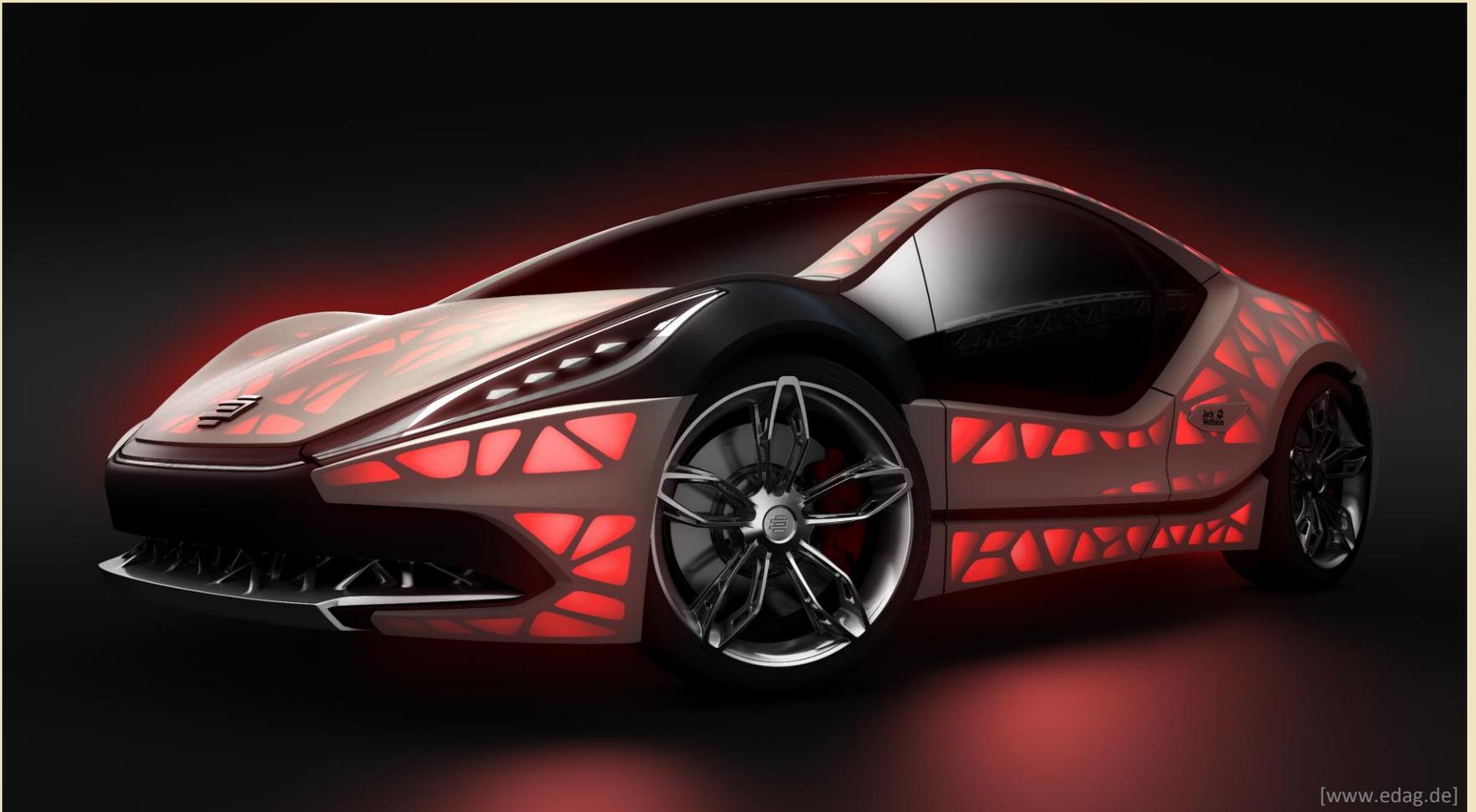
*Offen im Denken*

# Additive Fertigung: Stand und Handlungsfelder

Prof. Dr.-Ing. habil. Gerd Witt

Dr.-Ing. Stefan Kleszczynski





[[www.edag.de](http://www.edag.de)]

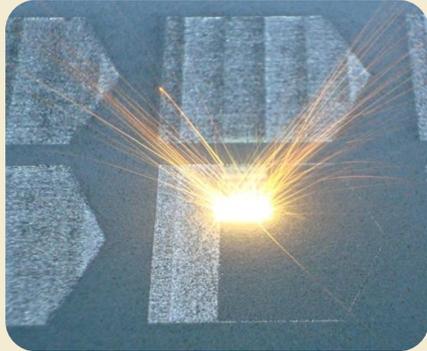
# Agenda

- **Lehrstuhl Fertigungstechnik**
- **Einführung in die additive Fertigung**
- **Marktprognosen**
- **Übersicht der Fertigungsverfahren**
- **Anwendungsbeispiele**
- **Handlungsbedarf**
- **Trends**

# Agenda

- **Lehrstuhl Fertigungstechnik**
- **Einführung in die additive Fertigung**
- **Marktprognosen**
- **Übersicht der Fertigungsverfahren**
- **Anwendungsbeispiele**
- **Handlungsbedarf**
- **Trends**

## Aktivitäten



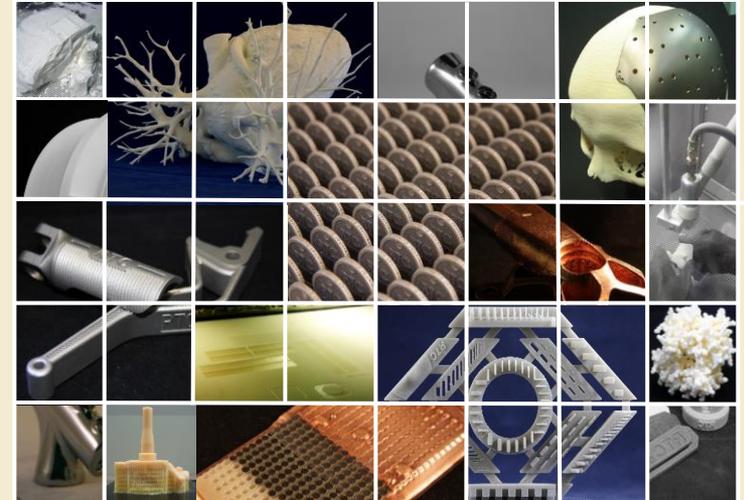
## Additive Fertigungsverfahren (12 Mitarbeiter)



Werkzeuglose Fertigung durch schichtweises Aneinanderfügen von Werkstoffen.

### Forschungsschwerpunkte

- Anlagenoptimierung und Prozessüberwachung
- Grundlegendes Prozessverständnis
- Qualifizierung neuer Werkstoffe
- AM-gerechte Konstruktion



## Hybride Montagesysteme (2 Mitarbeiter)

Kombination automatisierter und manueller Prozesse



### Forschungsschwerpunkte

- Integration von hybriden Systemen zur Flexibilisierung der Prozesse
- Optimierung manueller Arbeitsprozesse hinsichtlich Ergonomie und Gestaltung
- Simulation in der Montage

## Kontakt

Universität Duisburg-Essen  
IPE - Fertigungstechnik

Lotharstr. 1  
47057Duisburg

Prof. Dr.-Ing. habil. Gerd Witt  
Tel: 0203/379-3360  
E-Mail: gerd.witt@uni-due.de

<http://www.uni-due.de/fertigungstechnik>

## Industrielle AM Anlagen:

### Laser-Sintern

- Formiga P 100
- DTM 2500 (2x)
- DTM 2000
- Eigenbau „Delta“

### Laser-Strahlschmelzen

- Eosint M 270
- EOS M 290
- EOS M 100

### Fused Layer Modeling

- Dimension SST 1200es



## Modifikation von AM Anlagen:

### Laser-Sintern

- Thermografie Prozess Monitoring System
- Bauraumverkleinerung
- Alternative Heizkonzepte
- LS-Anlage „Delta“

### Laser-Strahlschmelzen

- Bildgestützte Prozessüberwachung
- Schwingungsaufnehmer zur Prozessüberwachung
- Strahlungsheizung

## Laboraausstattung:

- Olympus „BX51m“ Lichtmikroskop
- Novex Stereo Mikroskop
- Koordinatenmessmaschine Nikon „C3 5.4.4“
- Faro „Edge“ Koordinatenmessarm
- Mitutoyo „SJ-400“ Oberflächenrauheitsmessgerät
- Karg „Melt Flow“ MVR Messgerät
- Strahlkabinen
- OTEC CF18 Gleitschleifanlage
- Medite Mikrotom A550



## 3D Druck Labor:

- Fabbster
- Ultimaker 2
- Form 2



# Agenda

- Lehrstuhl Fertigungstechnik
- **Einführung in die additive Fertigung**
- Marktprognosen
- Übersicht der Fertigungsverfahren
- Anwendungsbeispiele
- Handlungsbedarf
- Trends

## Definition:

Fertigungsverfahren, bei dem das Werkstück element- oder schichtweise aufgebaut wird. (VDI 3405)

## Anforderungsabhängige Einteilung:

### Rapid Prototyping

„Additive Herstellung von Bauteilen mit eingeschränkter Funktionalität“



### Rapid Tooling

„Additive Methoden und Verfahren zum Bau von Werkzeugen und Formen“



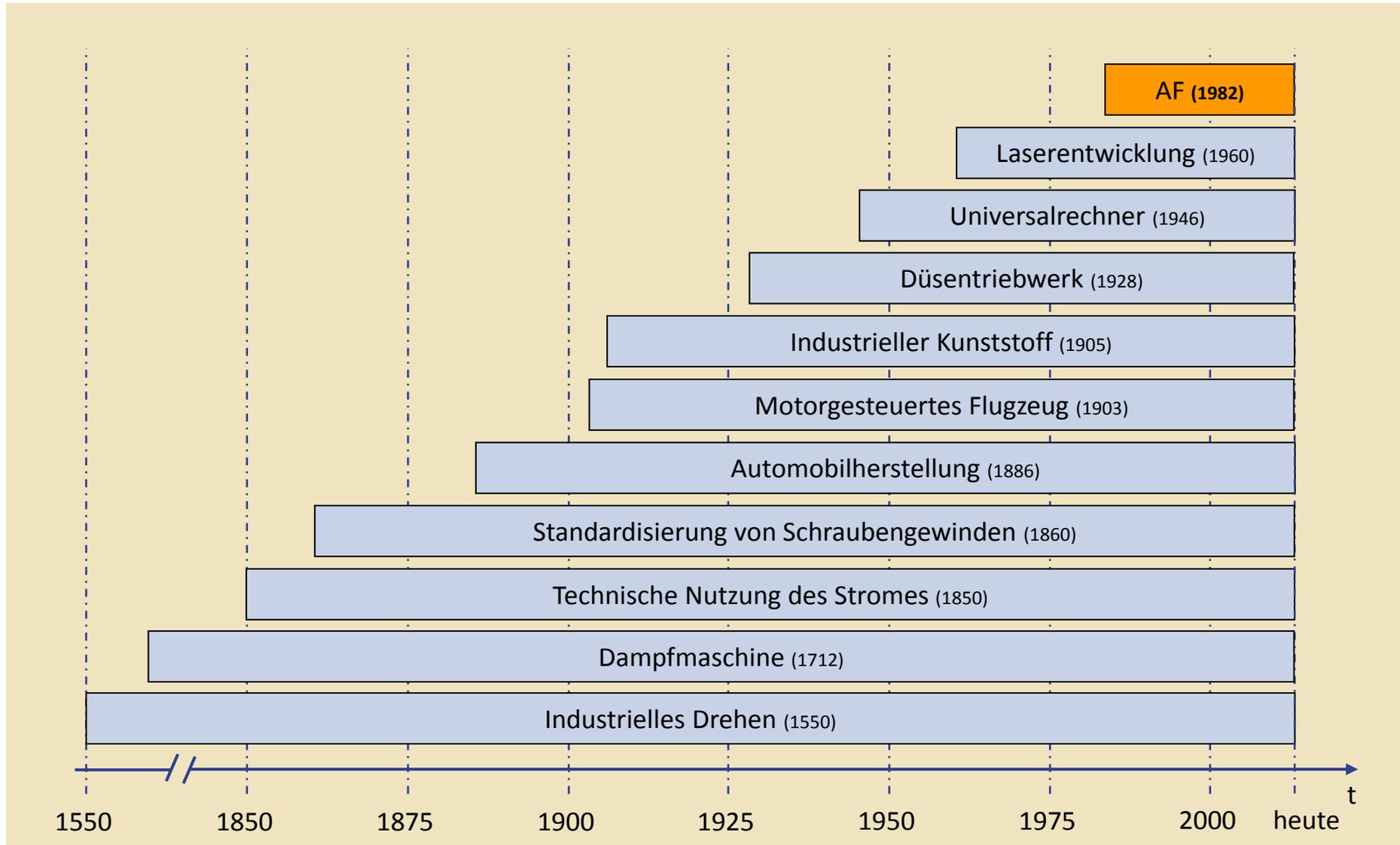
[www.protocam.com]

### Rapid Manufacturing (Additive Manufacturing)

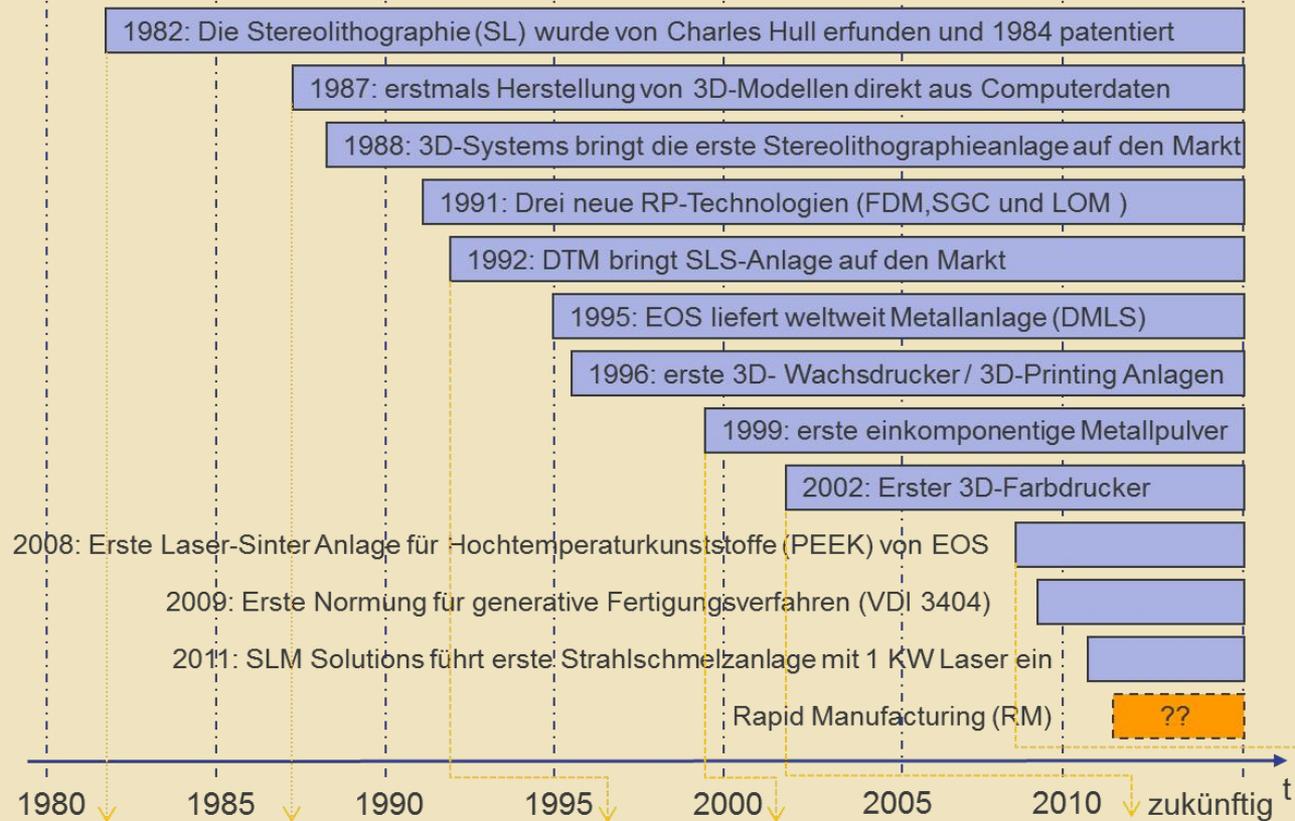
„Additive Herstellung von Endprodukten (häufig für den „Serieneinsatz“)“



# Zeitliche Einordnung der additiven Fertigung



# Zeitliche Entwicklung der additiven Fertigung



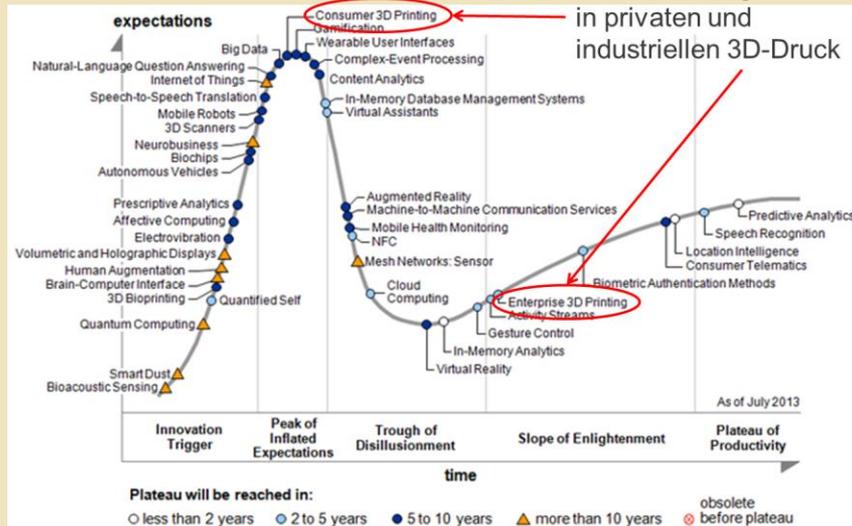
# Agenda

- Lehrstuhl Fertigungstechnik
- Einführung in die additive Fertigung
- **Marktprognosen**
- Übersicht der Fertigungsverfahren
- Anwendungsbeispiele
- Handlungsbedarf
- Trends

- Schlüsselpatent für die FLM-Technologie vor knapp 10 Jahren ausgelaufen
- „Hobby 3D Drucker“ und starke Medienpräsenz
  - 3D-Druck-Hype

2013 erstmalig Unterteilung

in privaten und industriellen 3D-Druck



A collage of media headlines and images related to 3D printing:

- Focus Online:** Baby oder Mondstation ausdrucken
- ARD tagesthemen:** So prägen 3D-Drucker die Welt von morgen
- ZDF heute:** 3D-Druck: eine industrielle Revolution?
- RP Online:** Düsseldorf
- Stern.de:** Der Star-Trek-Replikator wird Realität
- FAZ:** 3D-Drucker werden immer und industrieller
- Die Zeit:** 3D-Drucker zwischen Spaß und Geschäftsmodell

## Marktforschung prognostiziert weiterhin großes Wachstum der Branche!

Internationaler Umsatz der AF durch Verkauf und Services



- Globaler Umsatz bis 2022 auf \$ 26,2 Milliarden
- Daraus folgt eine nahezu Vervielfachung des Umsatzes innerhalb von fünf Jahren (2017: \$ 7,4 Milliarden)
- Jährliche Wachstumsrate von 28,8 % (2017 – 2022)

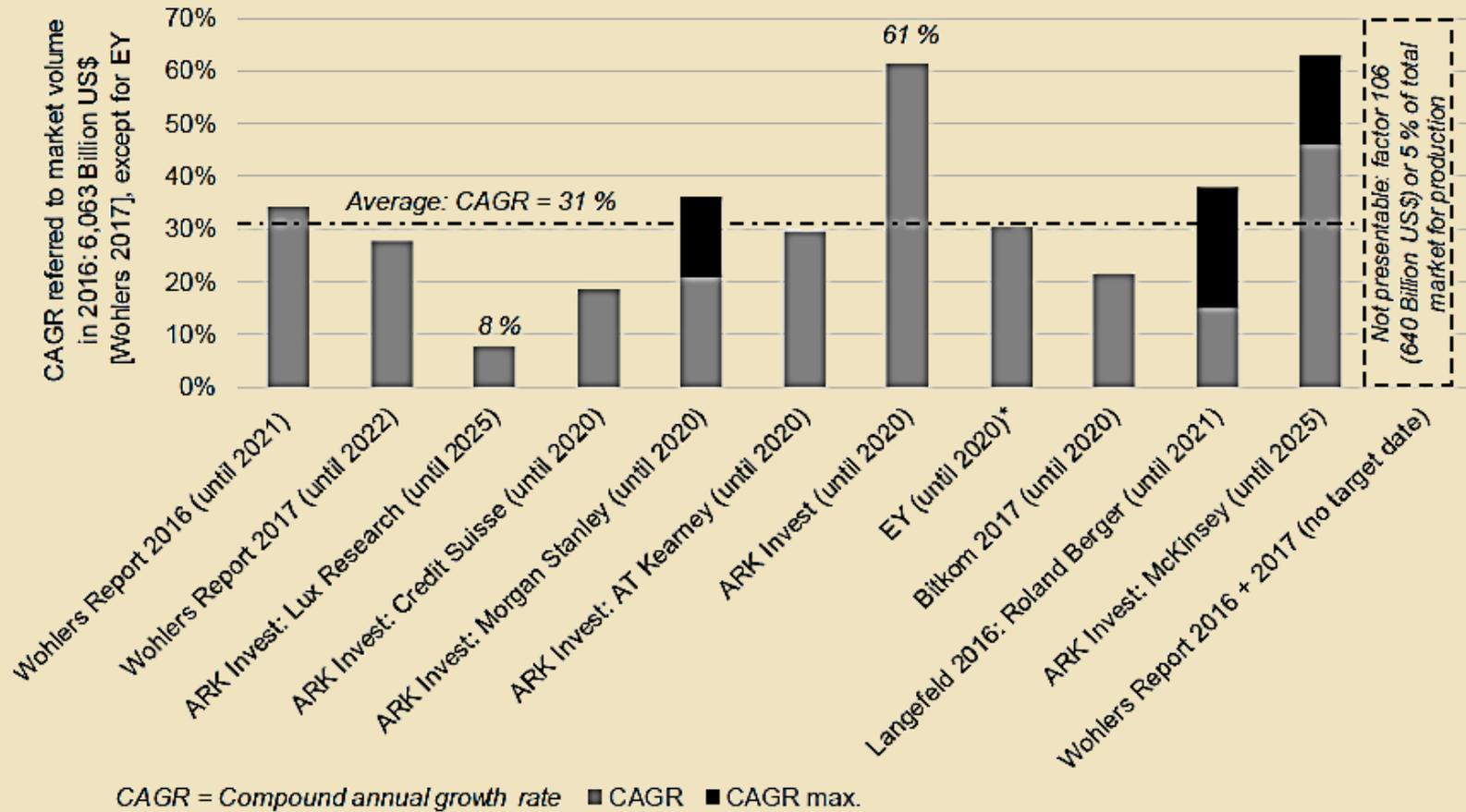
**RESEARCH AND MARKETS**  
THE WORLD'S LARGEST MARKET RESEARCH STORE

Globaler 3D-Druck-Markt im Gesundheitsbereich soll auf \$ 3,89 Milliarden bis 2022 heranwachsen

**FROST & SULLIVAN**

Additive Fertigung soll bis 2025 \$ 4,3 Milliarden in Autoindustrie erwirtschaften

[Quelle: Wohlers Associates, Inc 2017 / 2018]

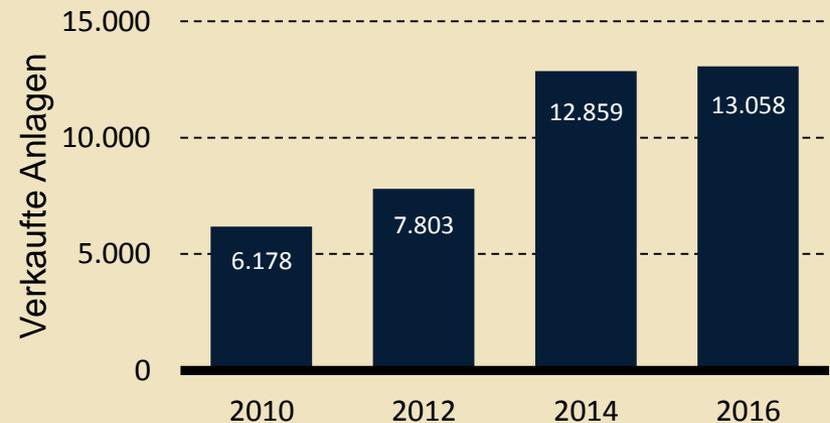


[Quelle: Dr.-Ing. Christian Seidel, Fraunhofer IGCV Augsburg, 2018]

## Anlagenhersteller verzeichneten deutlich steigende Verkaufszahlen!

- „Umsatzsteigerung um 49 % im Jahr 2017 ...“ (SLM)
- „Voxeljet meldet für das Jahr 2017 eine Umsatzsteigerung von 17 % ...“ (Voxeljet)

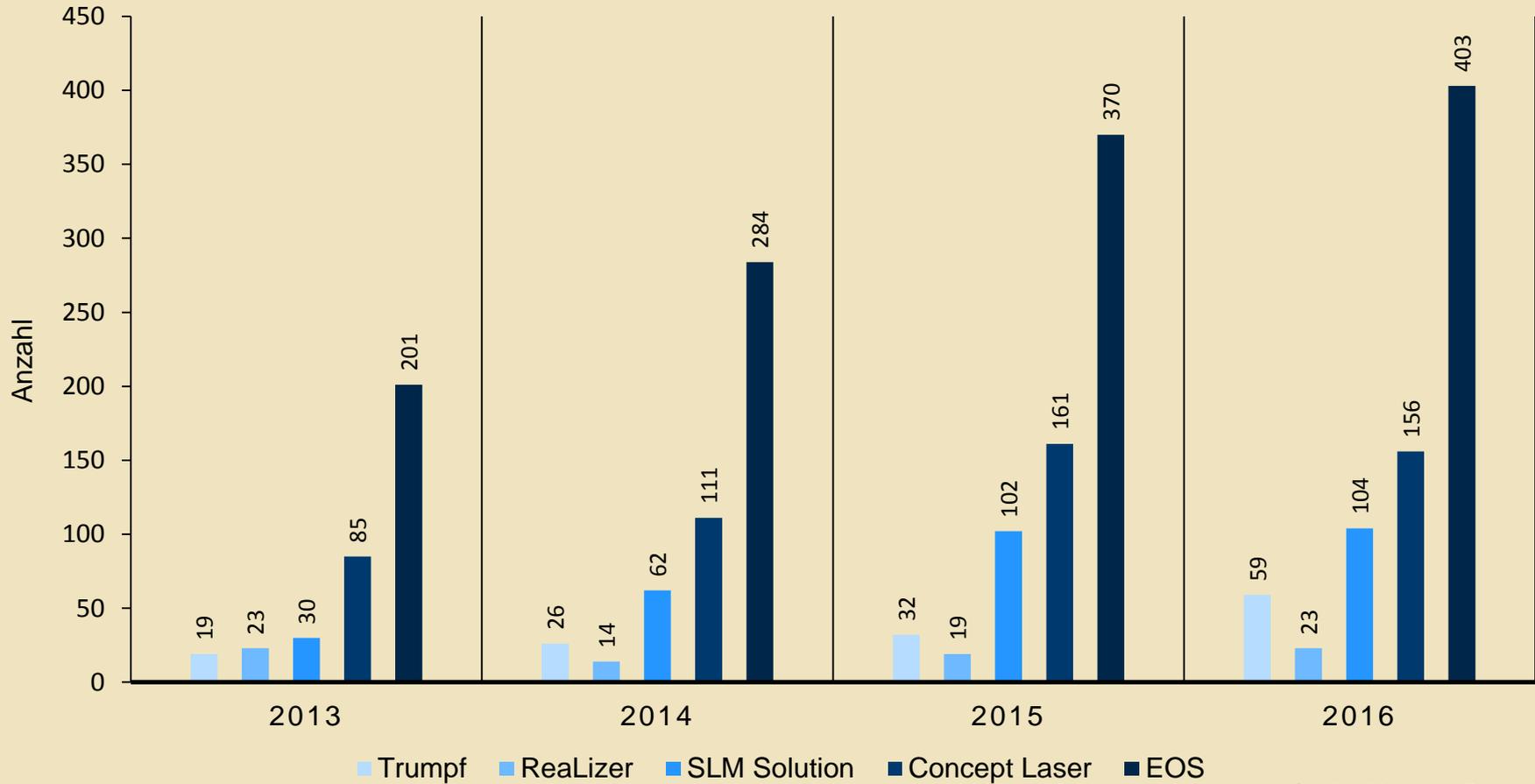
Anzahl verkaufter AM-Anlagen  
(Wert  $\geq$  5000 \$)



- Anlagenverkäufe haben sich zwischen 2010 und 2016 fast verdoppelt

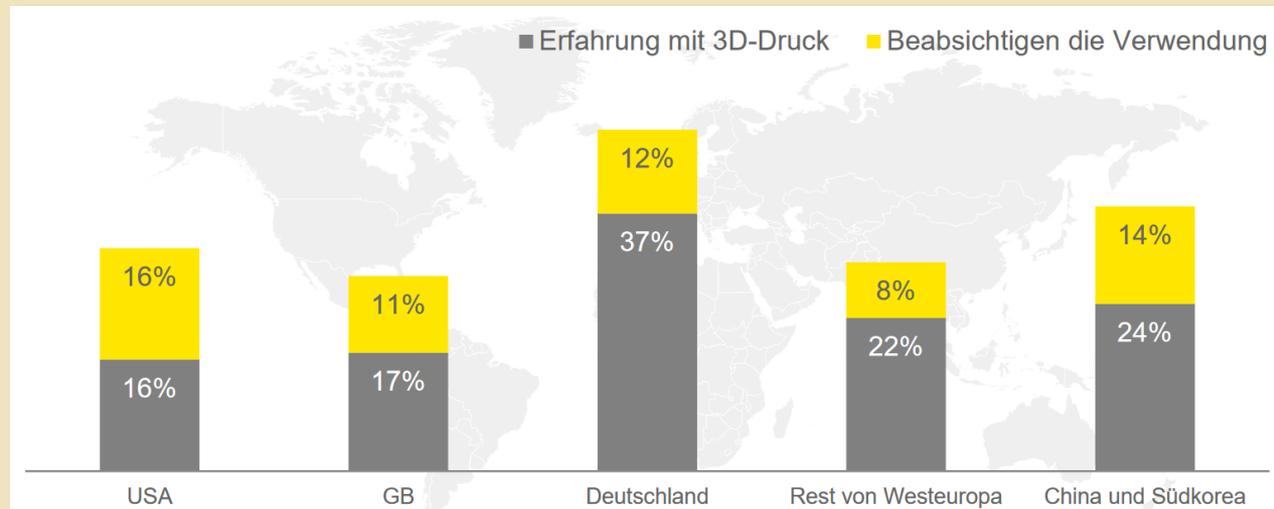
[Quelle: Wohlers Report 2017]

## Anzahl der verkauften AM Anlagen nach Herstellern in Deutschland



[Quelle: Wohlers Report 2017]

## Additive Technologien sind gefragt!



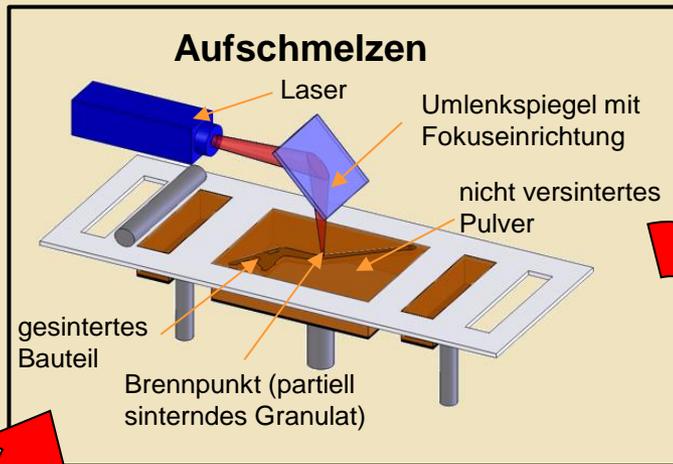
- 37 % der deutschen Unternehmen verwenden additive Technologien
- 12 % der deutschen Unternehmen planen den zukünftigen Einsatz

[Quelle: Ernst und Young]

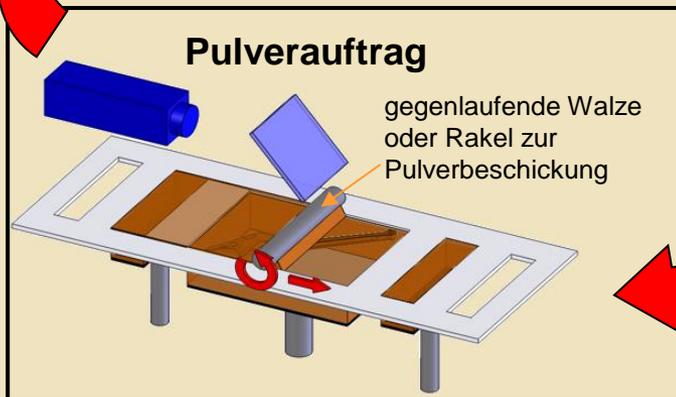
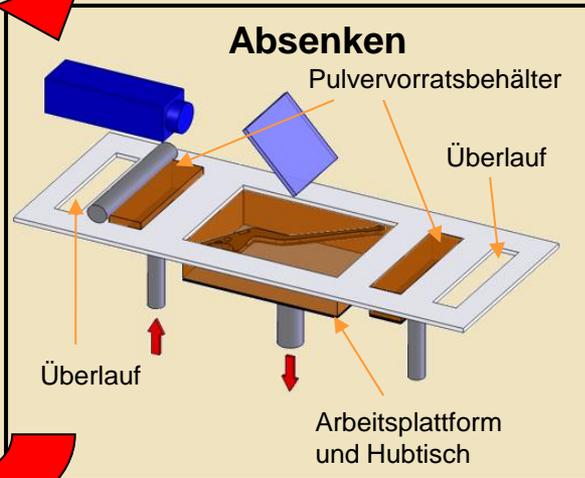
# Agenda

- **Lehrstuhl Fertigungstechnik**
- **Einführung in die additive Fertigung**
- **Marktprognosen**
- **Übersicht der Fertigungsverfahren**
- **Anwendungsbeispiele**
- **Handlungsbedarf**
- **Trends**

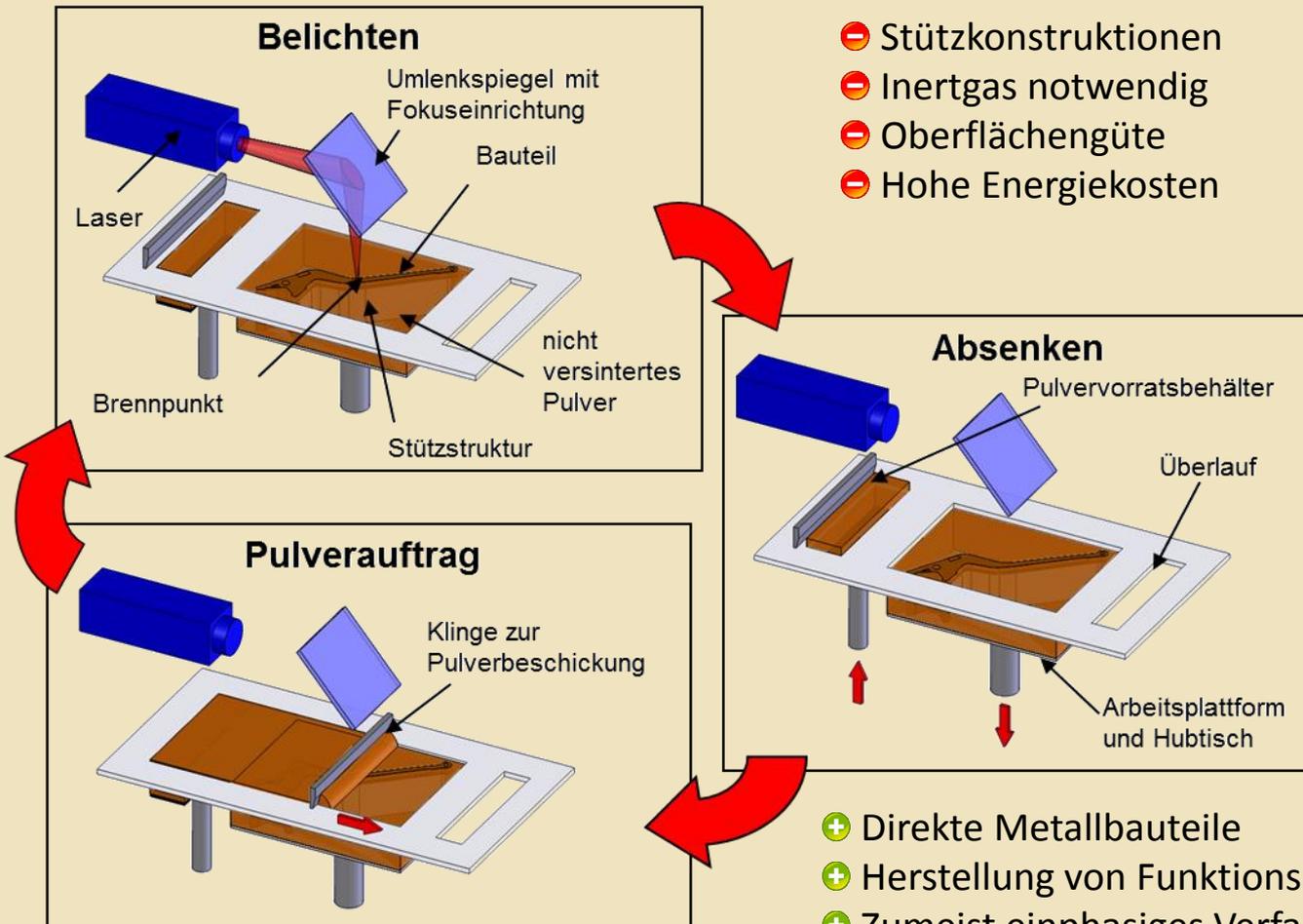
Verfahren	Werkstoff				
	Papier	Kunststoff	Formsand	Metall	Keramik
Stereolithografie (SL)					
Laser Sintern (LS)					
Laser-Strahlschmelzen (LSS)					
Elektronen-Strahlschmelzen					
Fused Layer Modeling / Manufacturing (FLM)					
Multi-Jet Modeling (MJM)					
Poly-Jet Modeling (PJM)					
3-D Drucken (3DD)					
Layer Laminated Manufacturing (LLM)					
Digital Light Processing (DLP)					
Thermotransfer-Sintern					



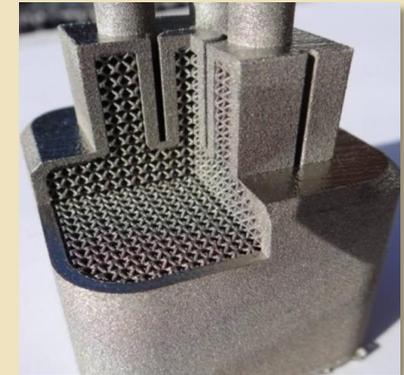
- ⊖ Versinterungen im Randbereich
- ⊖ Inertgas notwendig
- ⊖ Oberflächengüte
- ⊖ Vorheizen des Pulvers nötig



- ⊕ Keine Stützkonstruktionen
- ⊕ Belastbare Bauteile darstellbar (Federn, Filmscharniere)
- ⊕ Zumeist einphasiges Verfahren
- ⊕ Wiederverwendung von nicht benutztem Material



- ⊖ Stützkonstruktionen
- ⊖ Inertgas notwendig
- ⊖ Oberflächengüte
- ⊖ Hohe Energiekosten



- + Direkte Metallbauteile
- + Herstellung von Funktionsmodellen
- + Zumeist einphasiges Verfahren
- + Wiederverwendung von nicht benutztem Material

# Agenda

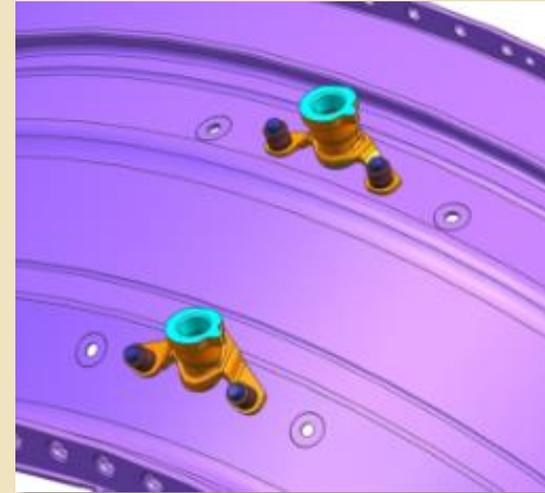
- **Lehrstuhl Fertigungstechnik**
- **Einführung in die additive Fertigung**
- **Marktprognosen**
- **Übersicht der Fertigungsverfahren**
- **Anwendungsbeispiele**
- **Handlungsbedarf**
- **Trends**

## Boroskopaage

- Erstes laser-strahlgeschmolzene Serienbauteil von MTU
- Start im Jahr 2013, Fertigungsanlauf im Jahr 2016
- Zwei Teilenummern pro Triebwerk
- Reduzierung der Bauteilkosten:

konventionell: ca. 200 €

additiv: 165 € -17 %



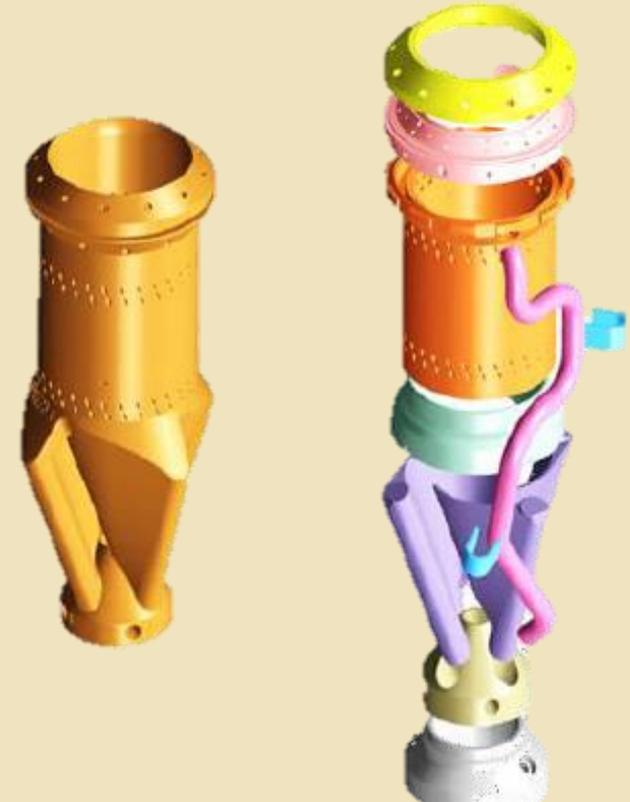
[J. Casper/MTU Aero Engines AG]

## iBuMa (intelligent Burner Manufacturing)



[Tildy Bayar, Power Engineering International]

- Signifikante Gewichtsreduzierung
- Reduzierung der Durchlaufzeit bis runter auf 15 %
- Integration von 13 Bauteilen und 18 Schweißnähten



[L. Farahbod/Siemens AG]

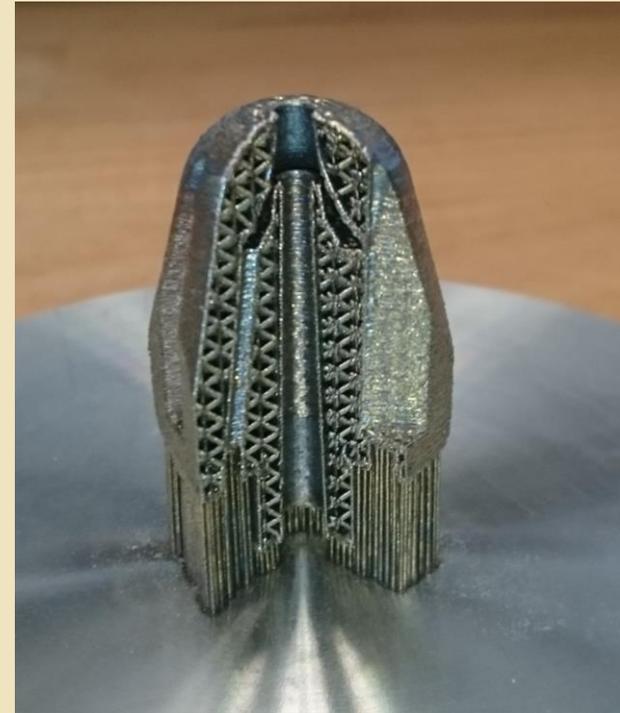
## Carbothandüse

### Funktion:

Zusammenführen zweier oder mehrerer Gase am Ende der Düse



Konventionelle Fertigung:  
Drei einzeln hergestellte Bauteile durch  
mehrerer Fertigungsschritte



Additive Fertigung:  
Einphasige, additive Herstellung mit  
direkter Funktionsintegration

## Instandhaltung der Schienenfahrzeuge

- 40 DB-Mitarbeiter beschäftigen sich mit AF-Technologien
- 170 „3D Druck geeignete“ Bauteile wurden bereits identifiziert
- 2.000 Bauteile wurden in 2017 „gedruckt“
- 2018 mögliches Upscaling auf 15.000 Bauteile
- Kooperation mit TÜV SÜD – Prüfprogramm, QS



Staubschutzkappe für Gleisarbeitsfahrzeug PA 12; Laser-Sinter-Verfahren



Kopfstütze für Regionalzüge ABS; FLM-Verfahren

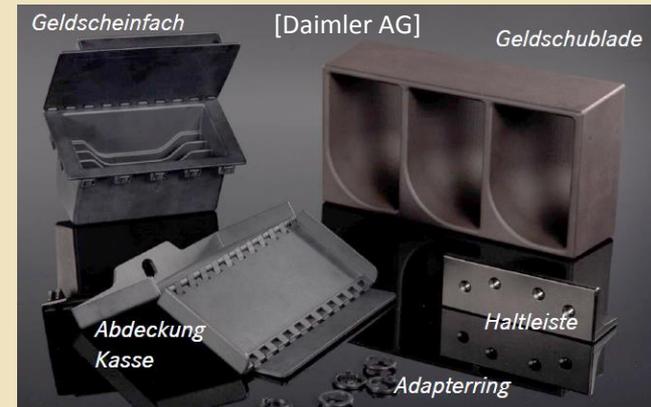


Bremsvorrichtung „Sandtreppe“ Titan; Laser-Strahlschmelz-Verfahren

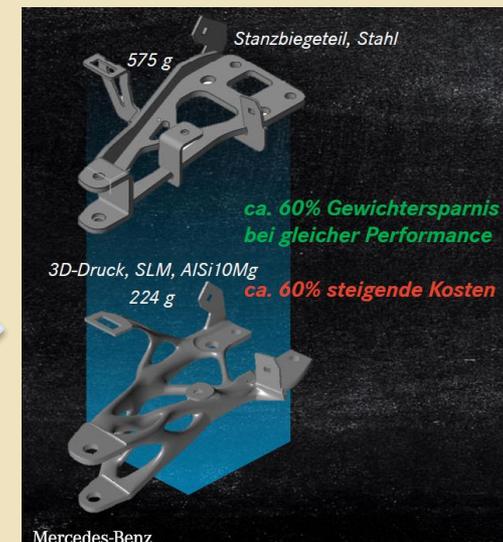
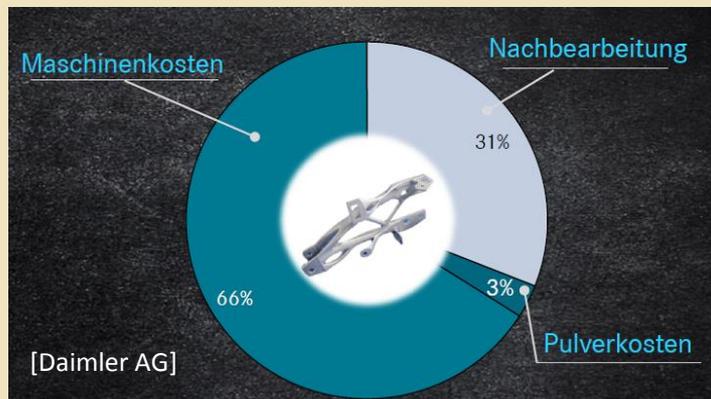
[<https://inside.bahn.de/3d-druck/>]

## Identifizierung von Business-Cases

- After Sales Markt: 30 Ersatzteile (Kunststoff) für Mercedes Benz Lkw seit September 2016 in Originalteile-Qualität verfügbar
- Ersatzteile für Mercedes Benz Trucks und Oldtimer aus Metall seit August 2017
- Funktionsintegrierte Kunststoffteile für Busse
- Bauteilfunktionalität muss Mehrkosten aufwiegen

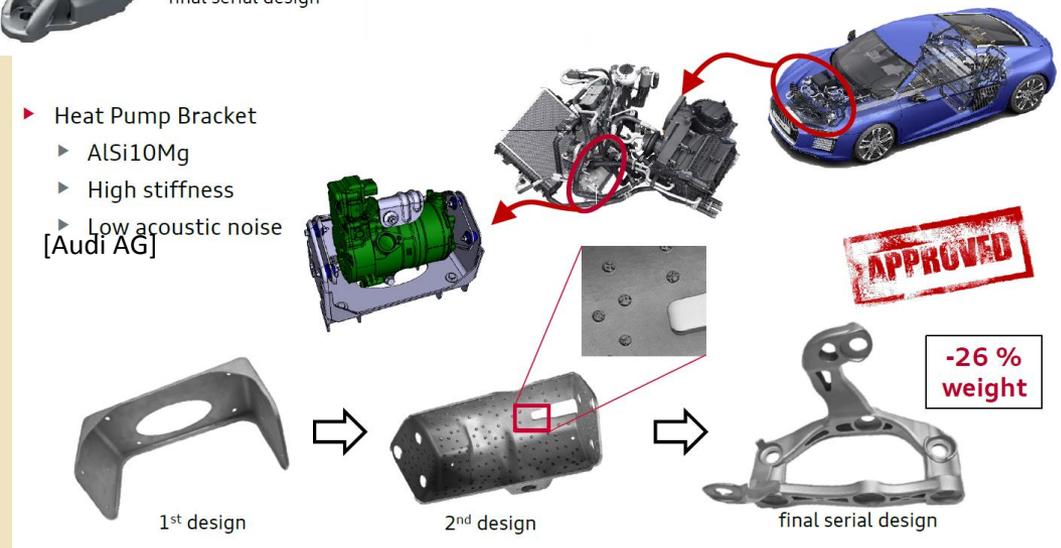


Kleinserienbauteile für Busse;  
Polyamid, Laser-Sintern

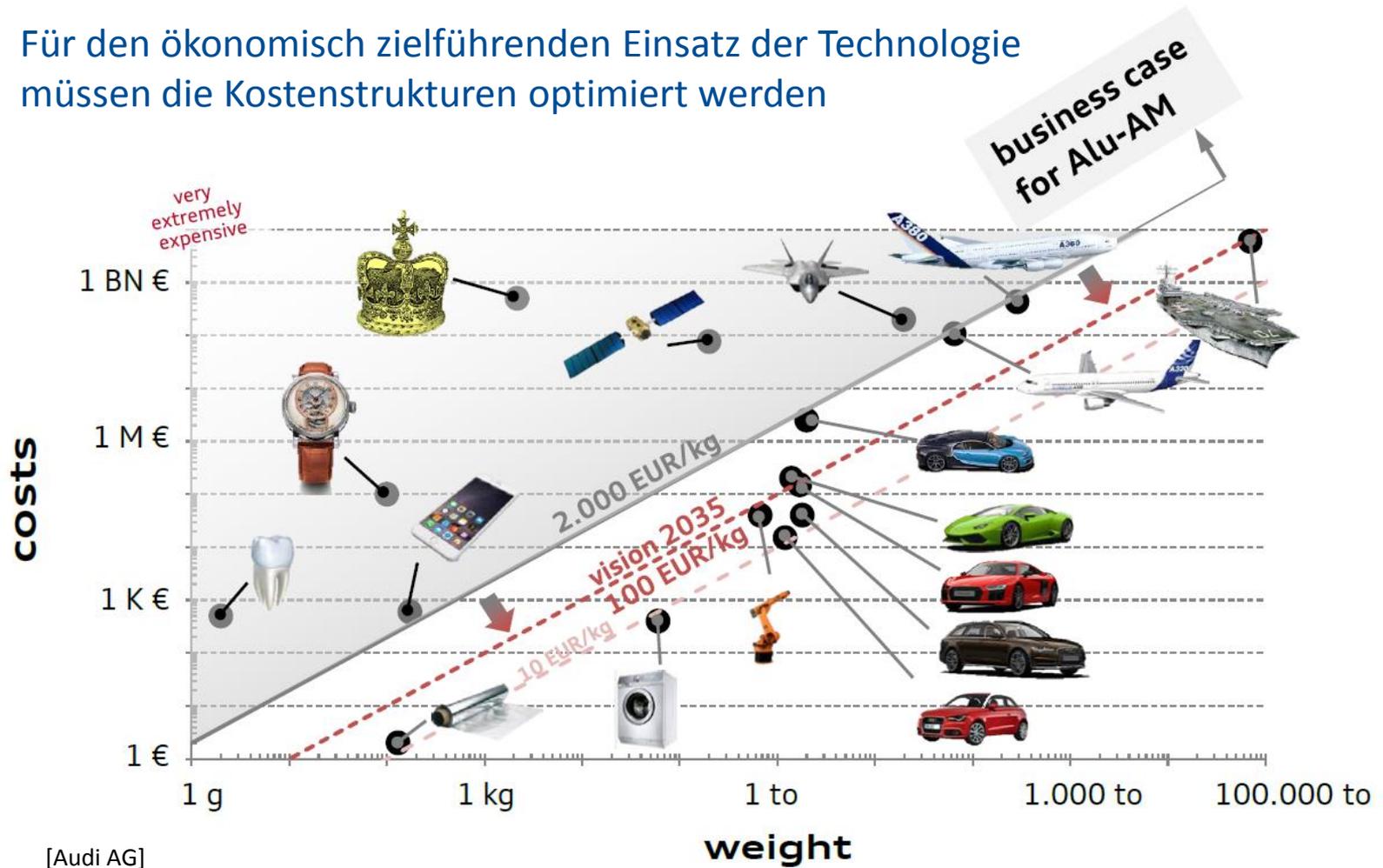




Konzeptstudien zur  
Topologieoptimierung belegen das  
Potenzial der additiven Fertigung



Für den ökonomisch zielführenden Einsatz der Technologie müssen die Kostenstrukturen optimiert werden



[Audi AG]

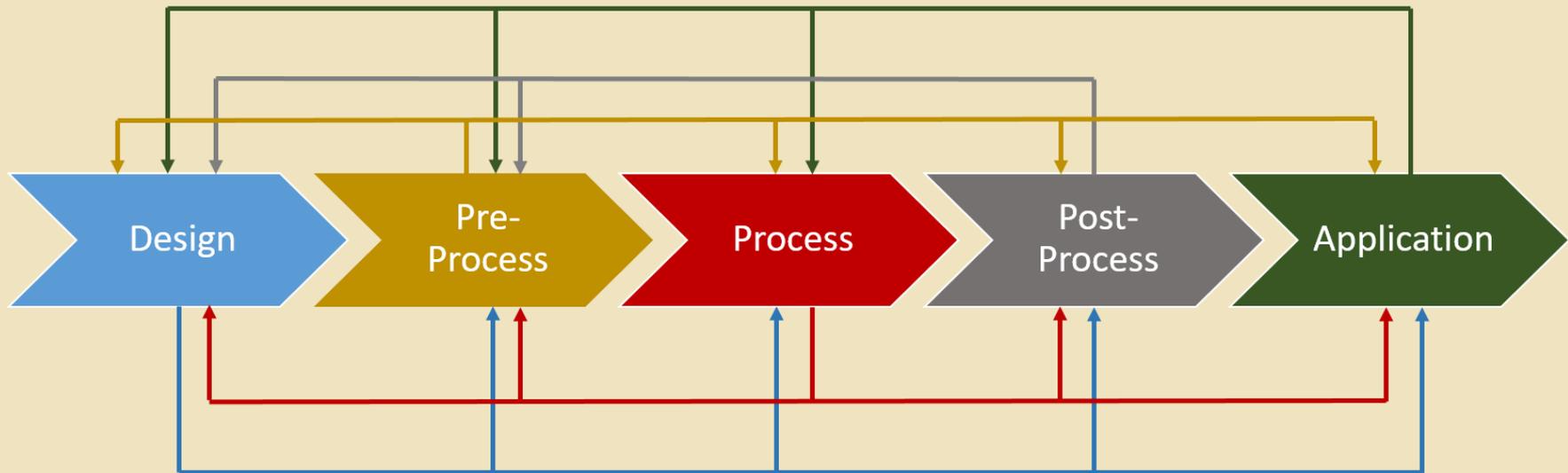
# Agenda

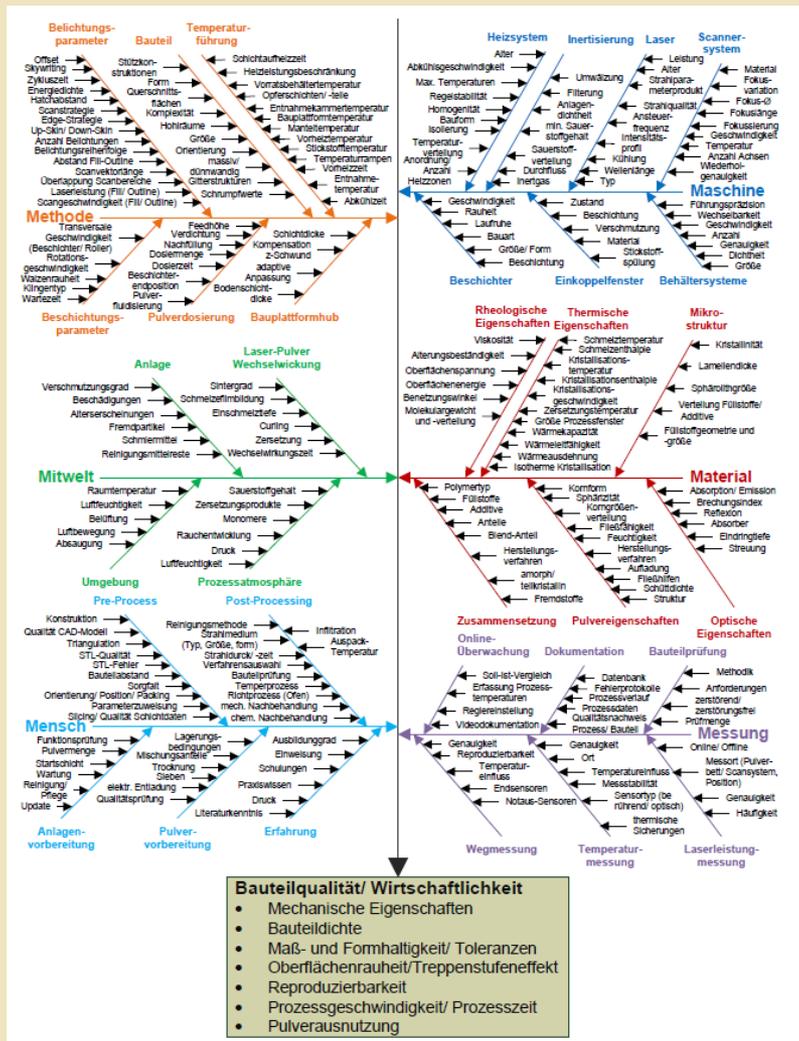
- **Lehrstuhl Fertigungstechnik**
- **Einführung in die additive Fertigung**
- **Marktprognosen**
- **Übersicht der Fertigungsverfahren**
- **Anwendungsbeispiele**
- **Handlungsbedarf**
- **Trends**





## Prozesskette additiver Fertigungsverfahren

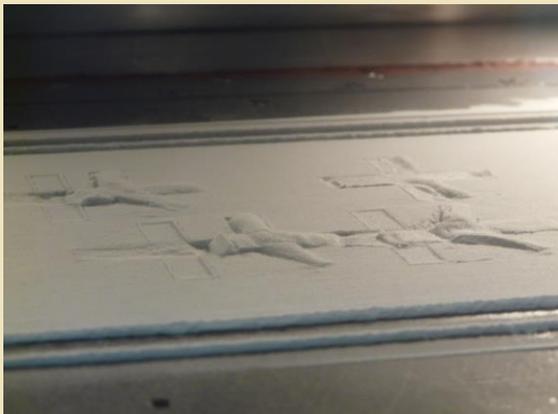




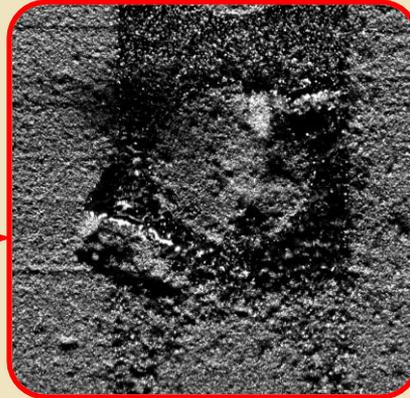
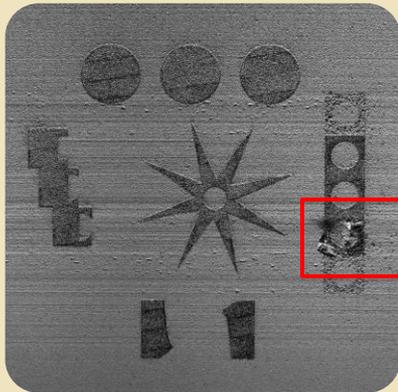
- Hohe Anzahl an qualitätsrelevanten Parametern
- Komplexe Wechselwirkung der Parameter
- Bauteilqualität und Prozessstabilität in hohem Maße von den Prozessparametern und Umgebungsbedingungen abhängig
- Schwankungen führen zu:
  - Starken Streuungen der Bauteileigenschaften
  - Instabilen Prozessen

[Dissertation A. Wegner]

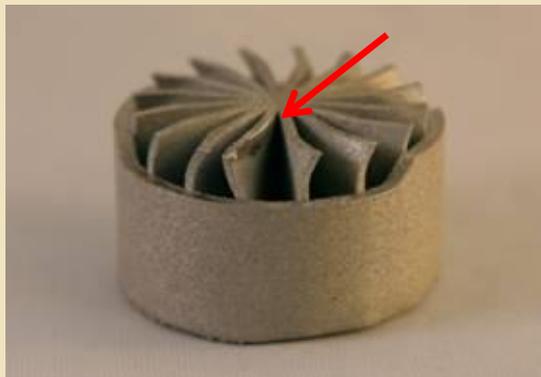
- Curling der ersten Bauteilschichten
- Bauteilverzug
- Melt-Down im Bauraum
- Schichtablösungen
- Scannerfehler
- Kollision Beschichter mit Bauteil



## Fehlerhafte Aufschmelzung



## Kollision des Beschichters mit Bauteil



Design

Anwendungen

## Technologie

Reproduzierbarkeit	?
Qualitätssicherung	?
Bauteilqualität	(✓)
Nachbearbeitung	(✓)
Werkstoffe	(✓)
Bauteileigenschaften	(✓)
Dokumentation	(✓)
Prozessstabilität	?
Datenformate	(✓)
.....	

## Wirtschaftlichkeit

Anwendungen	(✓)
Vor- & Nachteile	✓
Kosten	?
Bauteilgröße	(✓)
Zeit	(✓)
Wertschöpfung	(✓)
Design	(✓)
.....	

## Rahmenbedingungen

Ausbildung	?
Professionelles AM	(✓)
Individualisierung	✓
Home Printing (DIY)	?
Demokratisierung	?
Standardisierung	(✓)
.....	

**Rechtliche  
Fragestellungen** ?

Wertschöpfung

Zeit

Materialalterung

# Agenda

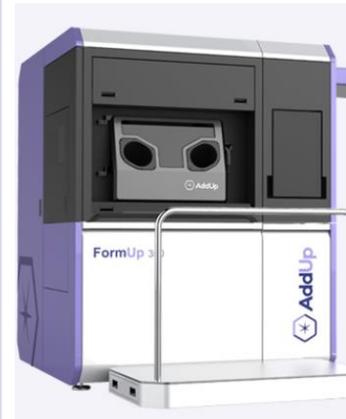
- **Lehrstuhl Fertigungstechnik**
- **Einführung in die additive Fertigung**
- **Marktprognosen**
- **Übersicht der Fertigungsverfahren**
- **Anwendungsbeispiele**
- **Handlungsbedarf**
- **Trends**

## Multifunktionsanlagen



[Additive Industries]

## Neue Hersteller

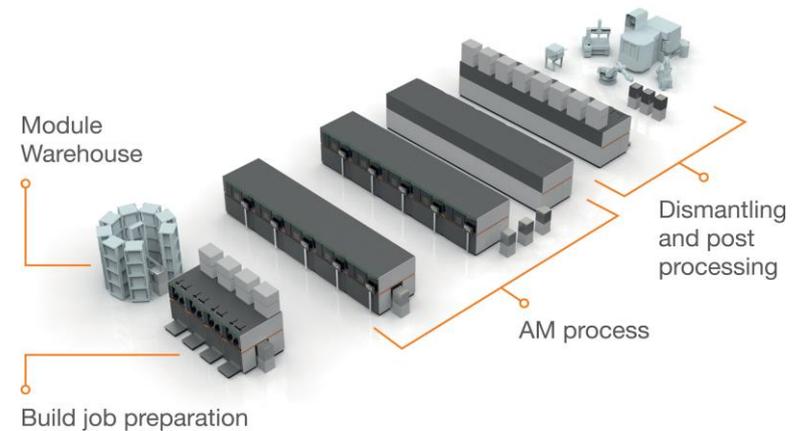


[AddUp]



[HP]

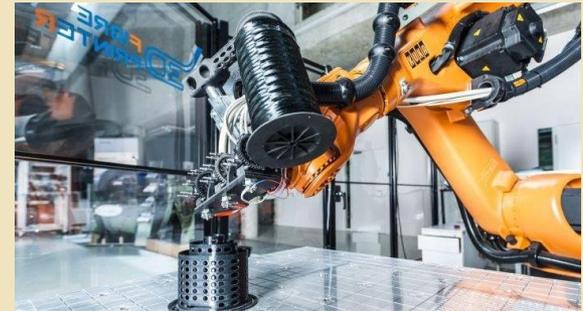
## Anlagenparks



[Concept Laser]

## Kunststoff

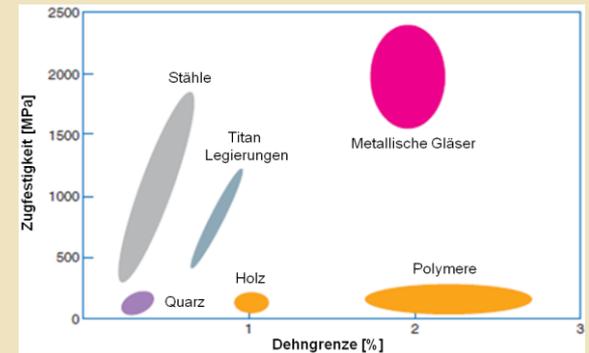
- Faserverstärkung
- Funktionalisierte Materialien
- Erweiterung Materialpalette



[Fraunhofer IPA]

## Metall

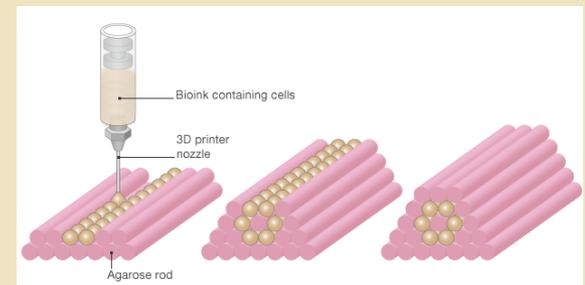
- Verfahrensspezifische Materialien
- Amorphe Metalle
- Gradierte Materialien
- Langzeitverhalten



[M, Telford]

## „Bio-Printing“

- Mit Zellen versetztes Agarosegel
- Bioresorbierbare Materialien



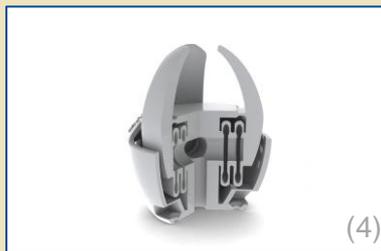
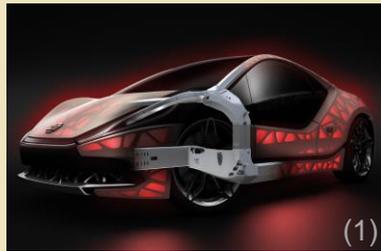
[BBC]

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Prof. Dr.-Ing. habil. Gerd Witt

gerd.witt@uni-due.de

+49 203 379 3360



(Quellen: (1) Concept Laser; (2) 3D-Systems (3) APWorks; (4) Visiotech (5) catia (6) formlabs (7) crp-group (8) EOS (9) Siemens)

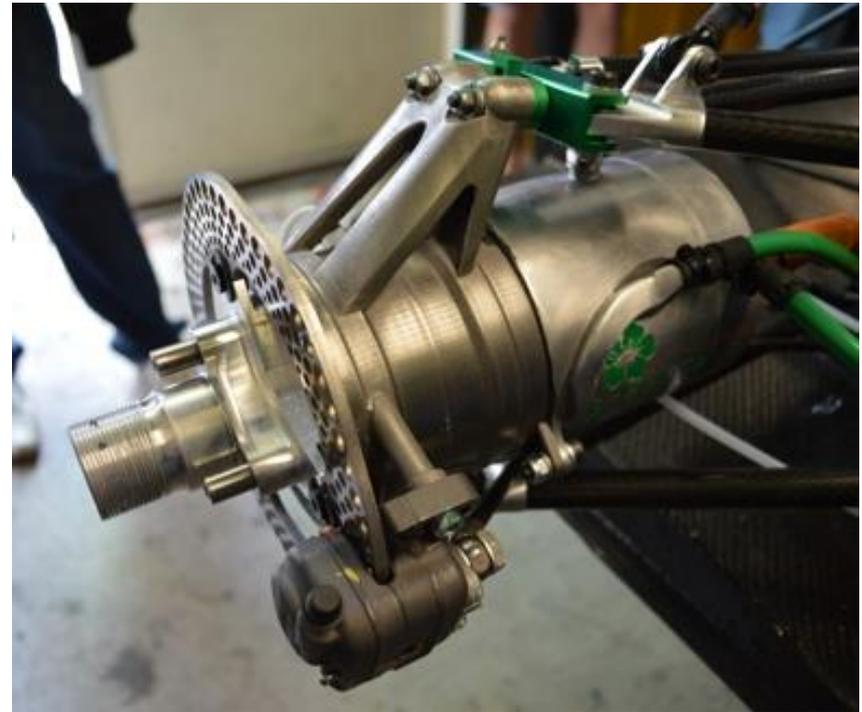
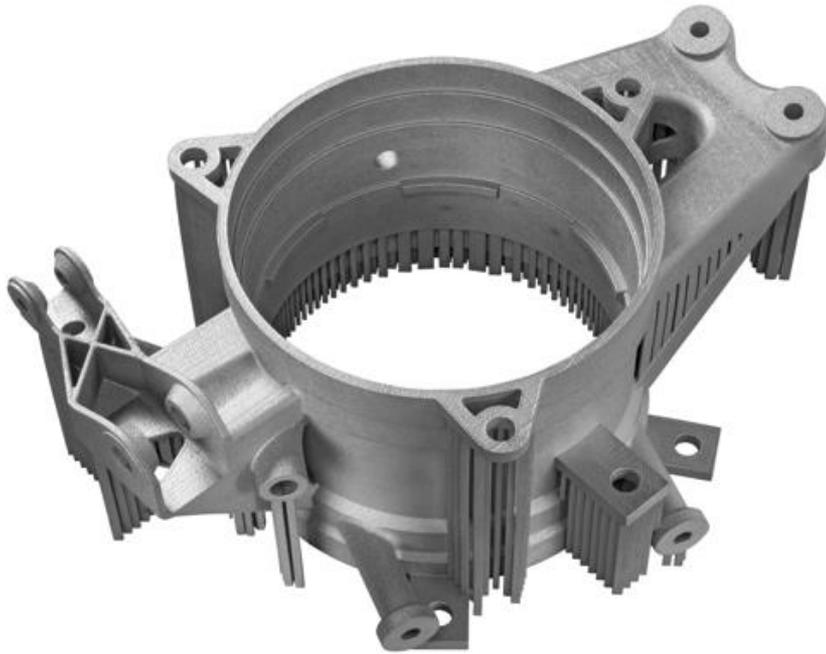
## Neue Brennkammerstrukturen

- Neue Kühlkonzepte
- Neue Flusskonzepte
- Leistungsfähigere Geometrien
- Werkstoff: Inconel 718
- Reduzierung der Fertigungs- und Montagezeit um ca. 80 %



[K. Führer/DLR]

## Radträger für Formula Student Rennwagen aus Ti64



[3D.com]

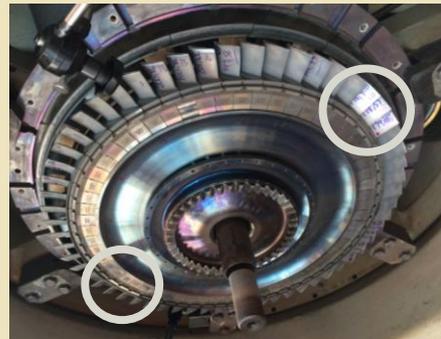
Gewichts- und Kraftoptimiert

- Gewichtsersparnis
- Erhöhte Zugfestigkeit

## SLM Turbinenschaufeln im Anlagentest



Assembly



Engine Test



### Durchbruch in der schnellen Technologie-Validierung von Heißgaspfad-Komponenten

- Verkürzung des Entwicklungszyklus (> 75 %)
- Kostenreduzierung (> 50 %)