

Funktionales Design für die Additive Fertigung

Von der Funktion zum Wirkprinzip

21. Fachtagung Rapid Prototyping

Dr.-Ing. Guido Adam

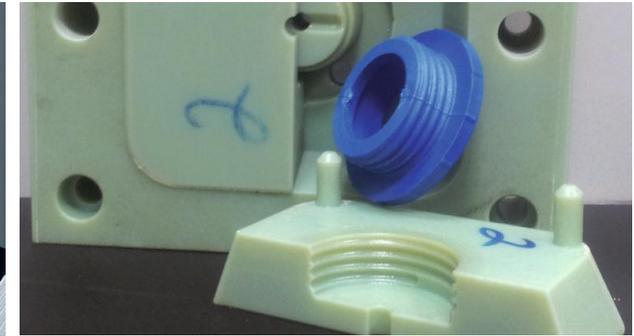
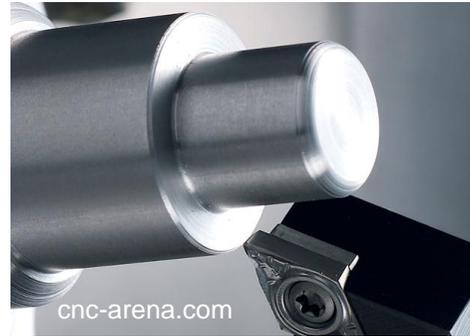
4. November 2016

Lemgo

- Potentiale der additiven Fertigung
- Einfluss auf die Produktentwicklung
- Beispiele für Wirkprinzipien
- Zusammenfassung und Ausblick

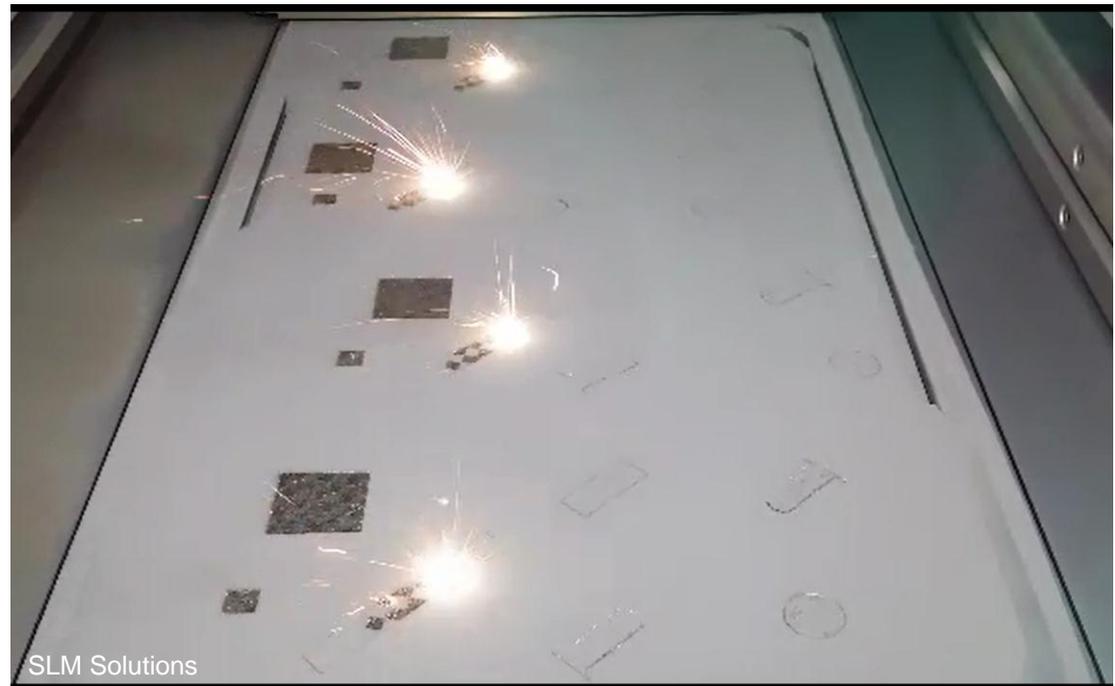
Etablierte Fertigungsverfahren:

- Nutzen formgebende Werkzeuge: Drehmeißel, Fräskopf, Gusswerkzeug
- Fertigen dreidimensionale Bauteile



Additive Fertigungsverfahren:

- Fertigen schichtweise
- Überführen dreidimensionale in zweidimensionale Herausforderungen
- Nutzen keine formgebenden Werkzeuge
- Erzeugen Werkstoffe während der Fertigung

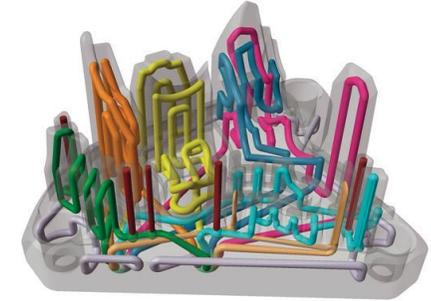


→ Es resultieren neue Freiheiten für die Bauteilgestaltung

Hinterschneidungen



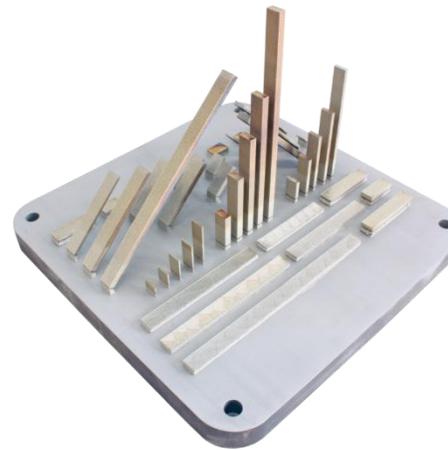
Interne Strukturen



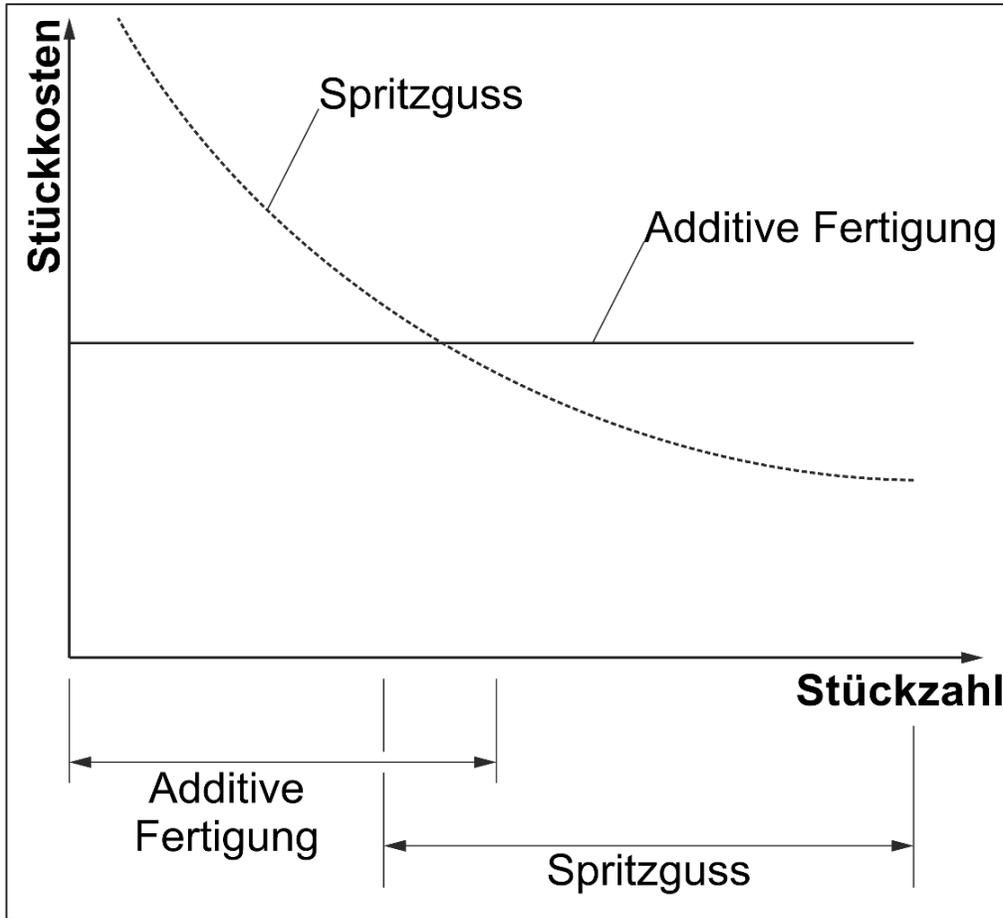
Urformend-montierte Elemente



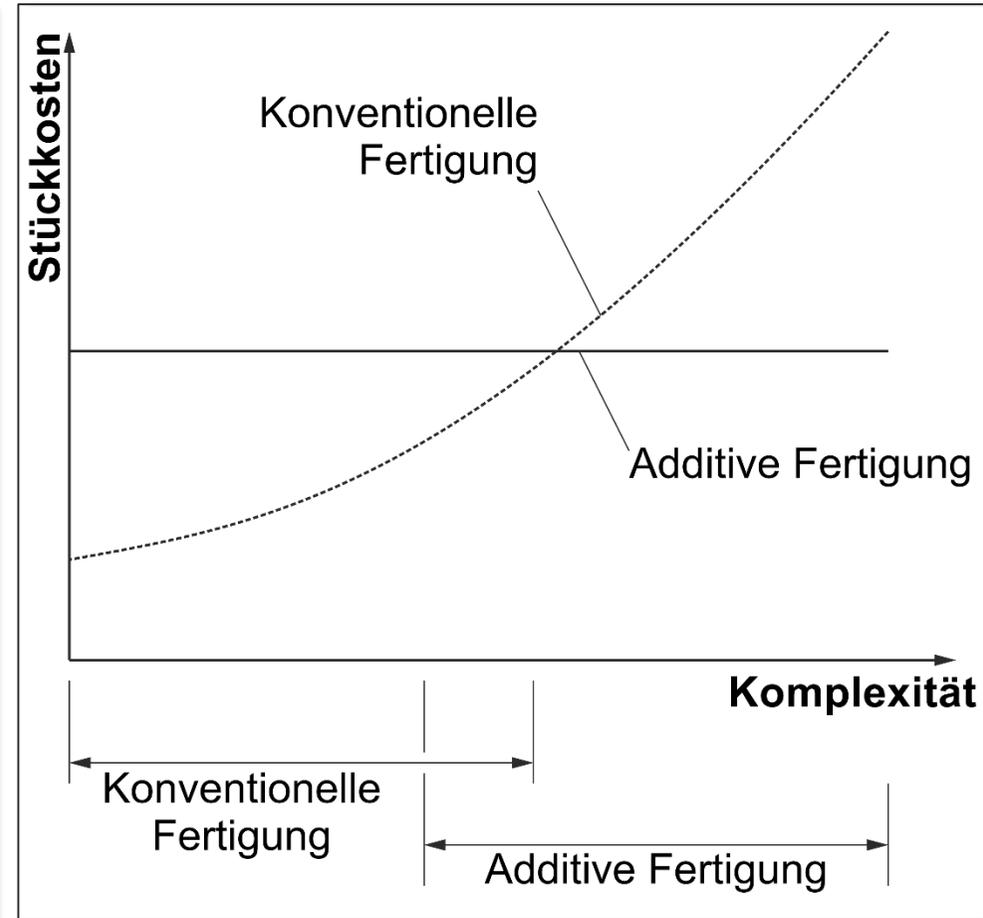
Große Aspekt-Verhältnisse



Entkopplung der Stückkosten von der Stückzahl

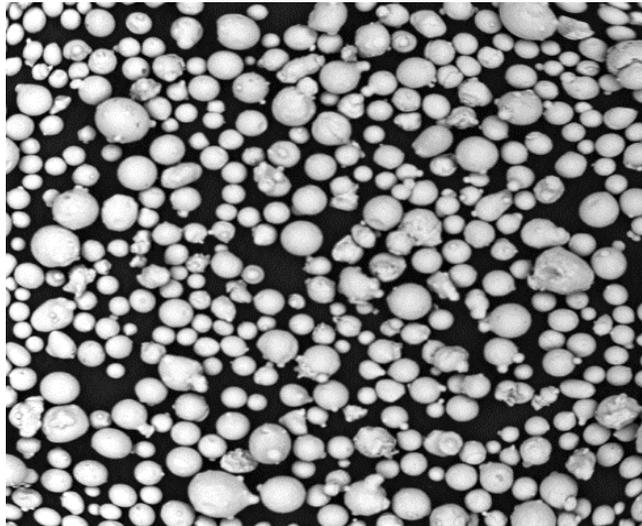


Entkopplung der Stückkosten von der Komplexität



Ausgangswerkstoff

- Liegt **vor** der additiven Verarbeitung vor
- Pulverförmige Erscheinung
- Relevante Eigenschaften maßgeblich die eines Pulvers



Laserschmelzprozess (Bsp.)

- Aufschmelzen des Ausgangswerkstoffes
- Abkühlen zum Bauteilwerkstoff
- ➔ Überführung des Ausgangs- in den Bauteilwerkstoff

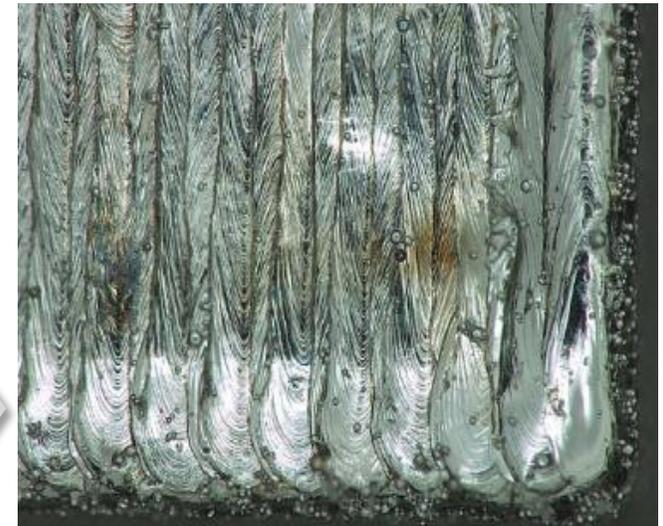


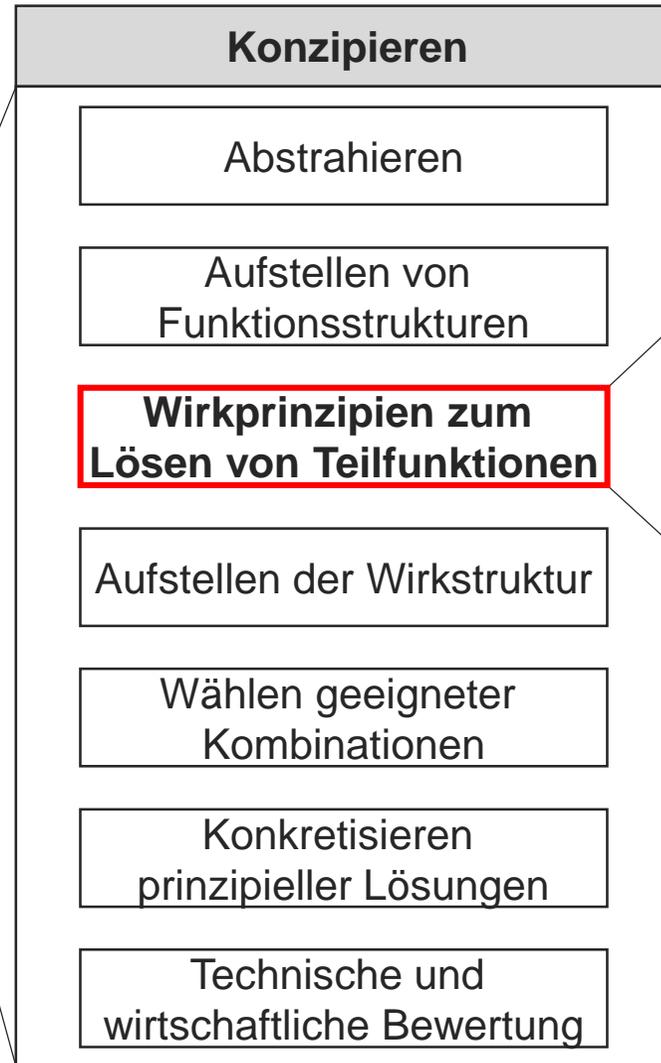
Materialeigenschaften
ergeben sich als Funktion der

- Ausgangswerkstoffe
- Prozessparameter

Bauteilwerkstoff

- Liegt **nach** der additiven Verarbeitung vor
- Solide Erscheinung
- Relevante Eigenschaften maßgeblich die eines Bauteilwerkstoffes





Wirkprinzipien lösen Teilfunktionen durch Kombination von:

- Physikalischen Effekten
- Geometrischen Merkmalen
- Stofflichen Merkmalen

Beispiel: Kraft verstärken
Hebelgesetz ($F_a \cdot a = F_b \cdot b$)



Physikalische Effekte

- Durch additive Fertigung nicht beeinflussbar

Geometrische Merkmale

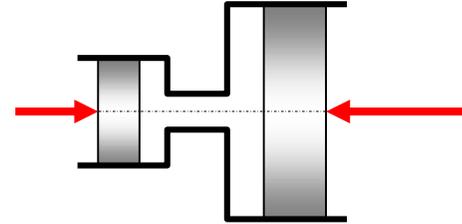
- Große gestalterische Freiheit gegeben
- *Neue* geometrische Merkmale fertigbar
- Sehr hohe geometrische Komplexität nutzbar

Stoffliche Merkmale

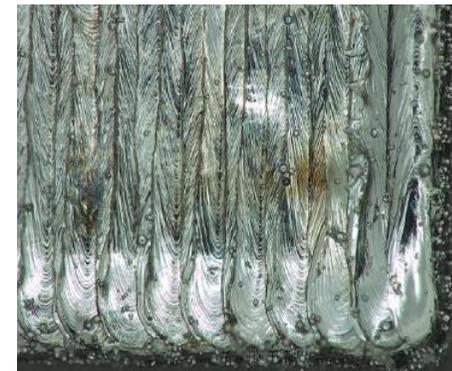
- Werkstoff entsteht als Funktion der Fertigungsparameter erst während der additiven Fertigung
- Werkstoffeigenschaften gradiert einstellbar
- Neue stoffliche Merkmale fertigbar
- Sehr hohe stoffliche Komplexität nutzbar

Wirkprinzipien

Neue Wirkprinzipien anwendbar durch Nutzen der komplexen geometrischen und/oder stofflichen Möglichkeiten



(Quelle: DMRC)



Integration von Dämpfungsfunktionen in bestehende Strukturen durch ...

- ... innere Strukturen
- ... Füllmedien

Physikalische Effekte

- Impulserhaltung
- Reibung

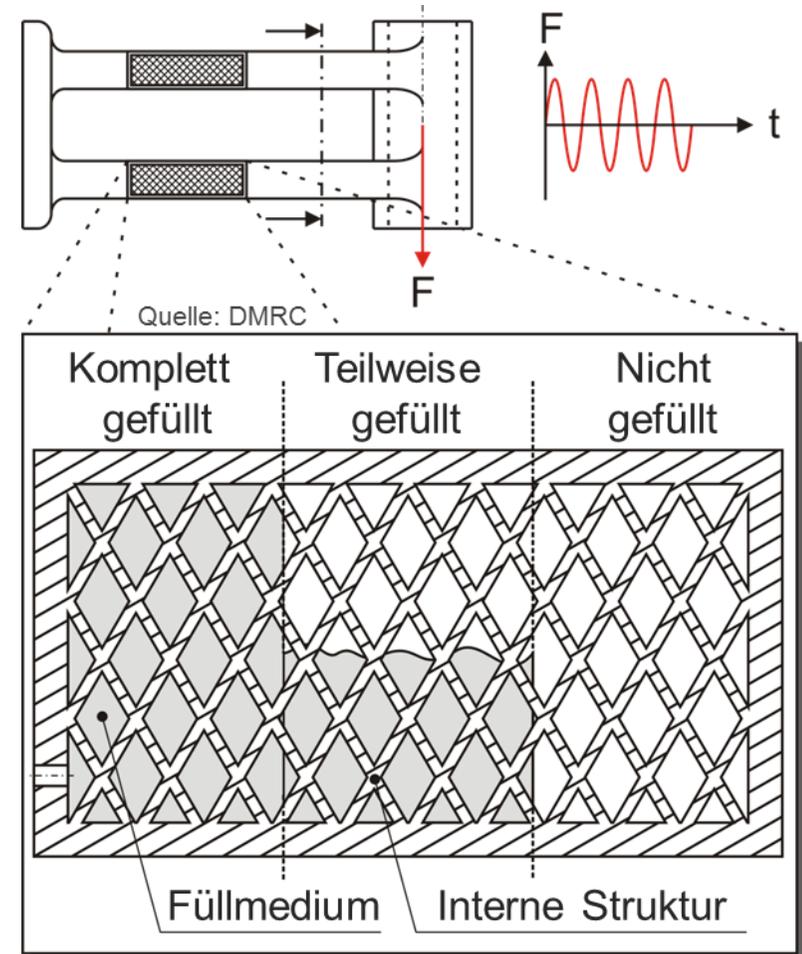
Geometrische Merkmale

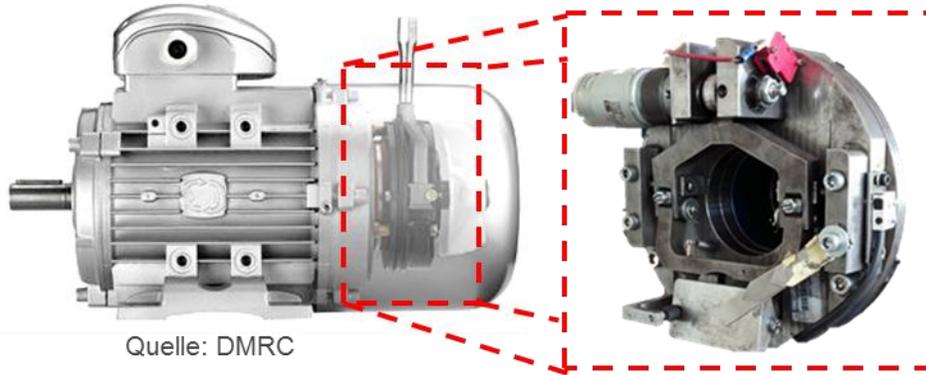
- Innere Strukturen (Hohlräume, Gitter ...)
- Anpassung der Dämpfung durch geometrische Ausprägung der inneren Strukturen

Stoffliche Merkmale

- Keine besonderen Merkmale
- Kombination aus festen Materialien, die solide und pulverförmig vorliegen

Patentiert durch Siemens:
(DE 10 2010 063 725 A1)





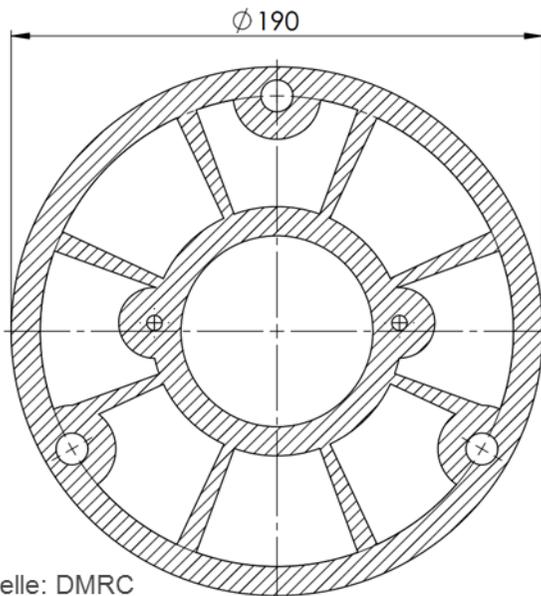
Quelle: DMRC

Anwendungsbeispiel: Federkraftbremse

- Öffnen der Bremse mit Elektromagneten
 - Schließen der Bremse erzeugt Impuls
 - Impuls erzeugt Schwingung und Luftschall
- Schwingungsdämpfung angestrebt

Dämpfung der Ankerscheibe

- Segmentierte Kavitäten mittels SLM integriert
- Pulver verbleibt in den Kavitäten
- Vergleich der Schalldruckpegel zwischen additiv gedämpfter und nicht-gedämpfter Ankerscheibe



Quelle: DMRC



Quelle: DMRC

Dämpfung der Schallabstrahlung durch...

- Körperschalldämpfung, die durch
- poröse Werkstoffe erzielt wird

Physikalische Effekte

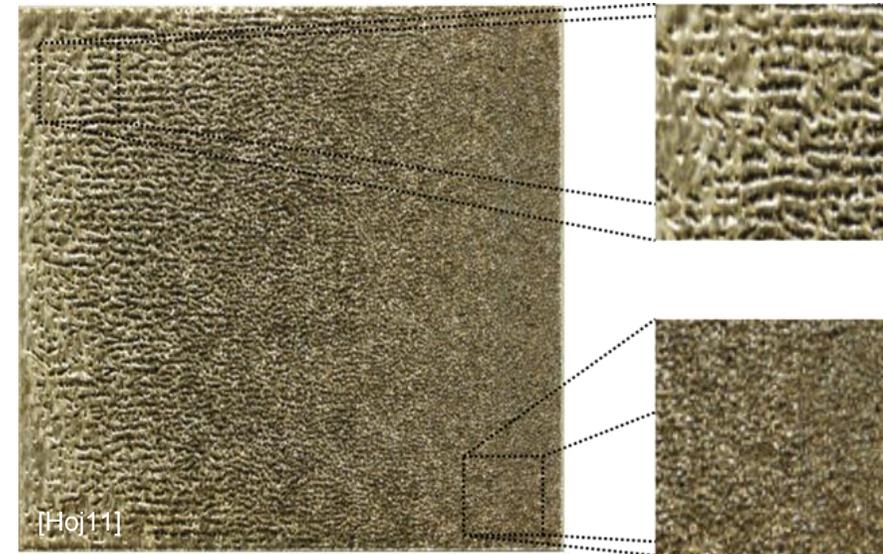
- Energieumwandlung (Körperschall <-> Luftschall)
- Energiewandlungsverluste
- Innere Reibung

Geometrische Merkmale

- Bauteilgeometrie ohne besondere Merkmale

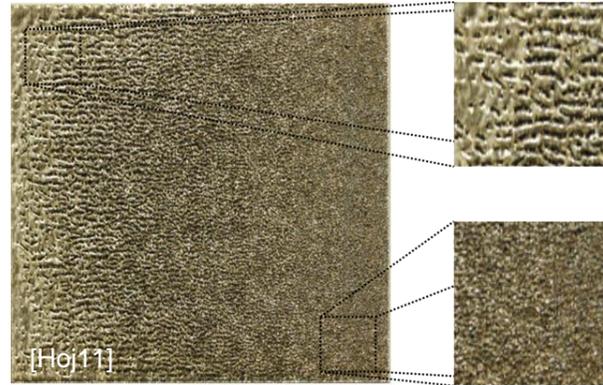
Stoffliche Merkmale

- Werkstoff mit definierter Porosität
- Maß der Porosität durch Variation der Fertigungsparameter definiert eingestellt.
- Position der Porosität im Bauteil definiert eingestellt.



Ortofon Tonabnehmer

- Entwicklung und Fertigung eines Tonabnehmers mit signifikant gesteigerter Körperschalldämpfung
- Untersuchung des Zusammenhangs von Laserparametern und Porosität
- Fertigung eines Tonabnehmers mit
 - Hoher Steifigkeit
 - Hoher Porosität
- Porosität erzeugt innere Hohlräume
- Hohlräume dämpfen den Körperschall



<https://www.youtube.com/watch?v=G-LQOPYXdQg>

Beispiele für Wirkprinzipien

Funktion: Leichtbau (geometrisch)

Schaffung von Leichtbau durch ...

- Leichtoptimierte geometrische Bauteilstruktur

Physikalische Effekte

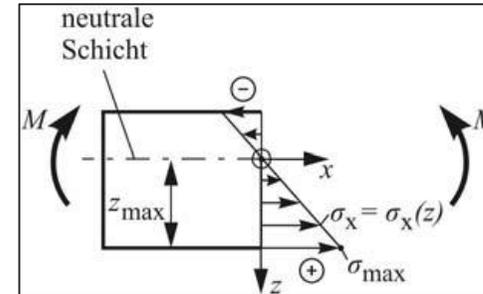
- Tragfähigkeit: $\sigma_{zul} \geq \sigma_B = \frac{M}{I_{\bar{y}}} z_{max}$
- Satz von Steiner: $I_{\bar{y}} = I_y + \bar{y}_S^2 \cdot A$

Geometrische Merkmale

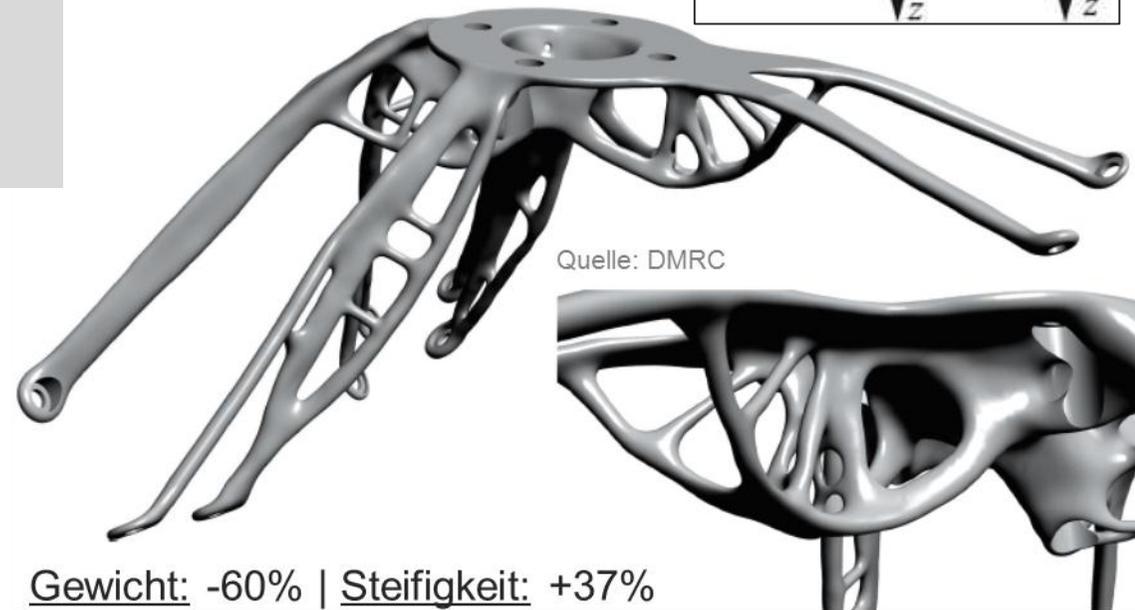
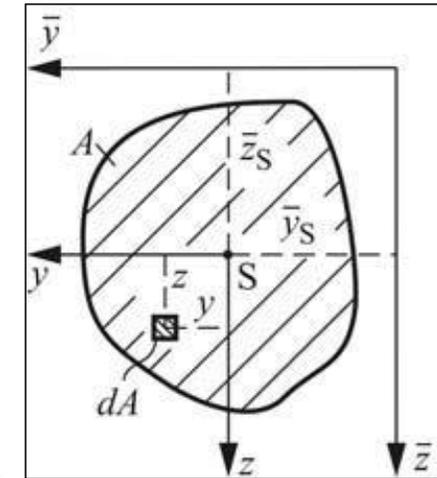
- Topologie-optimierte Gestalt
- Material weit weg von der Biegelinie
- Fachwerkstrukturen

Stoffliche Merkmale

- Keine besonderen Merkmale



Richard / Sander:
Technische Mechanik
(Vieweg + Teubner)



Gewicht: -60% | Steifigkeit: +37%

Beispiele für Wirkprinzipien

Funktion: Leichtbau (stofflich)

Anpassung und Optimierung der Spannung in verformenden Bauteilen durch ...

- ... gradierte Einstellung mechanischer Eigenschaften
- ... Variation des E-Moduls, um bei unterschiedlicher Verformung, gleiche Spannung einzustellen

Physikalische Effekte

- Hooksches Gesetz: $\sigma = E * \varepsilon$
- Dehnung: $\varepsilon = \Delta l / l$

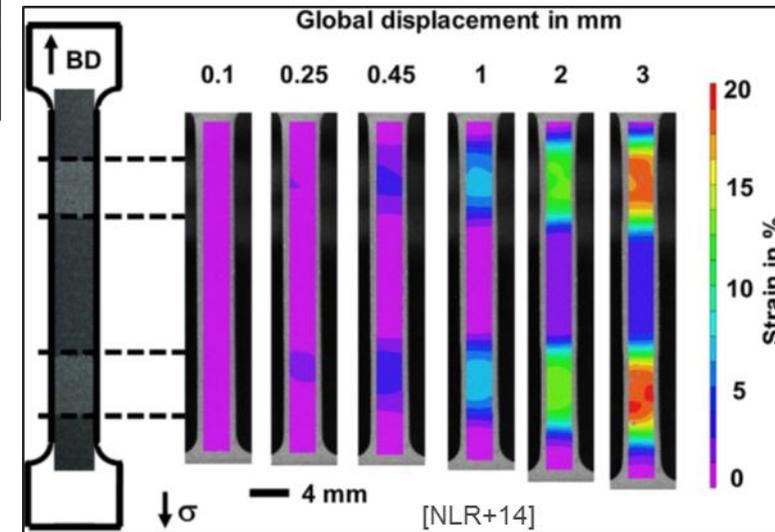
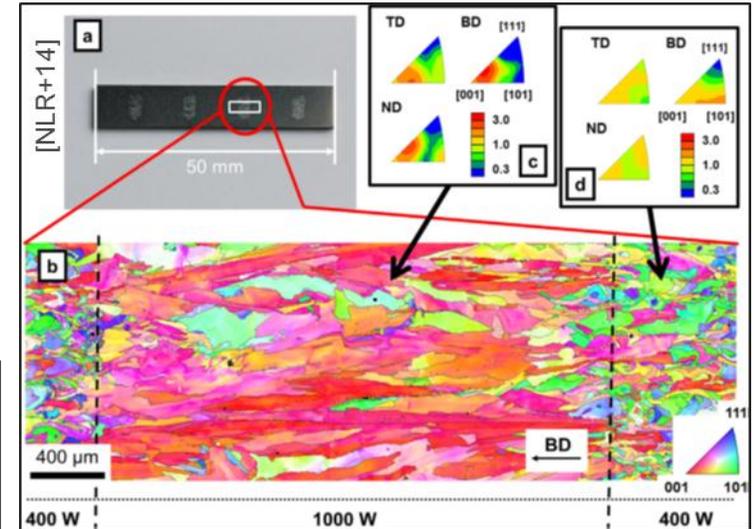


Geometrische Merkmale

- Fachwerkstrukturen bestehend aus Balken und Stäben

Stoffliche Merkmale

- E-Module als Funktion der Volumenenergiedichte
- Gradierte Einstellung des E-Moduls
- Einzelner Balken mit unterschiedlichen E-Modulen
- Alle Balken mit gleicher Spannung



Steigerung der Kühlwirkung durch ...

- Einen gesteigerten Abtransport der Wärme

Physikalische Effekte

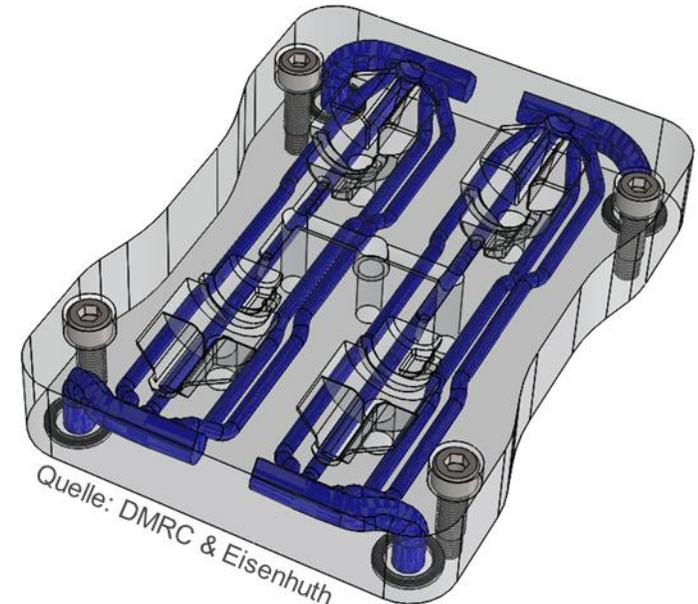
- Wärmeleitung $\dot{Q} = \lambda \cdot A \cdot \Delta T \cdot l^{-1}$
- Übertragungslänge l beeinflusst den Wärmestrom

Geometrische Merkmale

- Konventionell:
 - Kühlkanäle mit limitiertem minimalen Abstand zur Temperaturzone
- Additiv:
 - Konturnahe Kühlkanäle
 - Reduzierte Übertragungslänge
 - Hoher Wärmestrom

Stoffliche Merkmale

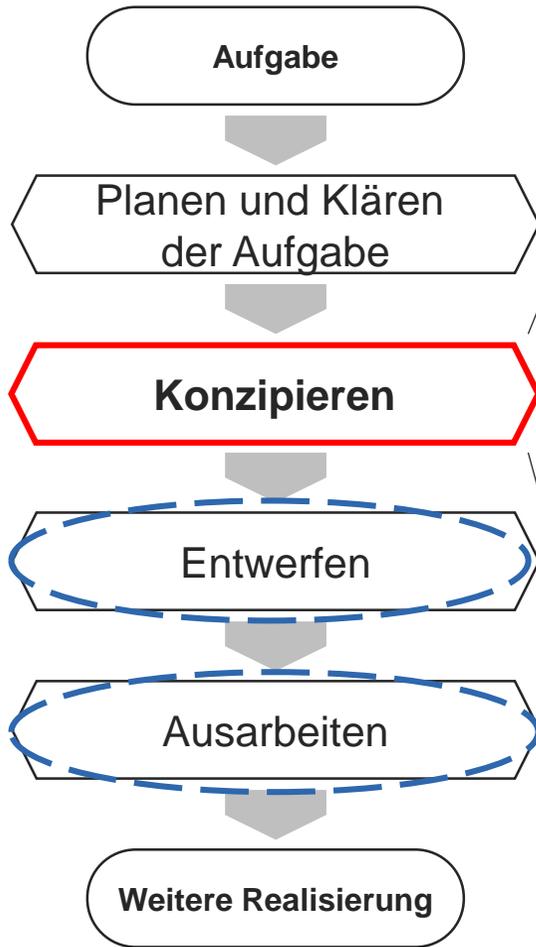
- Keine besonderen Merkmale



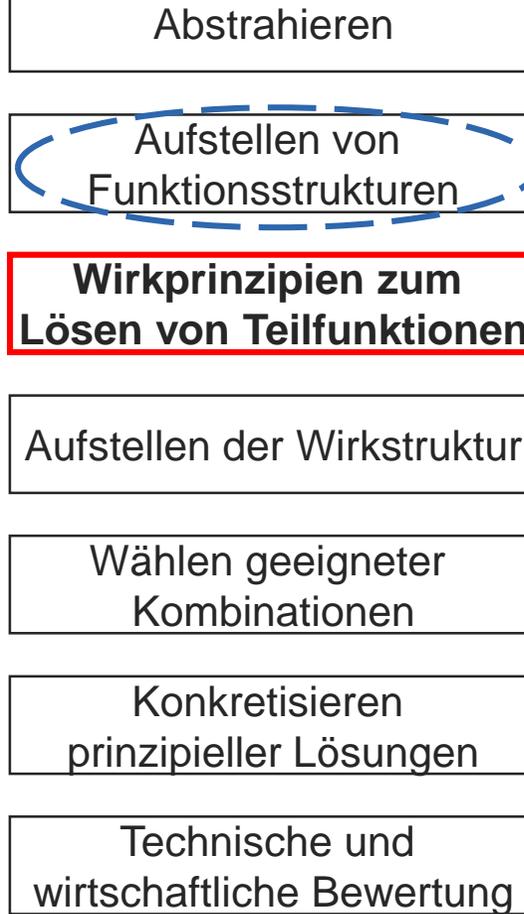
Zykluszeit: 41sec → 23 sec (- 44 %)

\dot{Q} : Wärmestrom [J/s] | A: Querschnittsfläche | l: Übertragungslänge
 λ : spez. Wärmeleitfähigkeit | ΔT : Temperaturdifferenz

Produktentwicklungsprozess



Konzipieren



Funktionales Design für AM bietet ...

- Neue Freiheiten
- Vielfältige Möglichkeiten (z.B. zur Lösung von Funktionen)

Funktionales Design für AM fordert ...

- Mut, bekannte Lösungen zu hinterfragen
- Bereitschaft, neue Lösungen systematisch zu entwickeln

Funktionales Design für AM schafft ...

- einen sehr großen Nutzen

Aber ...

- Es gibt auch noch viel zu verstehen und zu lernen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

- [NLR+14] Niendorf, T.; Leuders, S.; Riemer, A.; Brenne, F.; Tröster, T.; Richard, H.A.; Schwarze, D.: Functionally Graded Alloys Obtained by Additive Manufacturing. Advanced Engineering Materials, DOI: 10.1002/adem.201300579
- [Hoj11] Højbjerg, K.: Additive manufacturing of porous metal components. The 6th international conference on additive manufacturing, Loughborough University, 2011

Dr.-Ing. Guido Adam

Direct Manufacturing Research Center
Universität Paderborn

Guido.Adam@dmrc.de
+49 (0) 5251 60-5415
www.dmrc.de