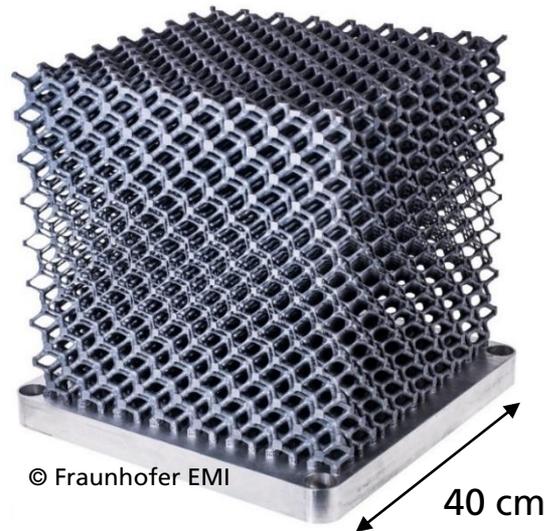

Neue Denkweisen in der Produktentwicklung mit der Additive Fertigung

Klaus Hoschke

Fraunhofer EMI, Freiburg

Gruppenleiter, Additive Design and Manufacturing



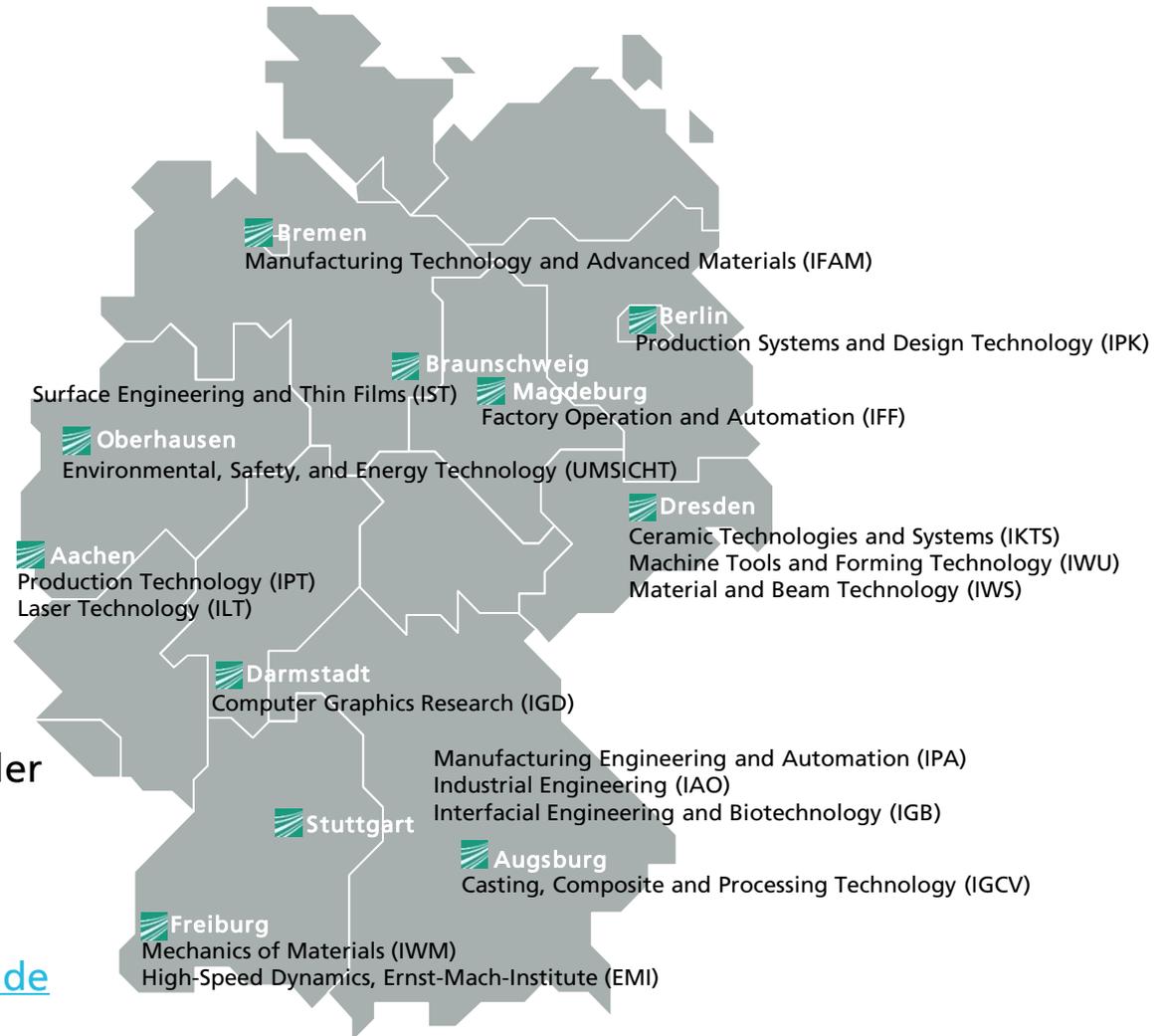
„Die Kunst einer Konstruktion ist, wo man die Löcher lässt“
Robert Le Ricolais, 1894 – 1977

Agenda

1. Anwendungsnahe Forschung zum 3D-Druck bei Fraunhofer und am EMI
2. Additives Materialdesign von Geometrie und Werkstoff
 - **Topologieoptimierung:**
Nur Material wo für die Funktion benötigt
 - **Designed Materials:**
Design und Parameteradaption für Generierung funktionell geeigneter Materialeigenschaften

3D-Druck bei Fraunhofer

Ein Thema – Siebzehn Institute – Eine Allianz – Allianz Generativ



Fraunhofer Additive Manufacturing Alliance

Sprecher: Dr.-Ing. Bernhard Mueller

Büro: c/o Fraunhofer IWU,
Nöthnitzer Straße 44,

01187 Dresden

<http://www.generativ.fraunhofer.de>

Fraunhofer Allianz Generativ

Forschungsgebiete im Bereich 3D Druck

- **Engineering**
to invent and design new products and develop suitable process chains
- **Materials**
to adapt new materials
- **Technologies**
to achieve (cost-)efficient processes
- **Quality**
to control and ensure manufacturing reproducibility and product quality



Fraunhofer Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI

- Mitarbeiter: 332
- Budget: ca. 25 Mio.
- Kurzzeitdynamik in Experiment, Modellbildung und Simulation aus einer Hand
- Erstklassige Forschungsdienstleistungen und Spitzentechnologie in unseren Geschäftsfeldern
- Lösungen für Sicherheit, Zuverlässigkeit und Resilienz

Standort Freiburg



Defense



Security



Automotive



Aviation

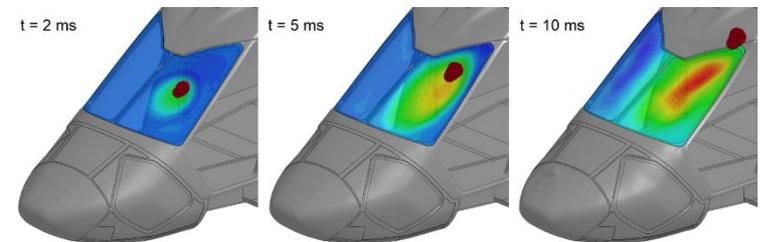


Space

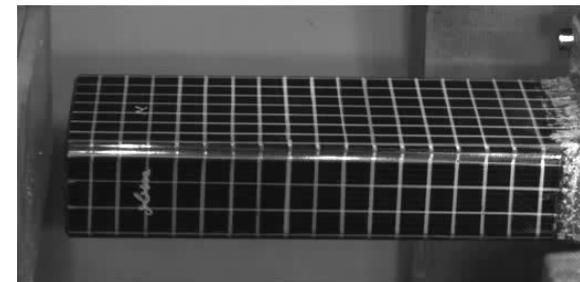


Fraunhofer Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI

- Lösungen für Zuverlässigkeit, Sicherheit, Resilienz, Effizienz und Nachhaltigkeit
- Kurzzeitdynamik in Experiment, Modellierung und Simulation



Vogelschlag: Simulation auf Hubschrauber
Frontscheibe (Clean Sky 2 JU)



CFK Profil in Crash Experiment

3D-Druck Laborzentrum für Strukturwerkstoffe

Im Neubau des Fraunhofer EMI am Standort Freiburg

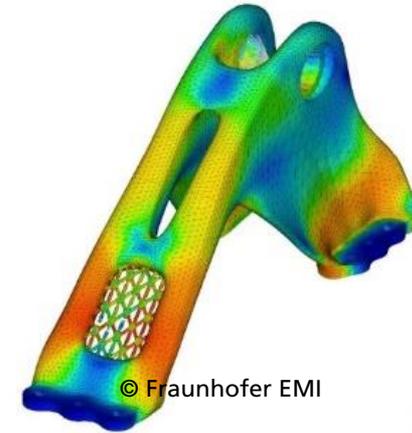
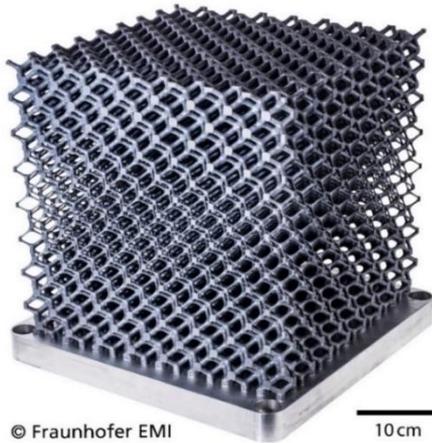


3D-Druck von Strukturwerkstoffen:

- Metalle bis zu $400 \times 400 \times 400 \text{ mm}^3$ im Selektiven Laserstrahlschmelzen (SLM/DMLS)
- Verbundwerkstoffe im Filamentschmelzverfahren (FFF) bis zu $330 \times 250 \times 200 \text{ mm}^3$

Applikationsforschung am EMI

Additive Design and Manufacturing



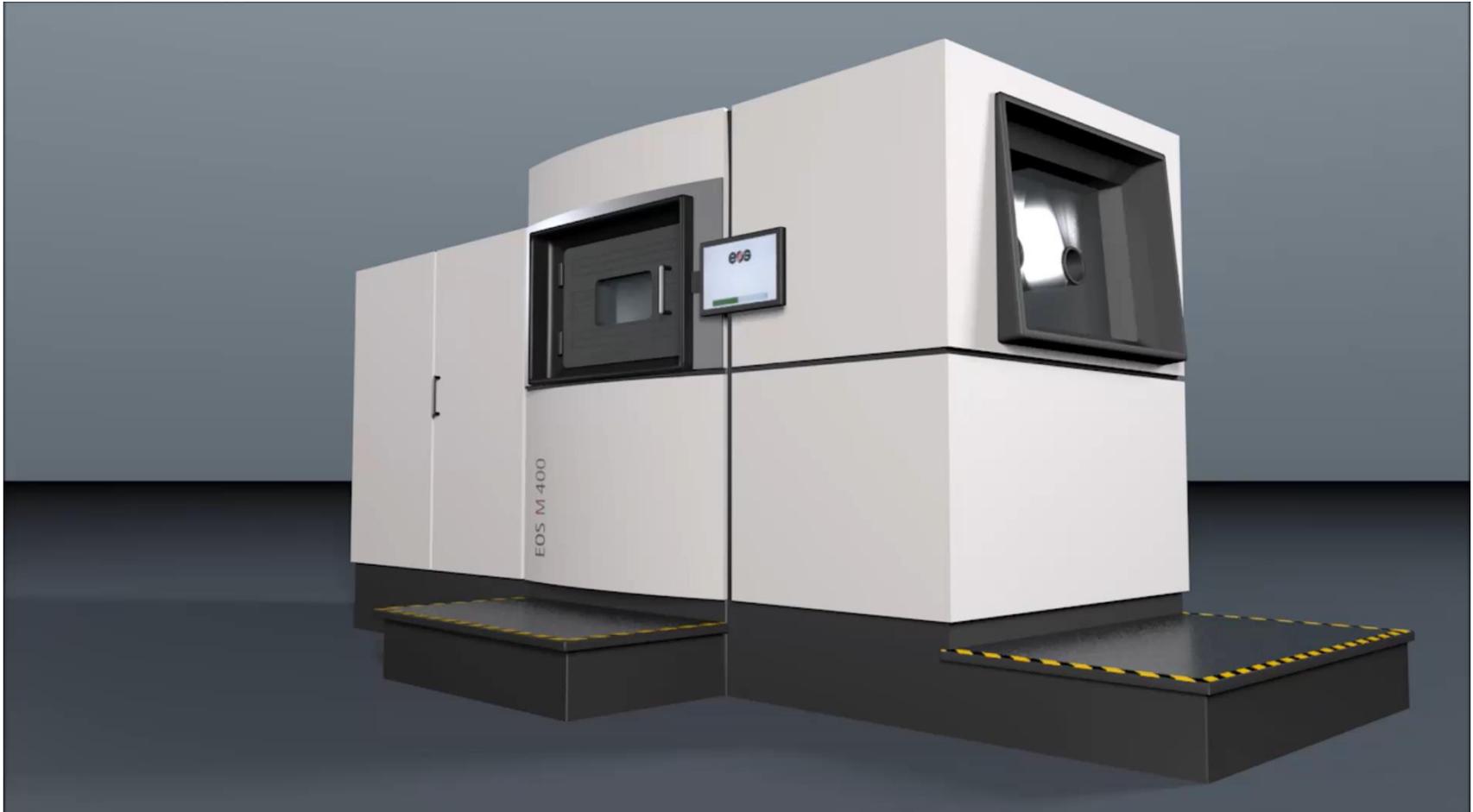
VDI, Handlungsfelder Additive Fertigungsverfahren (2016):

Die akademische und industrielle Forschung konzentriert sich derzeit auf Technologien und Verfahren.

Es fehlen Bindeglieder zwischen Technologieherstellern und den Anwendern: Um Bauteile mit völlig neuen Eigenschaften (..) in die praktische Nutzung zu bringen, fehlen Institutionen, die **systematische Applikationsforschung** betreiben.

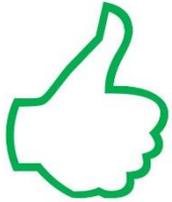
Laserstrahlschmelzen (Laser Beam Melting - LBM)

Funktionsprinzip



LASER BEAM MELTING (LBM)

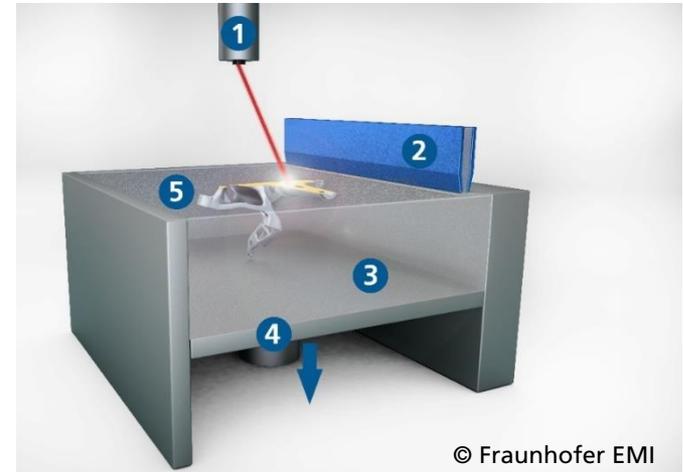
VERWANDTE PROZESSE: SLM, LM, DMLS, LASERCUSING, ELECTRON BEAM MELTING (EBM), SMS



- Generierung von Metallen
- Hohe Präzision und Qualität
- Gute mechanische Kennwerte
- Geeignet für Endprodukte



- Komplexer Prozess
- Hohe Kosten
- Stützstrukturen

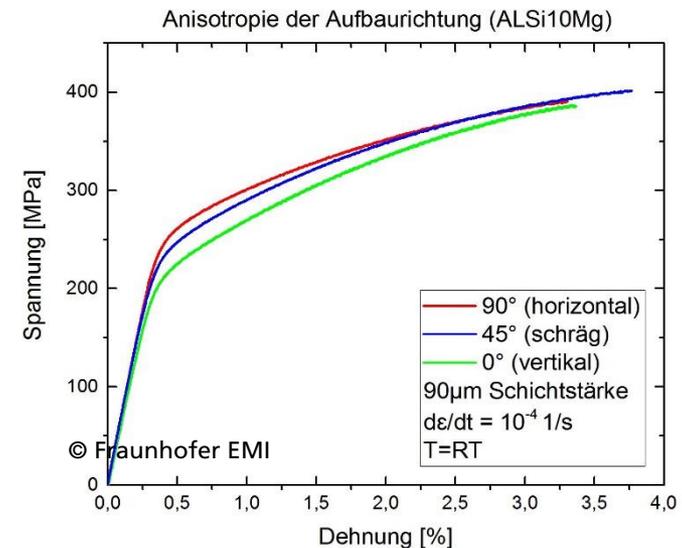
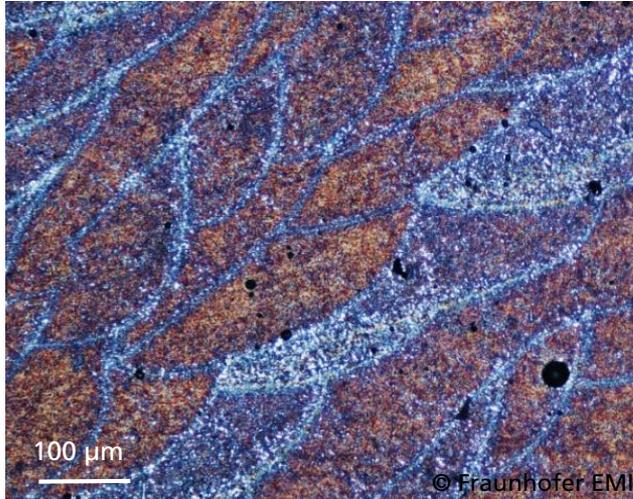


Werkstoffe:
Aluminium, Titan, Stähle, Nickelbasis,
Chrombasis, Schwermetalle, und weitere

Standardeigenschaften LBM am Beispiel Aluminium

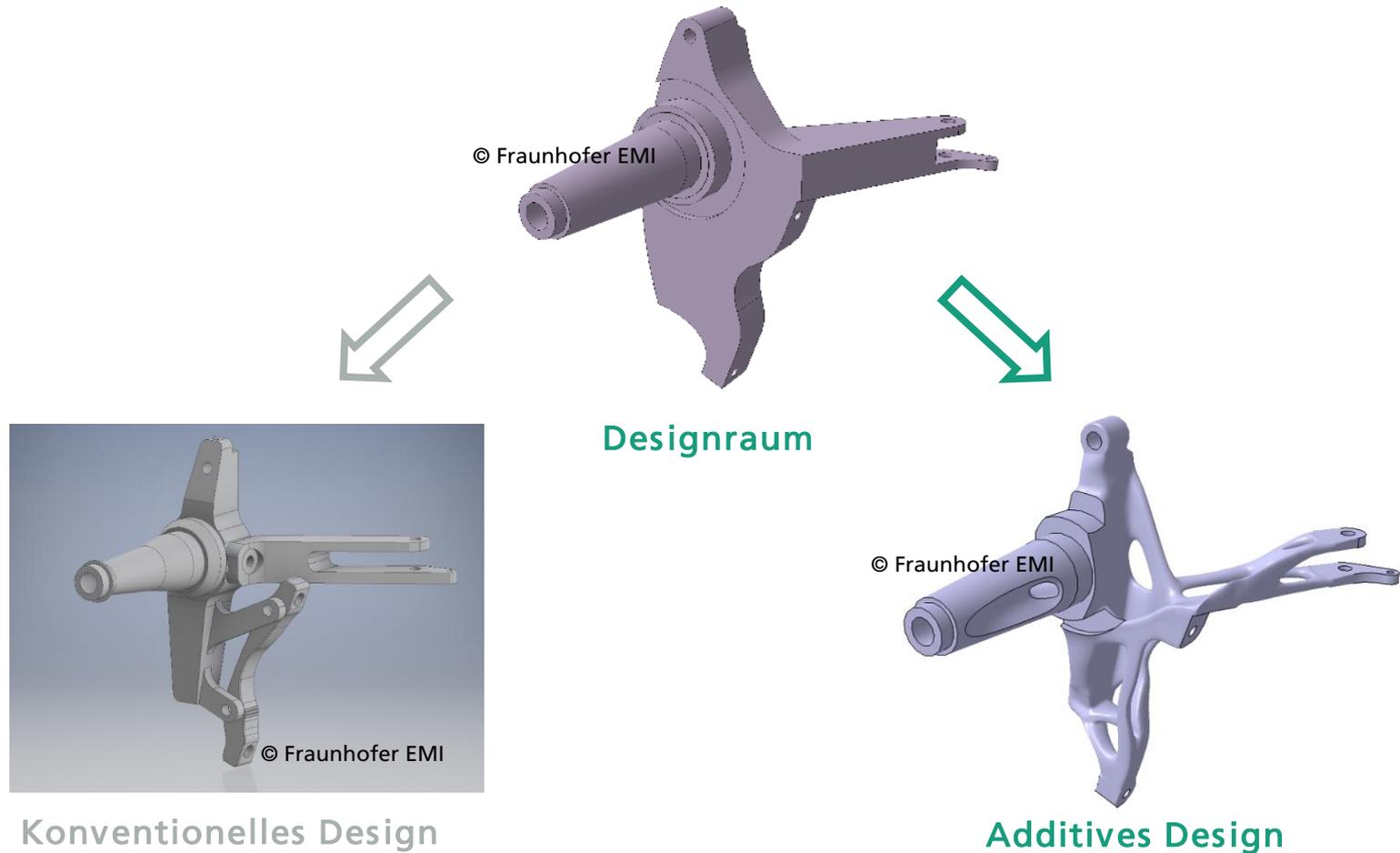
Beispiel: AlSi10Mg im Vergleich zum Guss

- Feine Mikrostruktur
- Vergleichbare Dichte
 - Guß: 2,64 - 2,65 g/cm³
 - SLM: 2,64 - 2,67 g/cm³
- Häufig reduzierte Bruchdehnung
- Höhere Zugfestigkeit
 - Guss: 140 – 260 MPa
 - SLM: 360 – 460 MPa



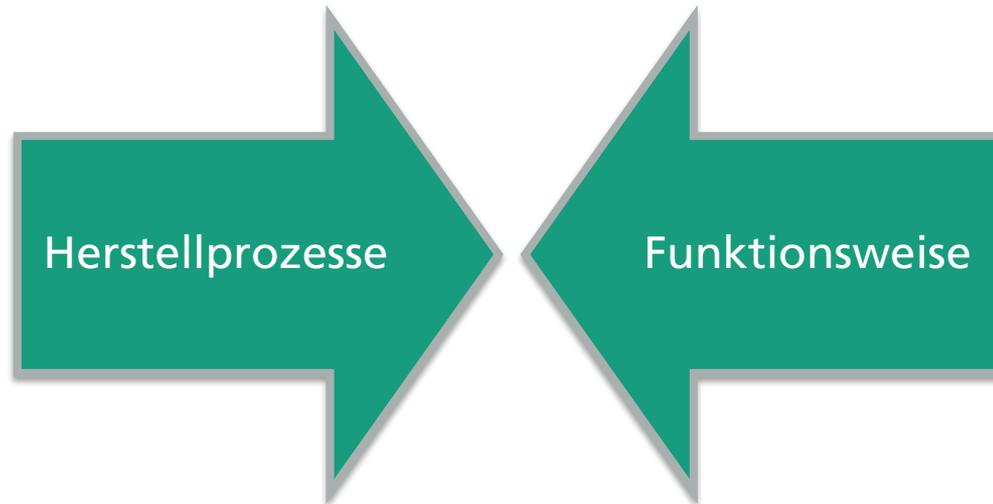
Intelligentes Design für Leichtbau

Material nur dort wo für die Funktion erforderlich



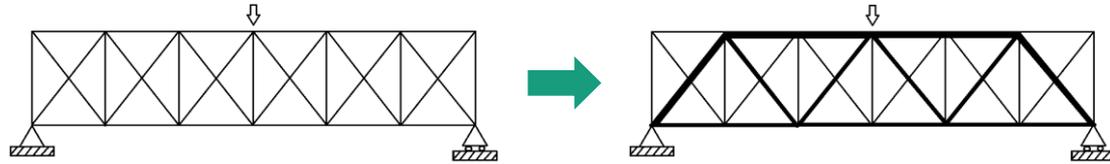
Herausforderung: Paradigmenwechsel durch 3D-Druck Design Follows Function

vom „Manufacturing-Driven Design“
zum „**Design-Driven Manufacturing**“

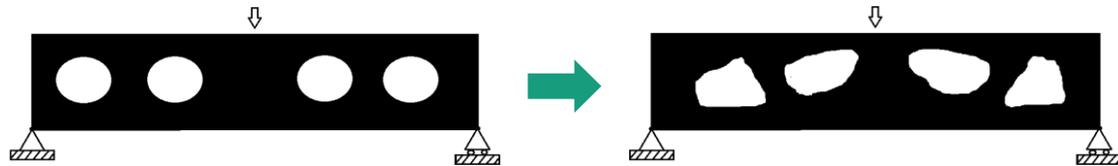


Automatisierte Computermethoden für das Bauteildesign: die **Strukturoptimierung**

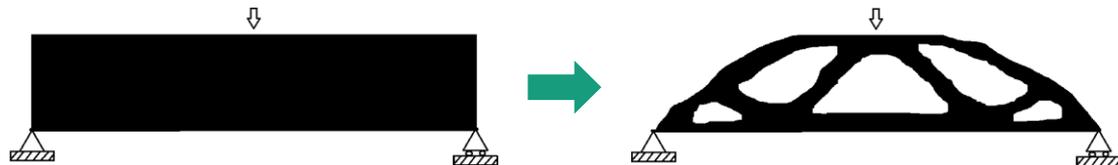
■ Sizing



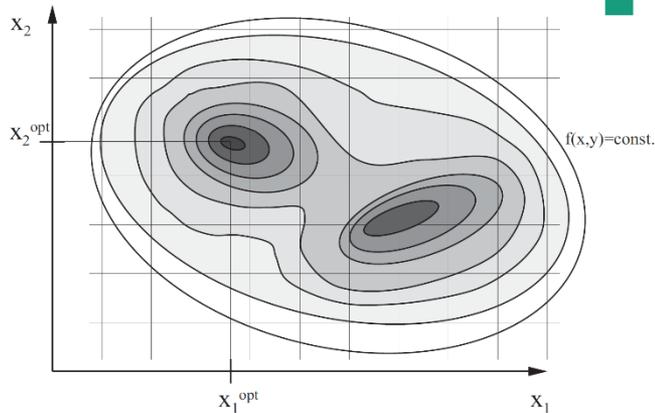
■ Shape



■ Topologie

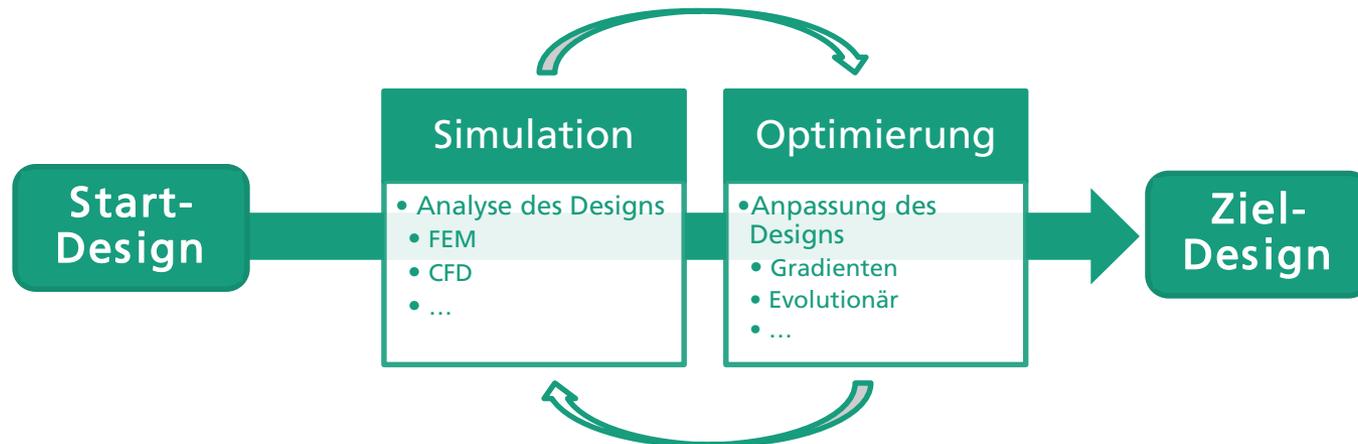


Mathematische Optimierung als Grundlage für die Strukturoptimierung

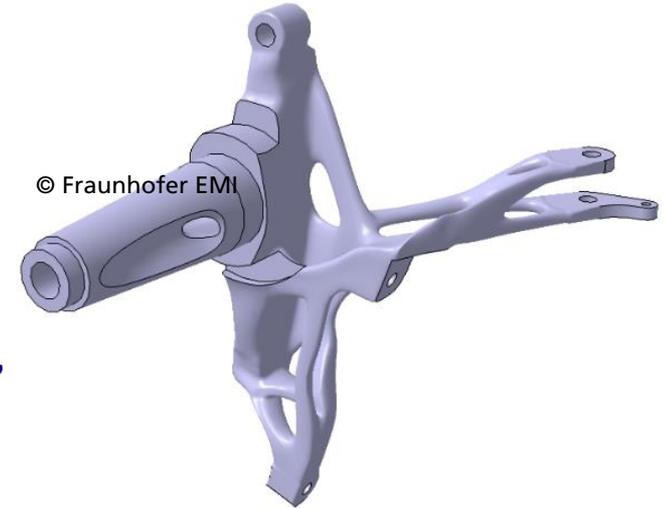
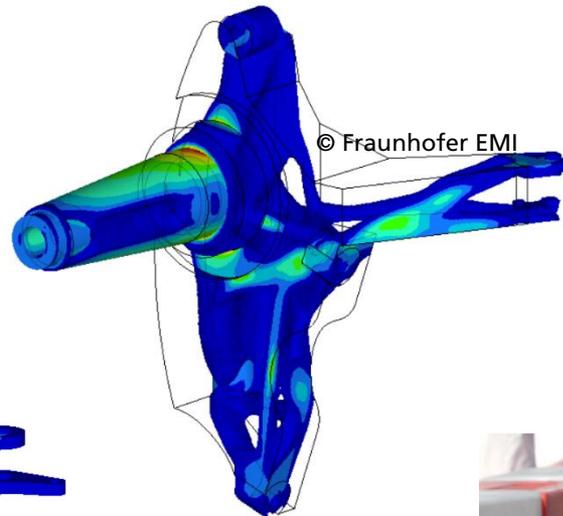
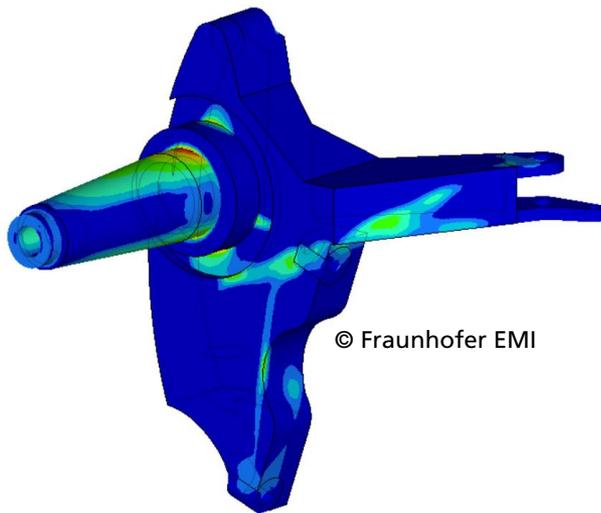


■ Gesuchte Lösung:

- für welche Designvariablen (Gestalt) erreicht die Zielfunktion (Steifigkeit, Gewicht) ihr Optimum

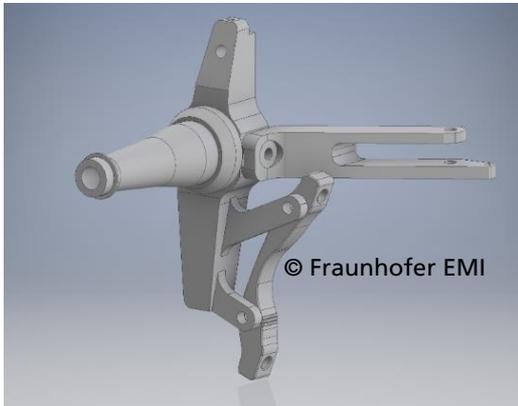


Topologieoptimierung eines Radträgers

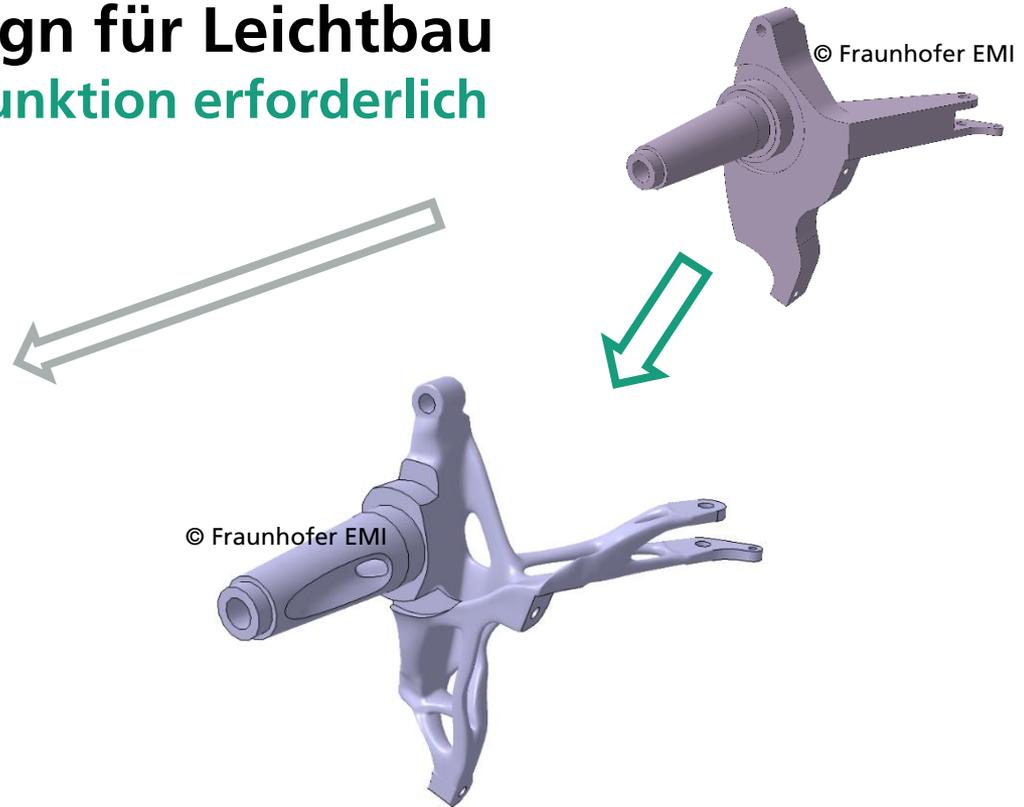


Intelligentes Materialdesign für Leichtbau

Material nur dort wo für die Funktion erforderlich

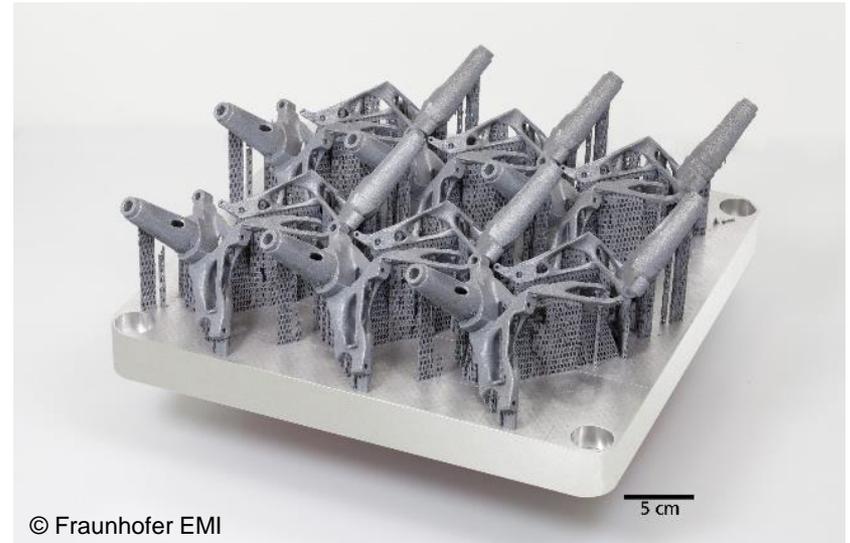
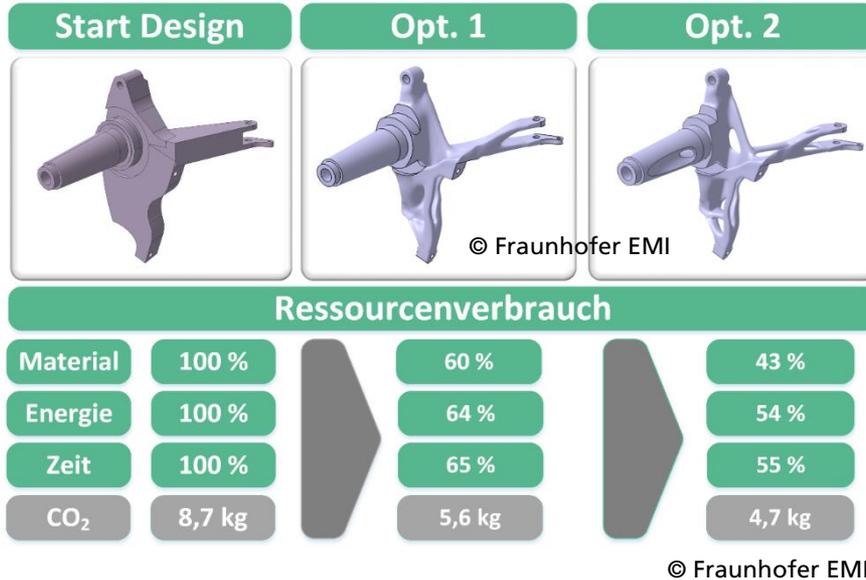


Leichtbau-Bauteil
in konventioneller Fertigung:
Mehraufwand in Fertigung
und Montage, **höhere Kosten**
durch Leichtbau!



Additive Fertigung – es wird nur
Material generiert, welches
funktionell notwendig ist:
Leichtbau direkt realisierbar und
geringere Kosten in Herstellung

Berechnungsmodell zur Ressourcenanalyse am Beispiel einer Kleinserienfertigung



Mathematisches Modell entwickelt

- Übertragbar auf verschiedene Maschinen und Werkstoffe
- Vorhersage von Ressourcenverbrauch und Kostenabschätzung



Leichtbau resultiert aus **ökonomischem Imperativ** bei der Additive Fertigung



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

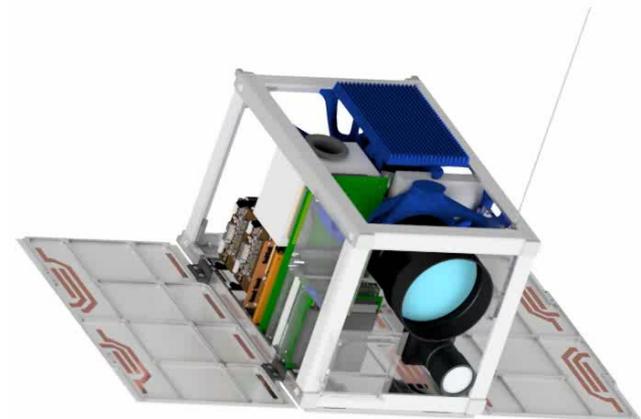
Förderkennzeichen: BWRE16003

Praktische Designbeispiele: Multidisziplinäre Optimierung eines Satellitenbauteils

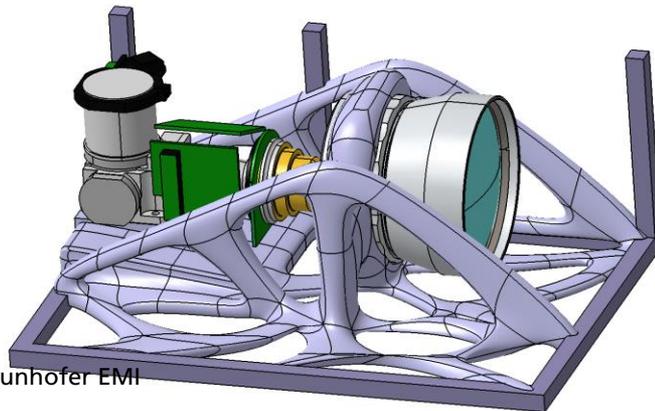
Satellitenhalterung für optische Komponenten

Designziele:

- 1. Eigenfrequenz >150Hz
- Stabiles Design gegen Sinus- und Random Vibrationen
- Thermische Optimierung
- Strukturoptimierung
- Abmaße ca.: 30cm x 23cm x 10cm



© Fraunhofer EMI



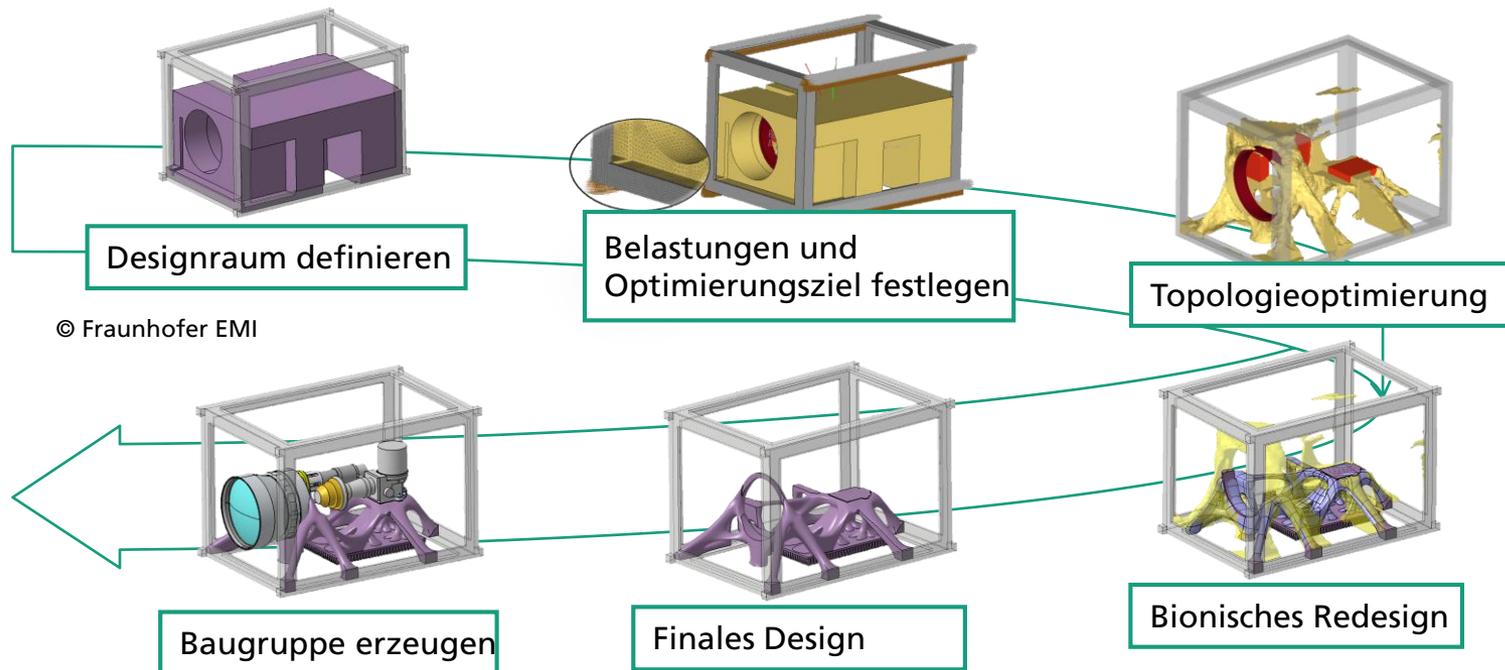
© Fraunhofer EMI



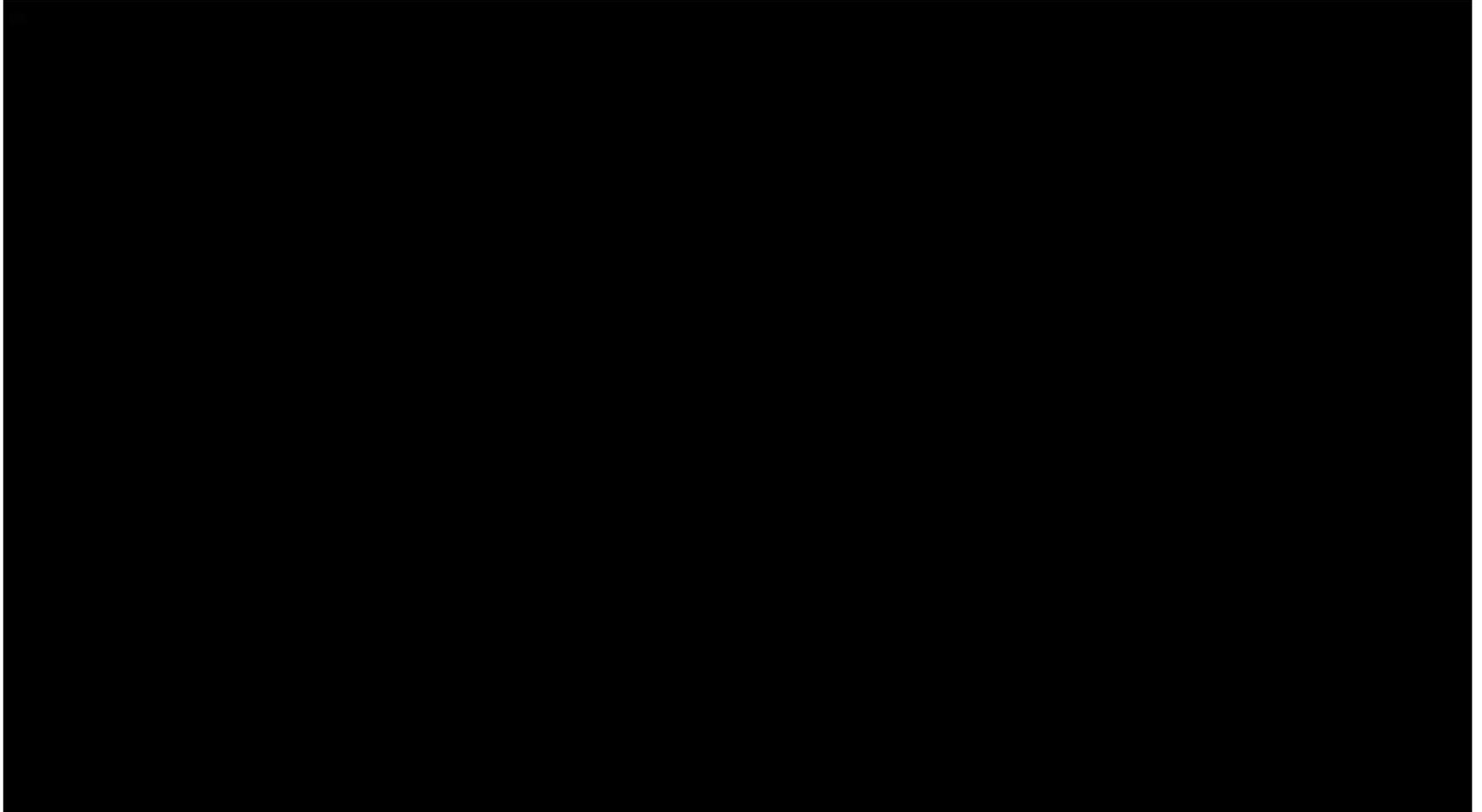
© Fraunhofer EMI

5 cm

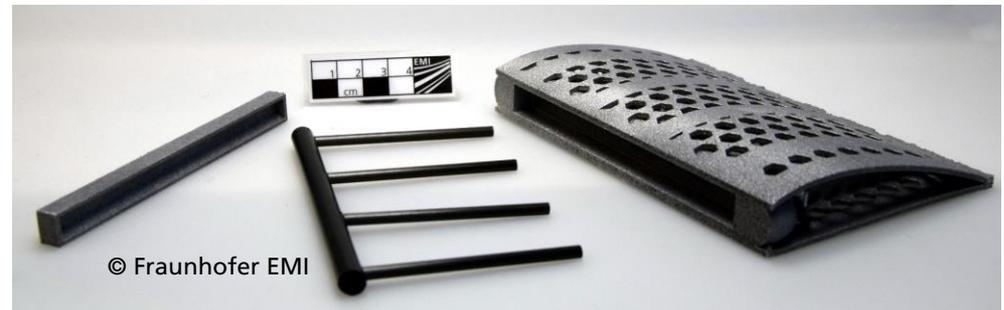
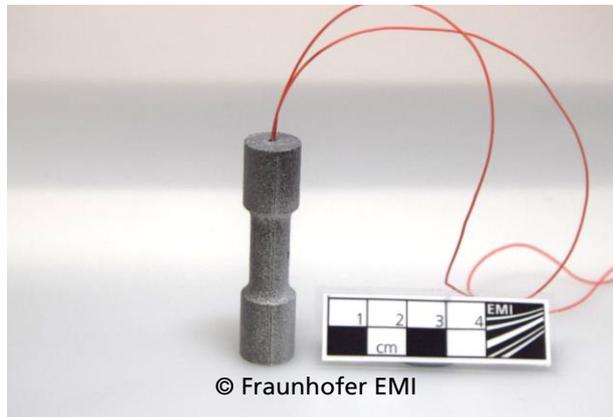
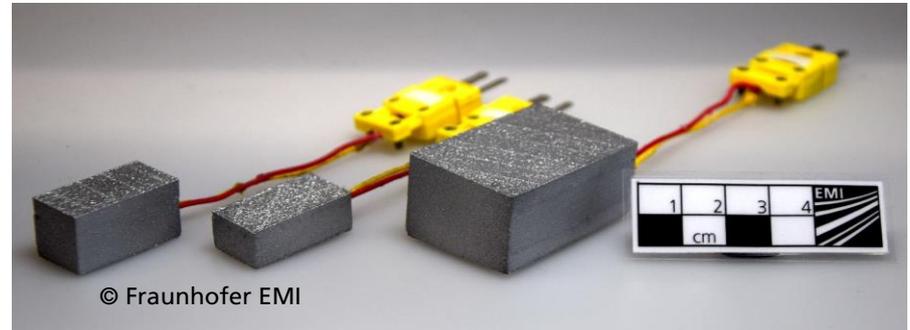
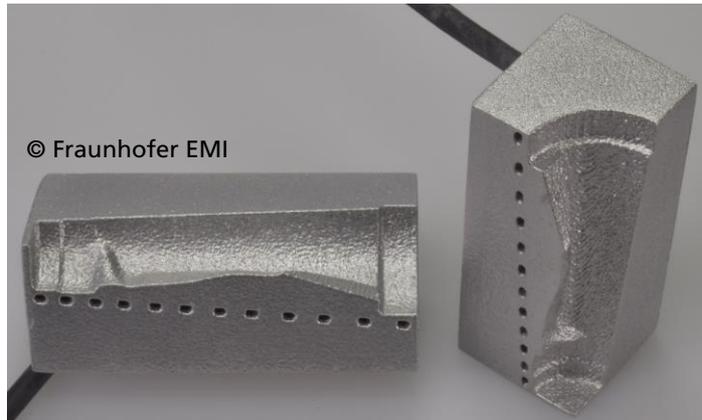
CAE Prozesskette am Beispiel eines Satellitenbauteiles



Visualisierung des Designprozesses

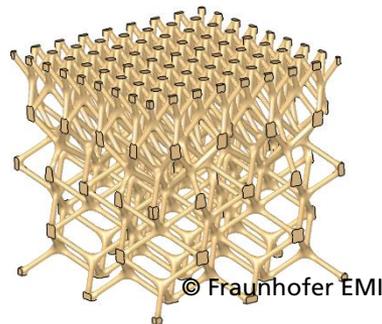
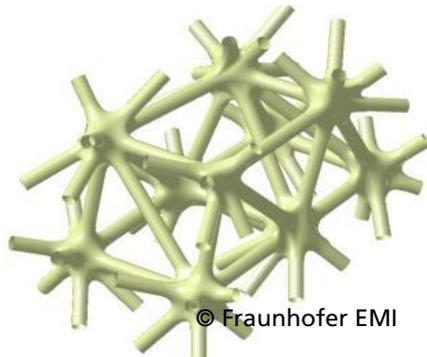
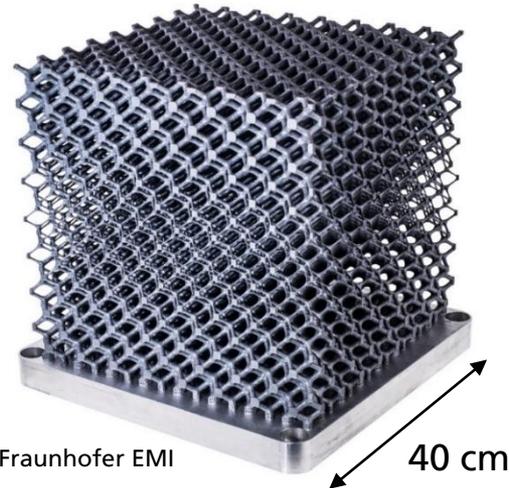
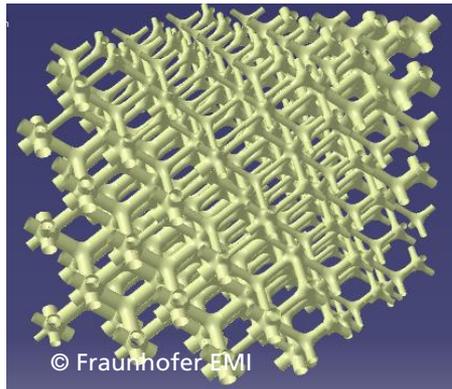


Weitere Beispiele für neue Möglichkeiten im Design: Sensorintegration und Hybridbauweisen

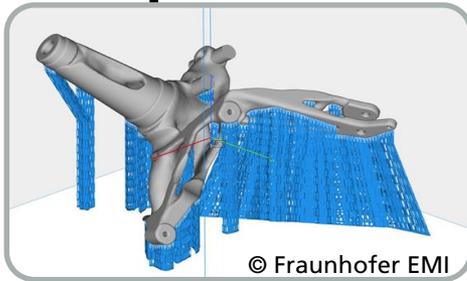


Weitere Beispiele für neue Möglichkeiten im Design: Parametrische Gitterstrukturen

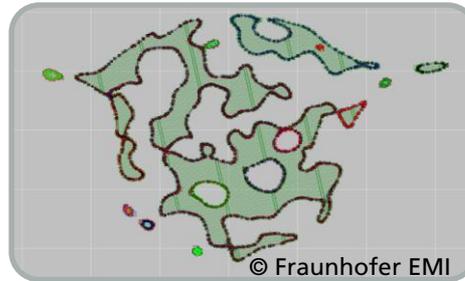
EMI Inhouse Code in konventionellem CAD



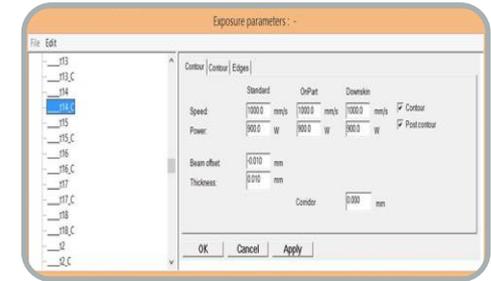
Generierung von Bauteil und Materialeigenschaft – am Beispiel der LBM Prozesskette



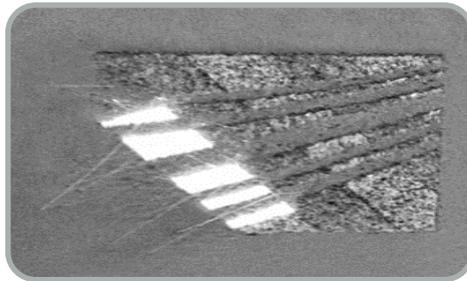
Positionierung & Support



Slicing & Belichtungsstrategie



Fertigungsparameter



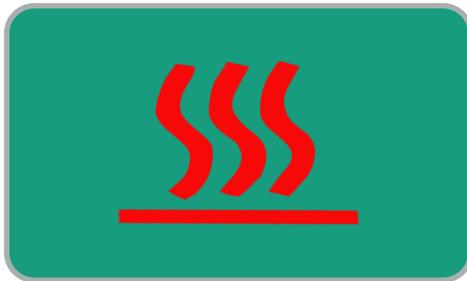
LBM Prozess



Aufbereitung Pulver



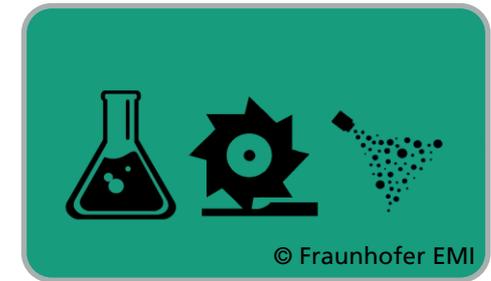
Bauteile auf Bauplattform



Wärmebehandlung



Support entfernen



Nachbehandlung

Bauteilspezifische Parameteradaption

Relevanz für Oberflächenbeschaffenheit



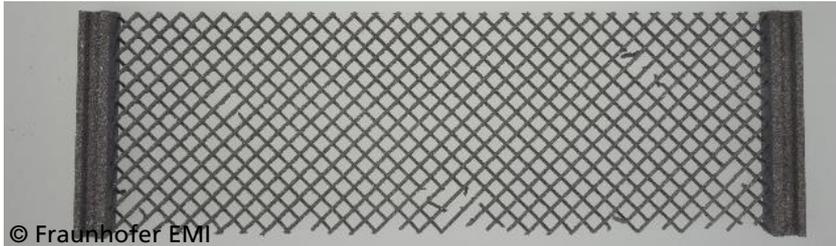
Radträger mit Parametern des Maschinenhersteller gefertigt.



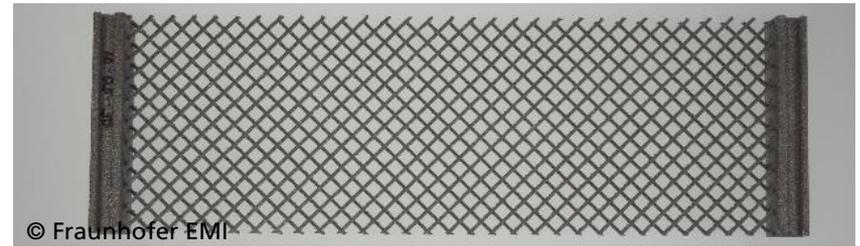
Radträger mit angepassten Parametern gefertigt.

Bauteilspezifische Parameteradaption

Relevanz für Herstellbarkeit



Funktionsmaterial mit Parametern des Maschinenhersteller gefertigt.



Funktionsmaterial mit angepassten Parametern gefertigt.

Bauteilspezifische Parameteradaptation

Relevanz für Fertigungseffizienz

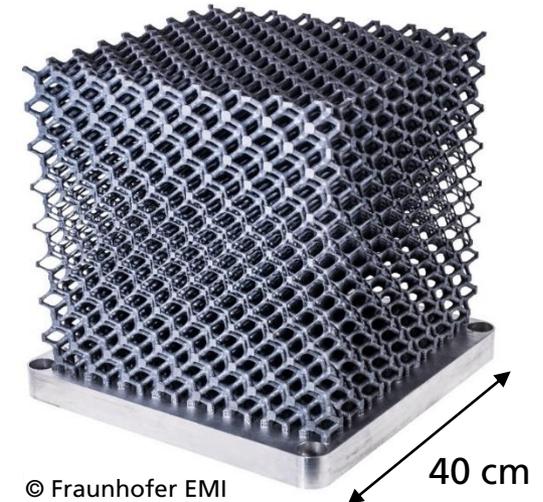
Fertigungsdauer unseres Gradientengitters:

Standard Parameter (Anlagenhersteller): ca. 30 Tage

Angepasste Prozessführung (EMI): 4 Tage

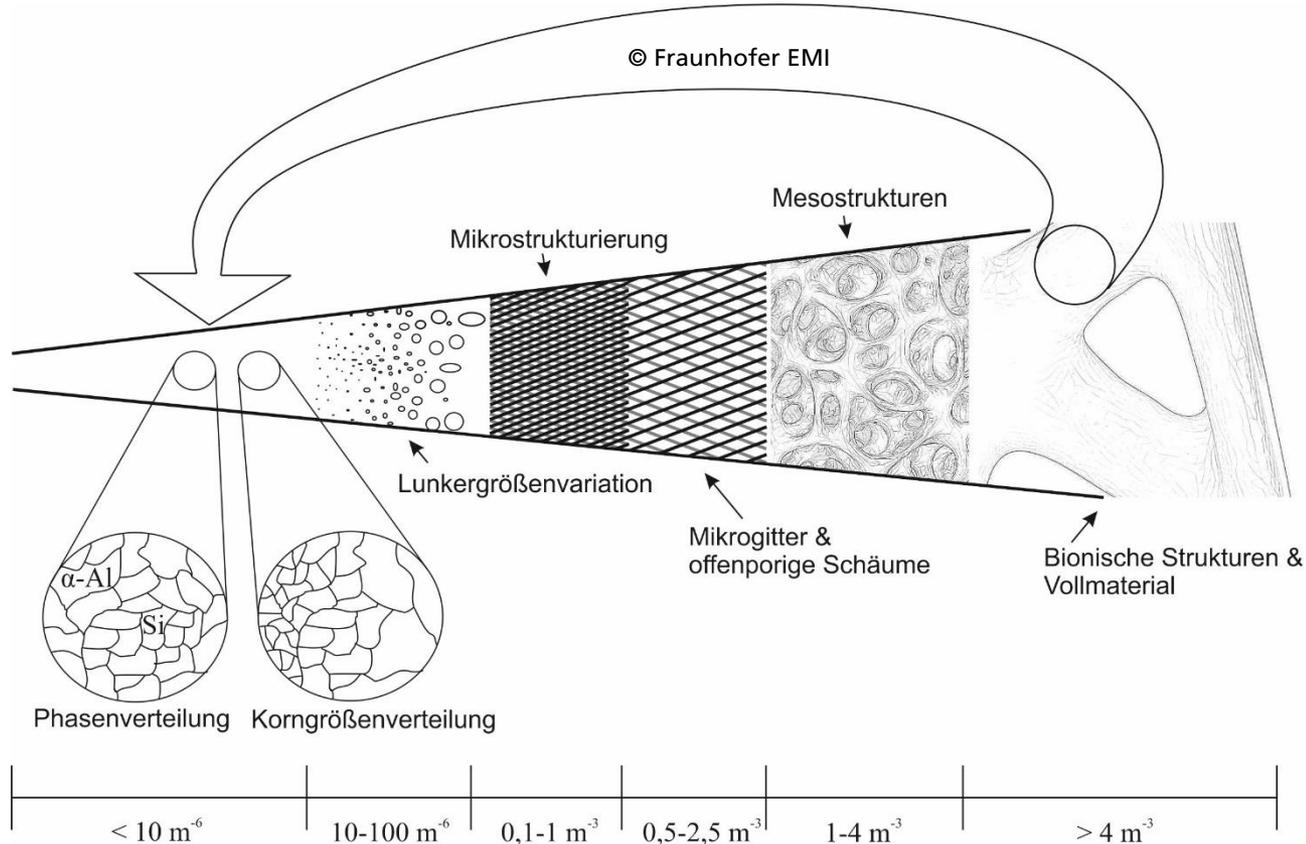


Fertigungsdauer unseres Radträgers: ca. 50 min



Designed Materials

Die richtigen Materialeigenschaften für die gewünschte Funktion



Designed Materials

Design der Mikro- und Mesostruktur

Design der lokalen Materialeigenschaften

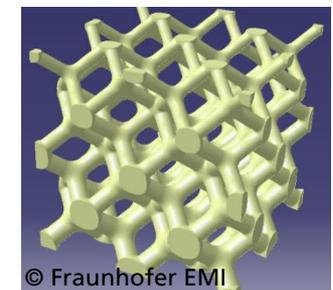
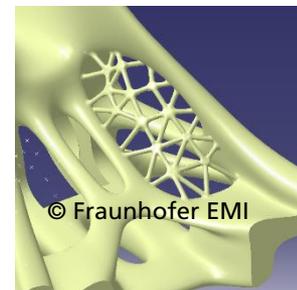
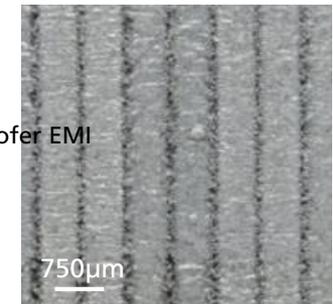
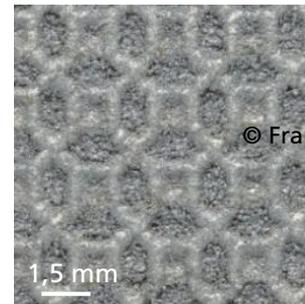
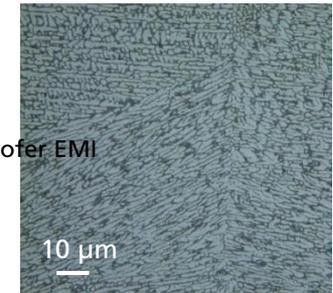
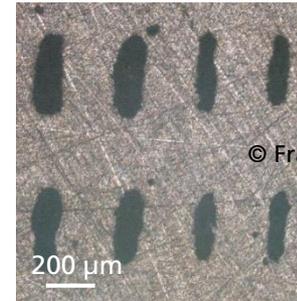
- Korngröße und Verteilung
- Bsp. Bimodale Strukturen

Geometrische Mikrostrukturierung:

- Geometrische Anordnung von Porositäten, Löchern
- Design von Mikrogittern

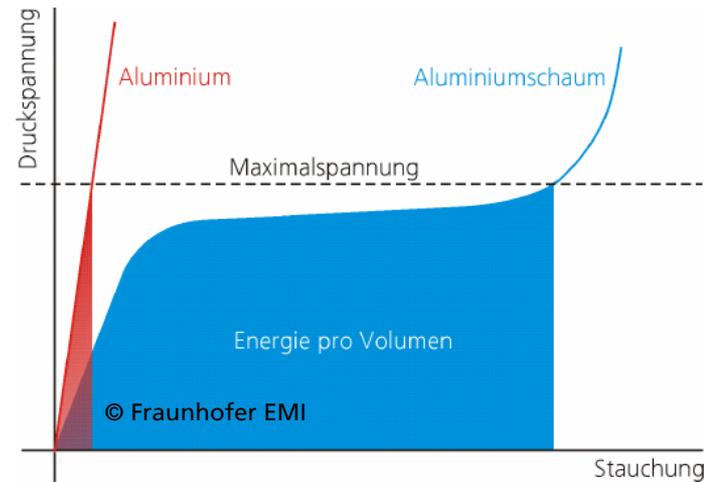
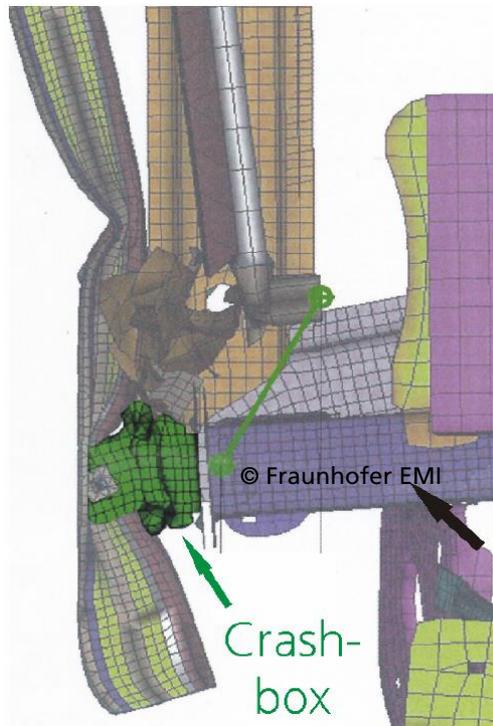
Mesostrukturen

- Feingliedrige Geometrische Anordnungen
- Ausnutzung geometrischer Effekte in der Werkstoffmechanik (Bspw. Transformation von Spannungszuständen)

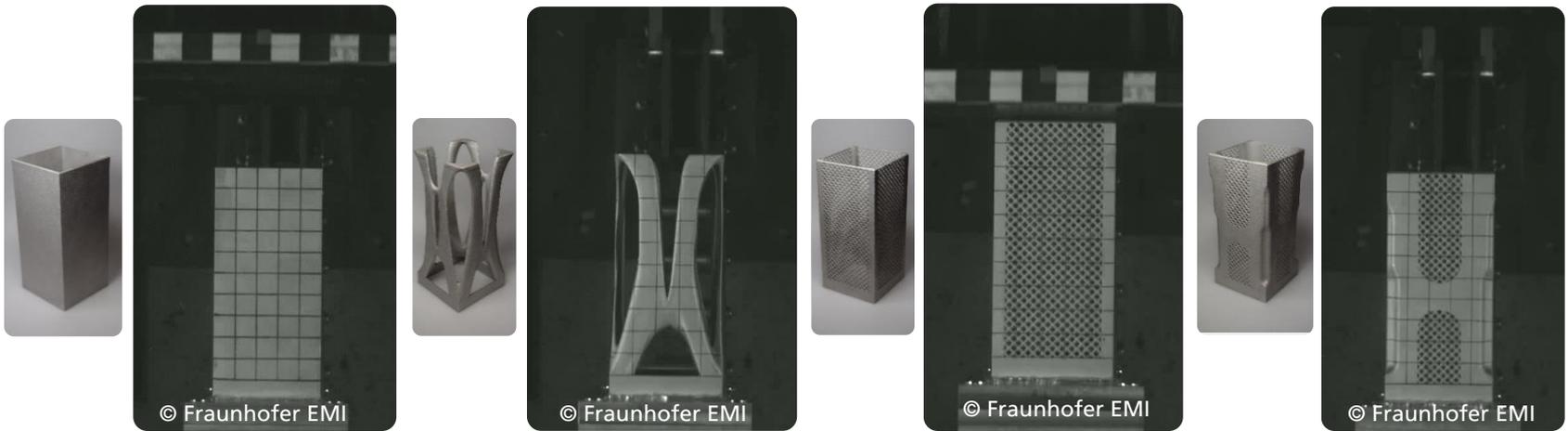
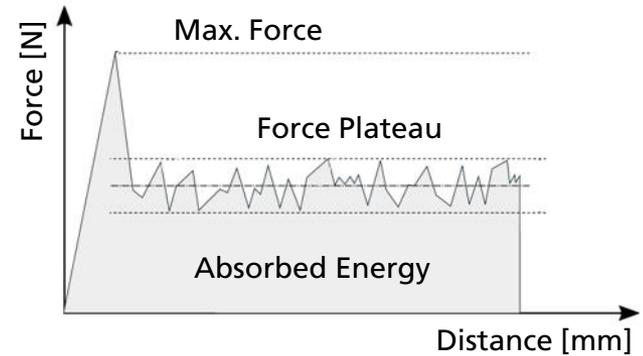


Motivation des Additiven Materialdesigns

Auflösung von Zielkonflikten durch Designed Materials - Beispiel Fahrzeugcrash



Beispiel Additive Design von Crash Absorbern



Weight: 439 g
SEA: 9 kJ/Kg
LU1: 16

395 g
 12 kJ/Kg
 11

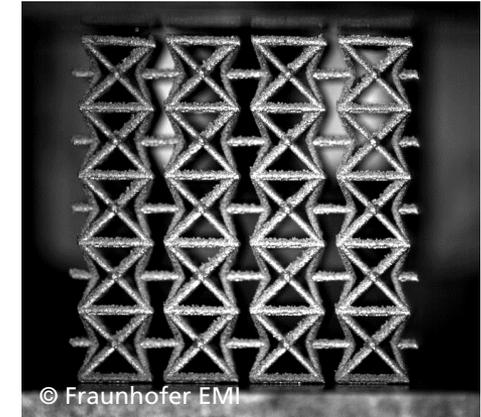
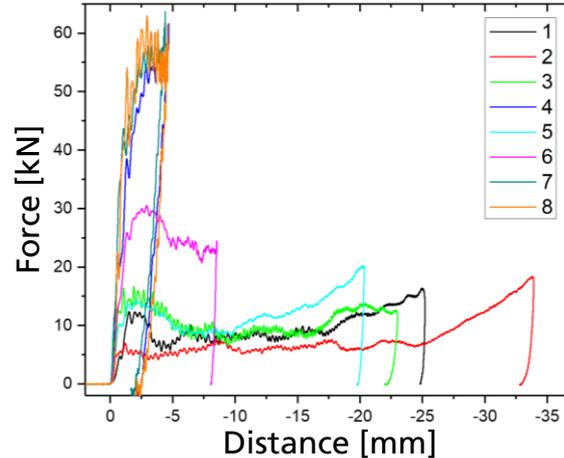
432 g
 55 kJ/Kg
 2

521 g
 18 kJ/Kg
 16

SEA: specific energy absorption; LU1: load uniformity (Fmax/Fm)

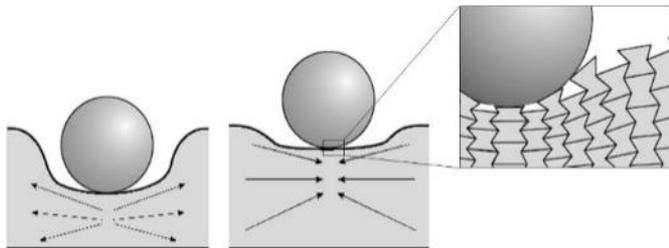
Beispiel: Auxetische Gitterstrukturen unter dynamischer Last

- Impact of 17,6 kg at 5 m/s
- Tracking of force-time-signal
- Evaluation based on specific energy absorption
- Assessment of Poisson's rates based on high speed images

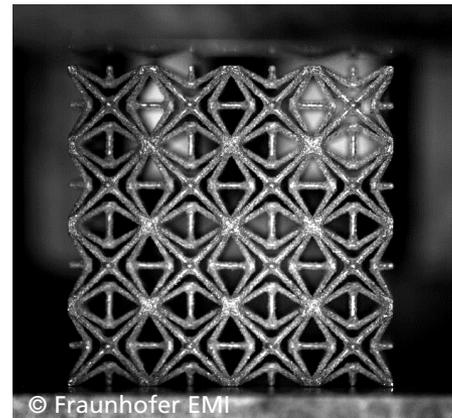


Type 2

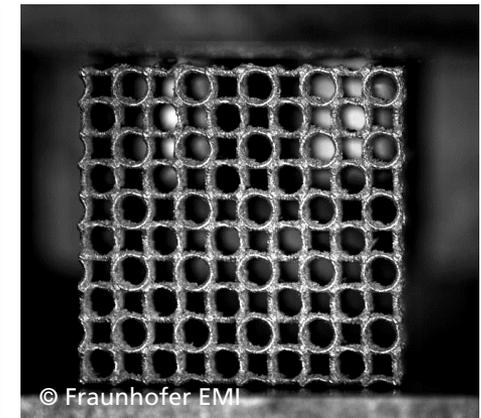
Thesis literature:



Source: <http://home.um.edu.mt/auxetic/press/>



Type 1

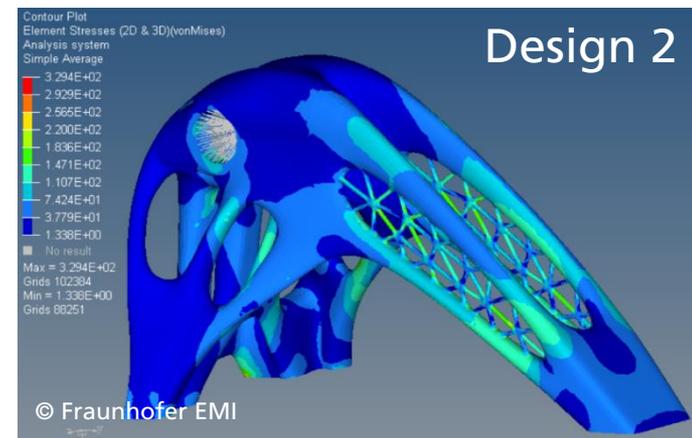
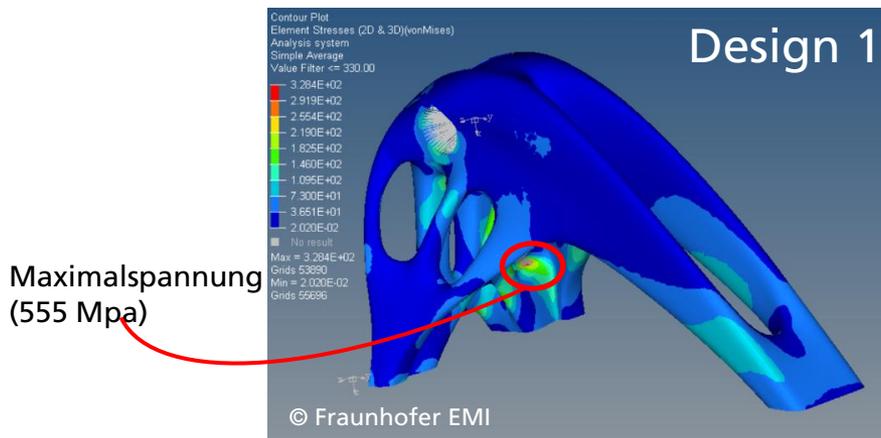


Type 5

Robuste Strukturauslegung eines Flugzeugbauteiles durch Topologieoptimierung und Materialdesign

Design 1: Masse = 1,32 kg

Design 2: Masse = 1,21 kg (- 8,4 %)



Von-Mises Spannung für eine kritische Belastung (7° Seiten-Schlaglast, Klappe geöffnet)



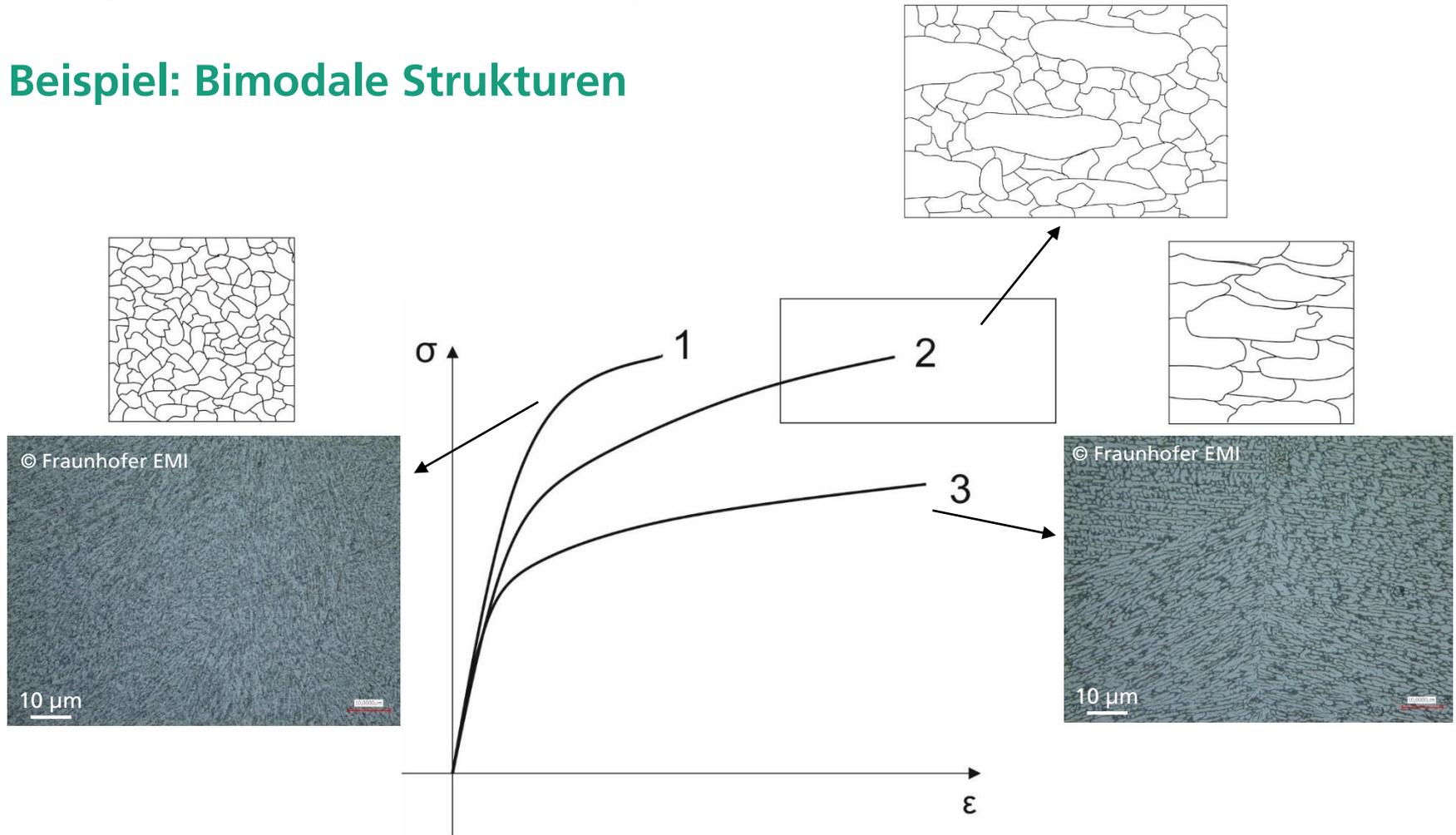
Gezielte Kombination aus Topologieoptimierung und Additivem Materialdesign ermöglicht Gewichtersparnis



Designed Materials

Design der lokalen Materialeigenschaften

Beispiel: Bimodale Strukturen

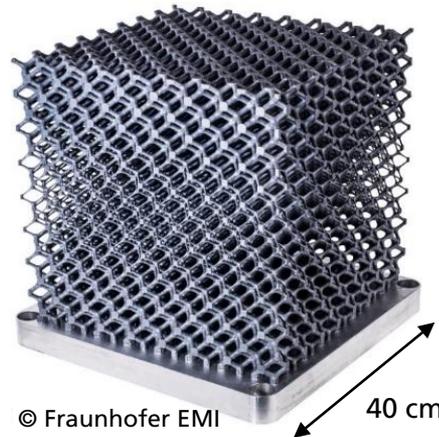


Zhang, Z, Orlov D. et. Al 2014 "Importance of Bimodal Structure Topology in the Control of Mechanical Properties of a Stainless Steel"

Fazit

Produktentwicklung mit der additiven Fertigung erfordert/ermöglicht neue Denkweisen

- Beispielsweise durch Zusammenspiel aus Topologieoptimierung, funktionsgerechtem Materialdesign und effizienter Prozessierung



„Die Kunst einer Konstruktion ist, wo man die Löcher lässt“
Robert Le Ricolais, 1894 – 1977

Kontakt

Mit Sicherheit nachhaltig –
nachhaltig sicher

Klaus Hoschke
Gruppenleiter
Additive Design & Manufacturing
Telefon +49 761 2714 446
Klaus.hoschke@emi.fraunhofer.de



www.emi.fraunhofer.de