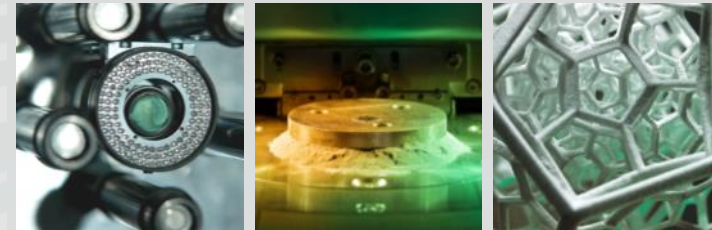


PROJEKTGRUPPE

RESSOURCENEFFIZIENTE MECHATRONISCHE VERARBEITUNGSMASCHINEN

„3-D-Druck“ von Zahnrädern und resultierende Potenziale



Inhalt

- Kurzvorstellung des Instituts
- „3-D-Druck“ mittels Laserstrahlschmelzen
- Potenziale für die Antriebstechnik
 - Prozessintegration zur Zahnradfertigung
 - Funktionsintegration
 - Leichtbau
- Zusammenfassung

Inhalt

- **Kurzvorstellung des Instituts**
- „3-D-Druck“ mittels Laserstrahlschmelzen
- **Potenziale für die Antriebstechnik**
 - Prozessintegration zur Zahnradfertigung
 - Funktionsintegration
 - Leichtbau
- **Zusammenfassung**

Kurzvorstellung des Instituts

Geografische Einordnung



Projektgruppe RMV & *iwb* Anwenderzentrum Augsburg



iwb der TUM

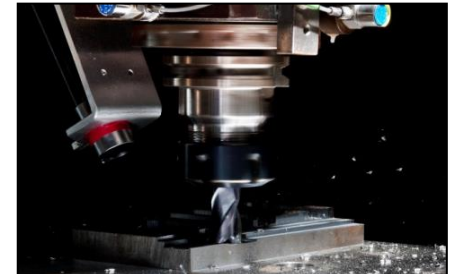
Kurzvorstellung des Instituts

Forschungsgebiete

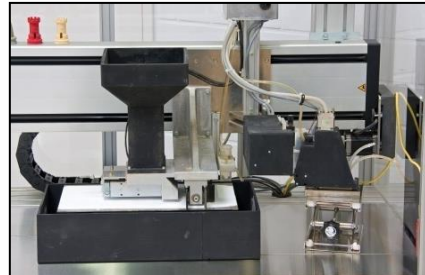
Unternehmens-
planung und
-organisation



Mechatronische
Produktions-
systeme



Fertigungs-
und Montage-
technologie

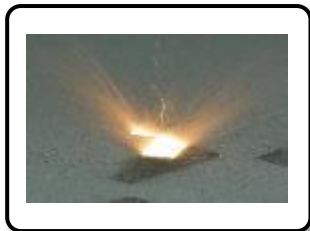
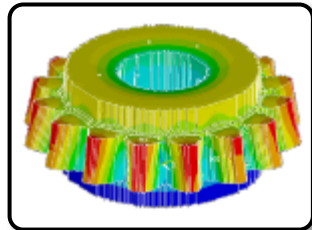


Kurzvorstellung des Instituts

Forschung im Bereich der additiven Fertigung – das AMLab



- Labor für Additive Fertigung mit diversen Technologien (SLS, LBM, EBM, 3DP, FDM)
- Forschungsgebiete:
 - Prozessüberwachung
 - Simulation
 - Prozessentwicklung
 - Funktionsintegration und Leichtbau
- Umfangreiche Ausstattung für Bauteil-, Material- und Prozessentwicklung



Inhalt

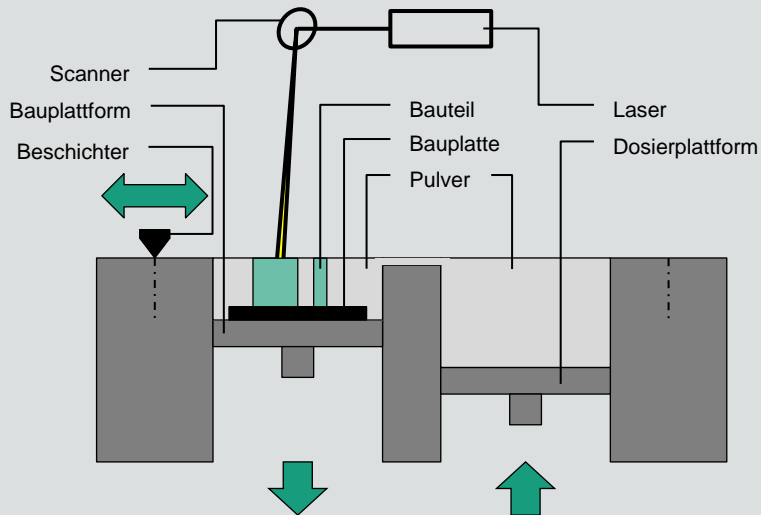
- Kurzvorstellung des Instituts
- „3-D-Druck“ mittels Laserstrahlschmelzen
- Potenziale für die Antriebstechnik
 - Prozessintegration zur Zahnradfertigung
 - Funktionsintegration
 - Leichtbau
- Zusammenfassung

„3-D-Druck“ mittels Laserstrahlschmelzen

Funktionsweise

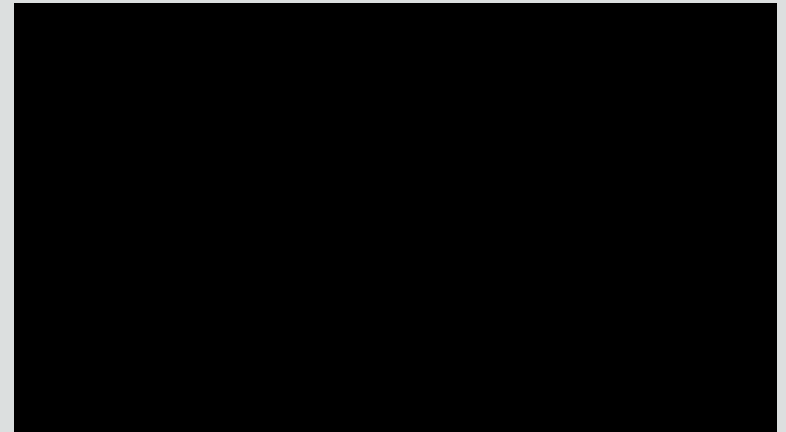
Funktionsprinzip

Lokales Aufschmelzen von pulverisierten Metalllegierungen durch Laser- oder Elektronenstrahl.



Möglichkeiten der additiven Fertigung

- Herstellungsdauer und Kosten von geometrischer Komplexität weitgehend unabhängig
- Große Formgebungsfreiheit



Großes Potenzial zu Funktionsintegration und Leichtbau

nach Zäh 2012

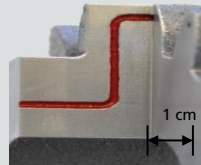
„3-D-Druck“ mittels Laserstrahlschmelzen

Charakteristika des Laserstrahlschmelzens

Potenziale

■ Funktionsintegration

- Material: z. B. Multimaterialverbindungen
- Wärmeübertragung: z. B. Kühlen
- Mechanisch: z. B. Dämpfung



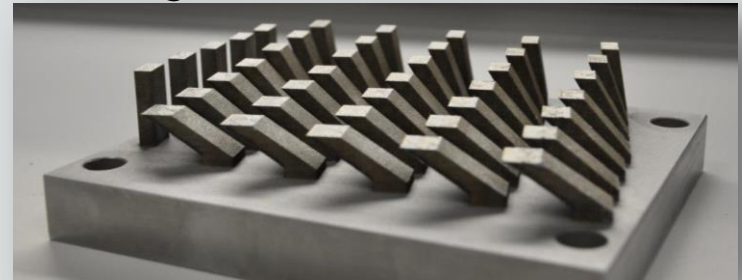
■ Leichtbau

- Topologieoptimierung
- Bionische Strukturen
- Erweiterung der Nutzlast
- Verringerte beschleunigte Massen



Herausforderungen

■ Überhänge



■ Werkstoffverhalten

- Materialfestigkeit
- Anisotropie

■ Bauzeit

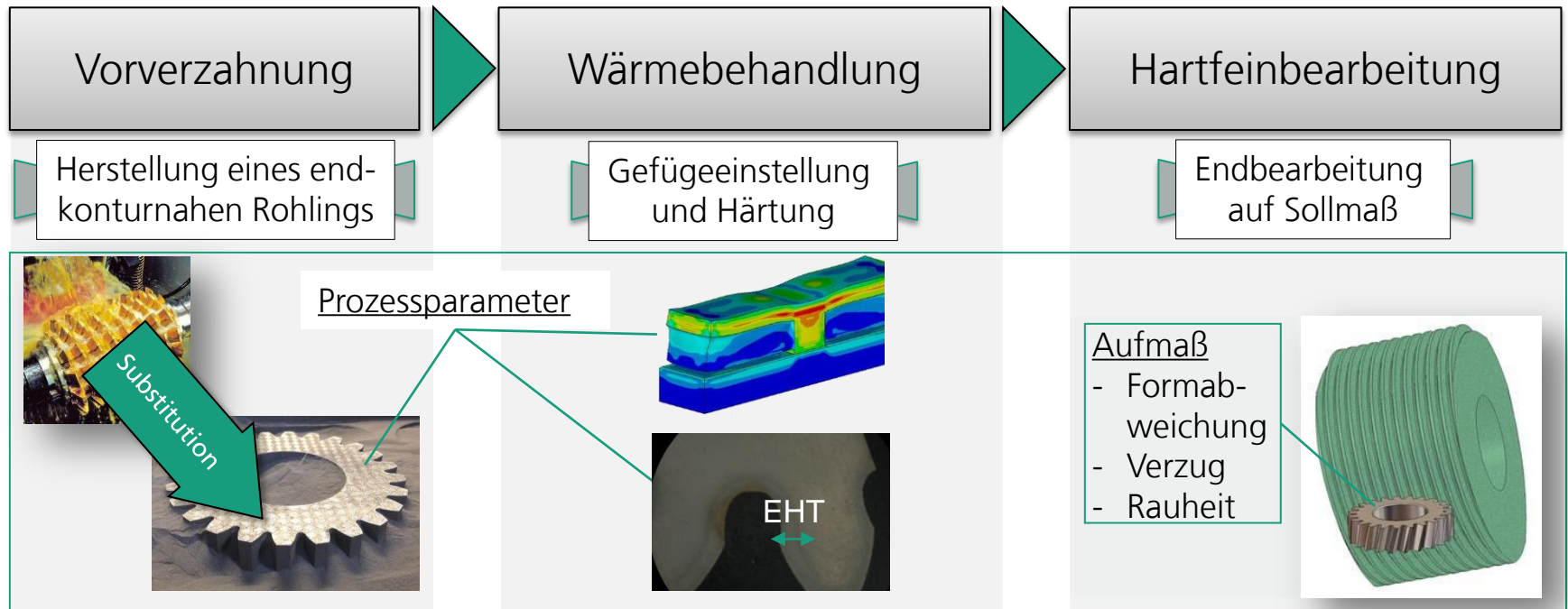
Große Formgebungsfreiheit zeigt Potenzial für Zahnradfertigung

Inhalt

- Kurzvorstellung des Instituts
- „3-D-Druck“ mittels Laserstrahlschmelzen
- **Potenziale für die Antriebstechnik**
 - Prozessintegration zur Zahnradfertigung
 - Funktionsintegration
 - Leichtbau
- Zusammenfassung

Potenziale für die Antriebstechnik

Prozessintegration zur Zahnradfertigung



Integration von LBM in Prozesskette zur Zahnradfertigung

Bilder links: Maschinenmarkt, Bild rechts: Winterthur

Inhalt

- Kurzvorstellung des Instituts
- „3-D-Druck“ mittels Laserstrahlschmelzen
- **Potenziale für die Antriebstechnik**
 - Prozessintegration zur Zahnradfertigung
 - **Funktionsintegration**
 - Leichtbau
- Zusammenfassung

Potenziale für die Antriebstechnik

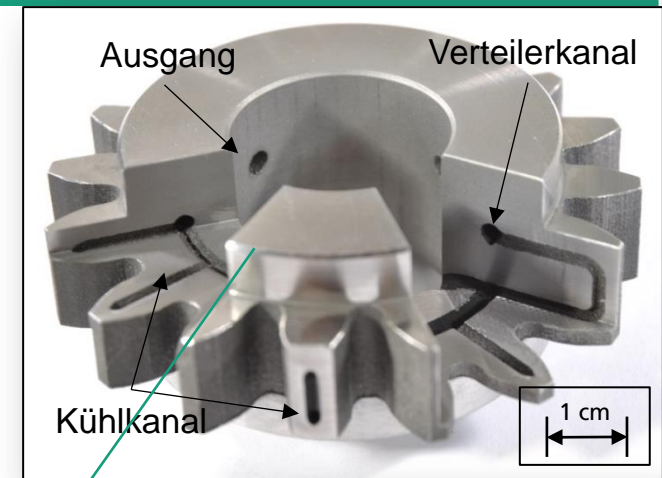
Konturnahe Kühlung

Problem

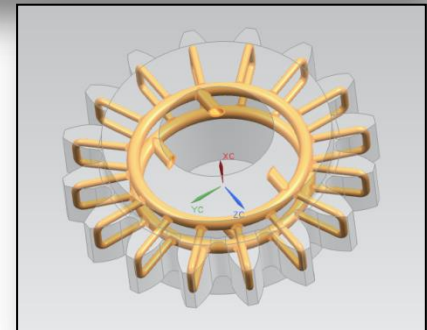
- Lastunabhängige Verlustleistung bei großer Umdrehungsgeschwindigkeit
- Minimalmengenschmierung führt zu ungenügender Kühlung

Lösung

- Definition des thermomechanischen Lastkollektivs
- Integration einer konturnahen Kühlung
- Simulationsgestützte Auslegung
 - Kühlwirkung
 - Festigkeit



FZG-Typ-C-
Prüfverzahnung



Minimalschmierung ohne Kühlproblematik

Typ-C-Prüfverzahnung der FZG der TU München

Potenziale für die Antriebstechnik

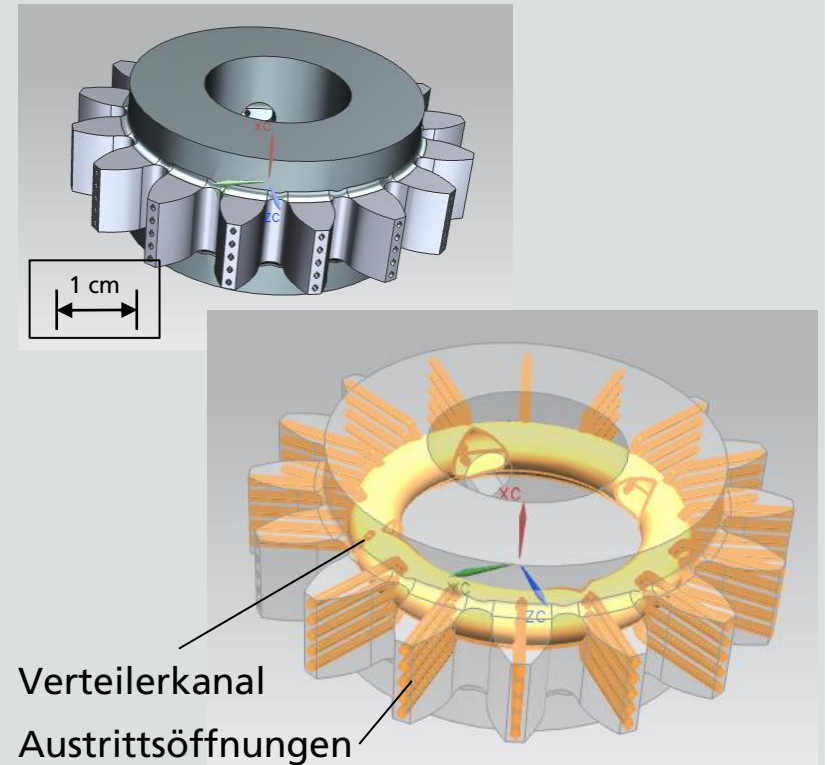
Integrierte Kühlschmierstoffzufuhr

Problem

- Minimalmengenschmierung erfordert Pumpsystem zur Kühlschmierstoffeinleitung
- Zusätzlicher Energieverbrauch

Lösung

- Implementierung einer integrierten KSS-Zufuhr
- Nutzung der Zentrifugalbeschleunigung zur KSS-Versorgung
- Zusätzliche Kühlwirkung



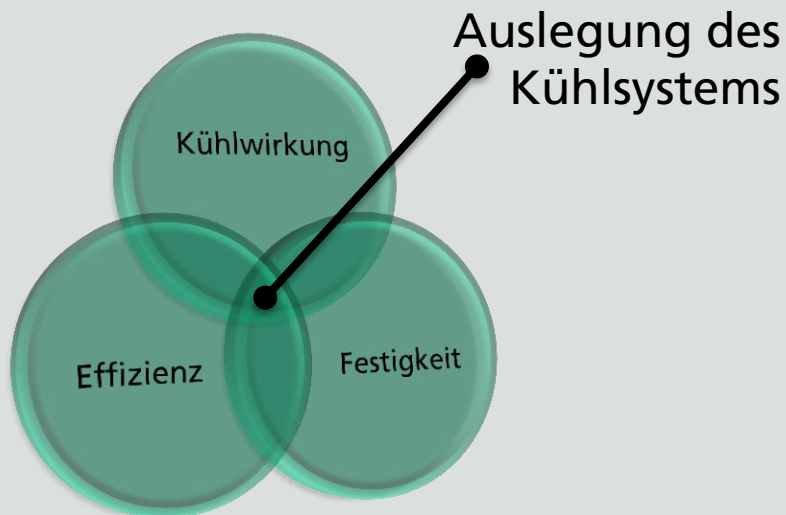
KSS-Versorgung proportional zur Umdrehungsgeschwindigkeit

Typ-C-Prüfverzahnung der FZG der TU München

Potenziale für die Antriebstechnik

Berechnung und Optimierung zur Kanalauslegung

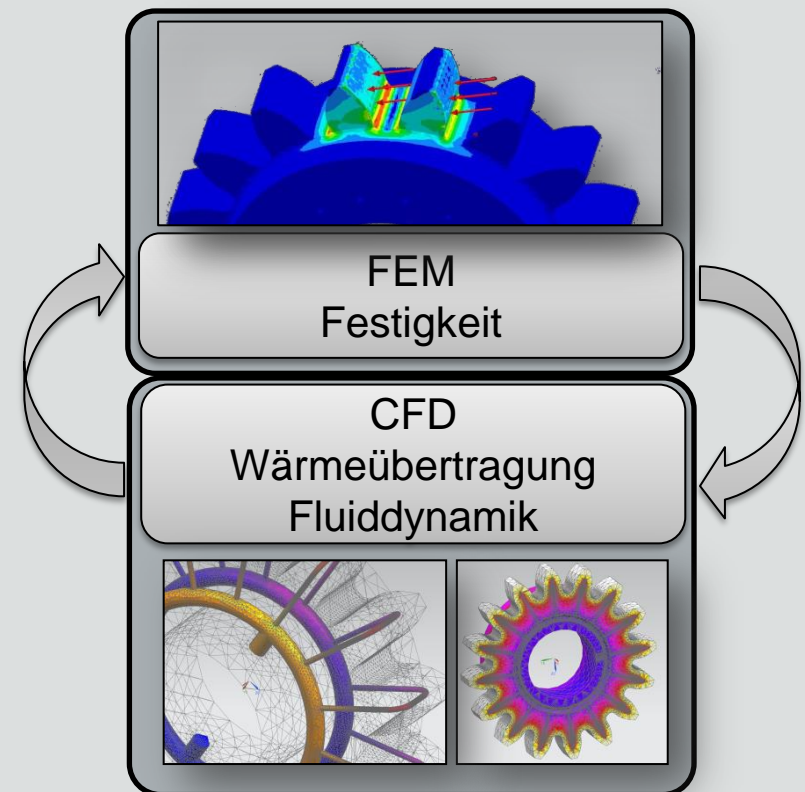
Optimierungsproblem



■ Vorgehensweise:

- Analytische Betrachtung
- Simulationsbasierte Auslegung
- Verifikation am Prüfstand

Simulationsprozess



Inhalt

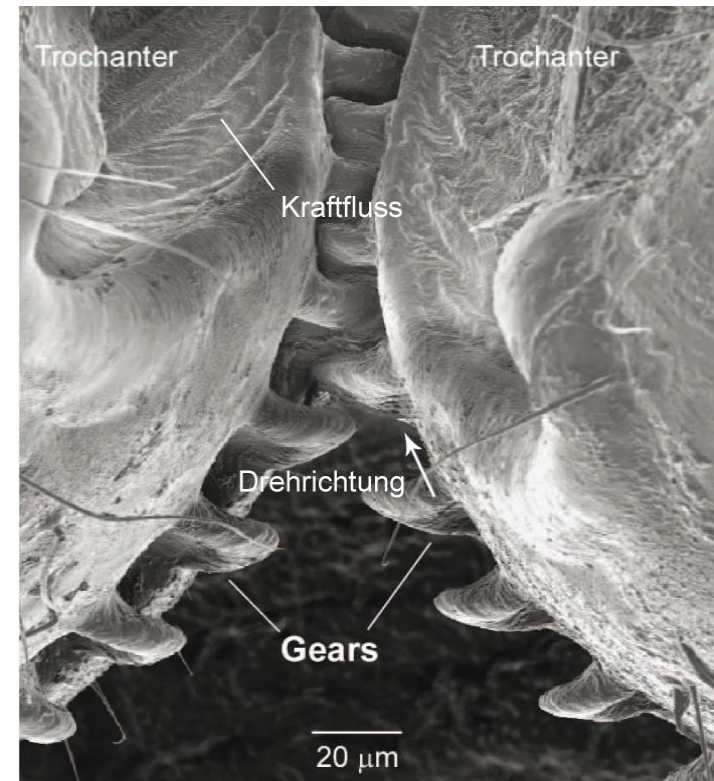
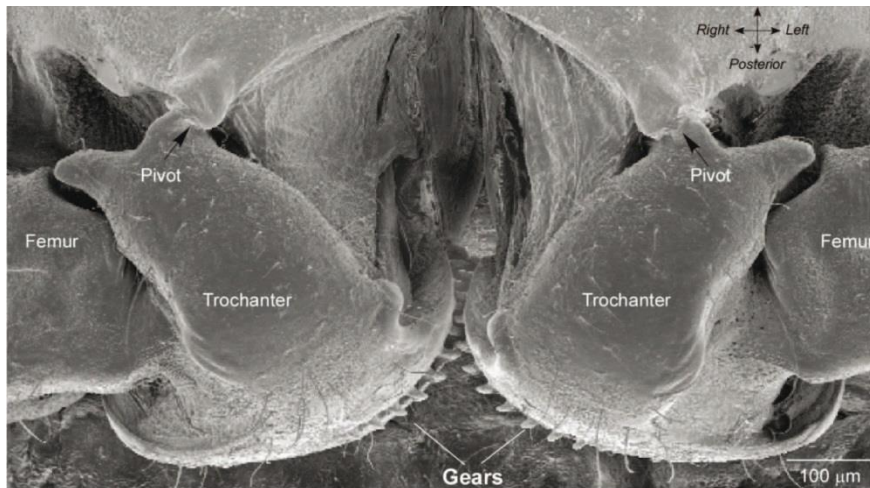
- Kurzvorstellung des Instituts
- „3-D-Druck“ mittels Laserstrahlschmelzen
- **Potenziale für die Antriebstechnik**
 - Prozessintegration zur Zahnradfertigung
 - Funktionsintegration
 - **Leichtbau**
- Zusammenfassung

Potenziale für die Antriebstechnik

Vorgehensweise zur bionischen Topologieoptimierung

Bionik

- Analyse und Ableitung von Bauweisen der Natur (Baum- und Knochenstrukturen etc.)
- Übertragung auf technische Systeme



Ableitung von Leichtbauprinzipien aus der Natur

Burrows & Sutton 2013

Potenziale für die Antriebstechnik

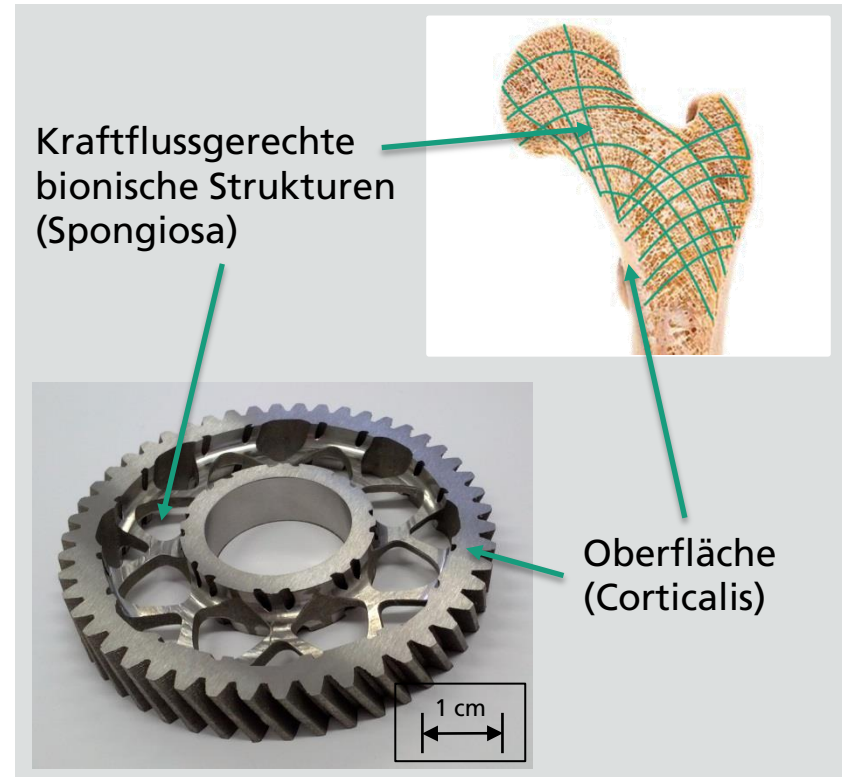
Bionischer Leichtbau

Problem

- Energieverluste durch Beschleunigung nicht benötigter Massen
- Große Massen können Unwuchten erzeugen

Lösung

- Massenreduktion durch bionischen Leichtbau
- Kraftflussgerechte Auslegung der Strukturen
- Reduktion von Material in wenig belasteten Bereichen

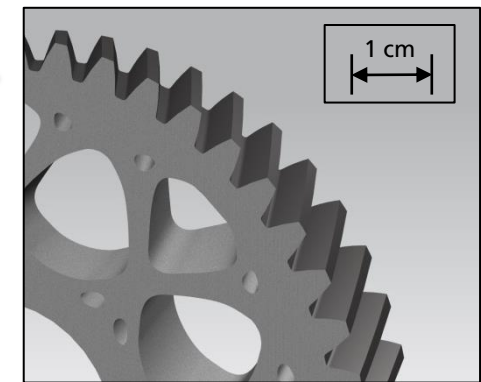
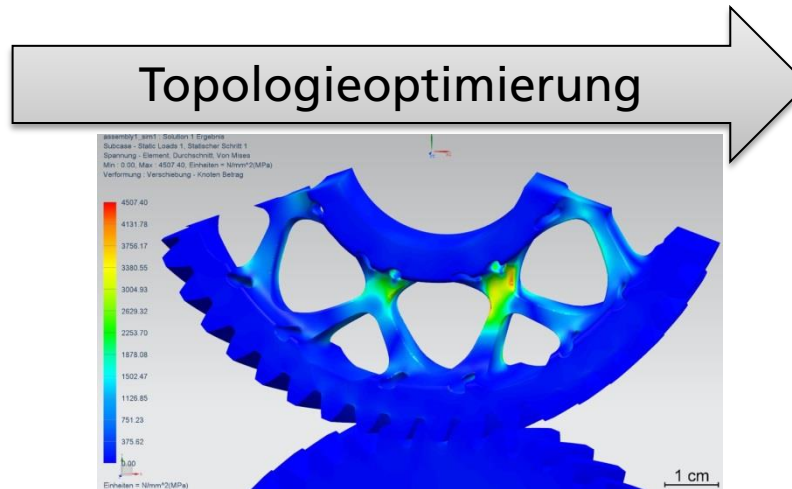
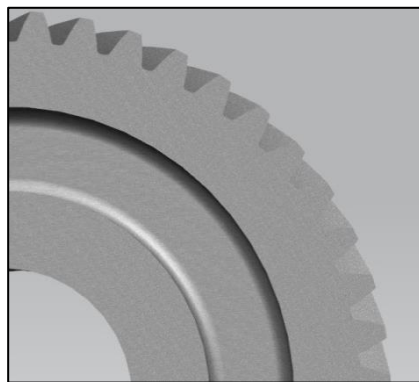


Bionischer Leichtbau zur Massenreduktion

Schrägverzahnung zur Verfügung gestellt durch FZG der TU München

Potenziale für die Antriebstechnik

Studie zur Topologieoptimierung



	Vollmaterial	Referenzrad mit verjüngtem Steg	Bionischer Entwurf
Masse [g]	727	547	458
Masseersparnis [%]	0	25	37

Bionischer Leichtbau ermöglicht weitere Massenreduktion

Schrägverzahnung zur Verfügung gestellt durch FZG der TU München

Inhalt

- Kurzvorstellung des Instituts
- „3-D-Druck“ mittels Laserstrahlschmelzen
- Potenziale für die Antriebstechnik
 - Prozessintegration zur Zahnradfertigung
 - Funktionsintegration
 - Leichtbau
- Zusammenfassung

Zusammenfassung

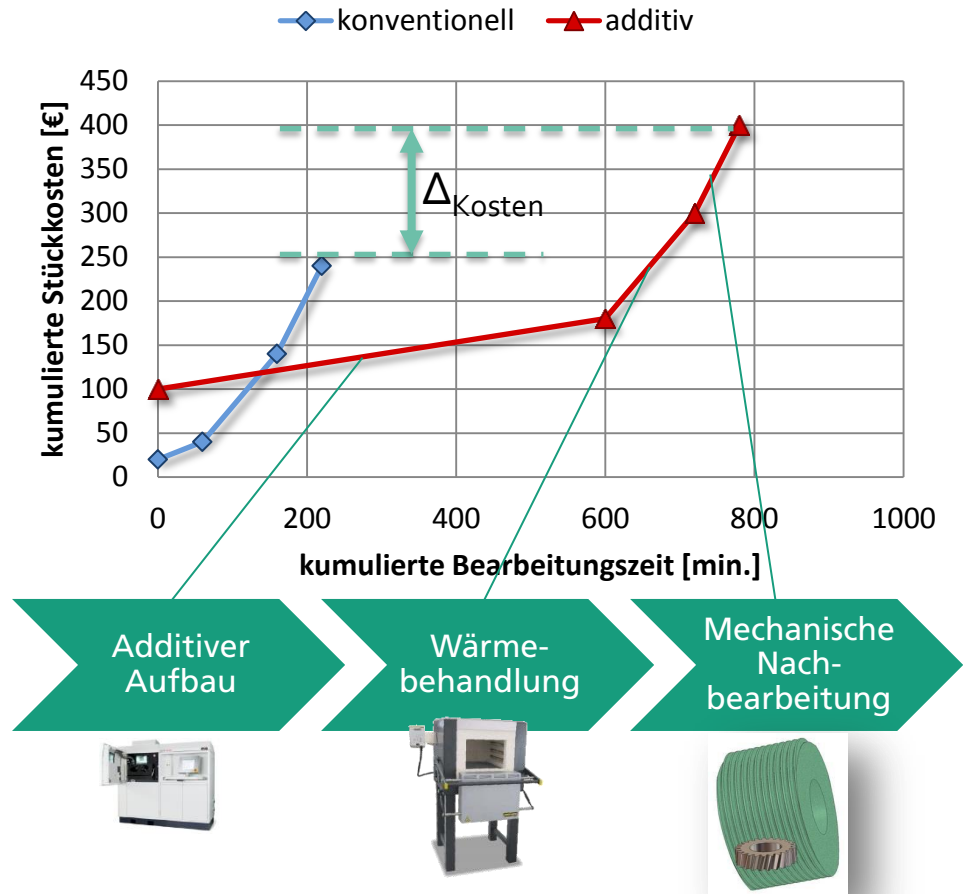
Potenzialanalyse

■ Wirtschaftlich

- Reduzierte Betriebskosten durch Material- und Energieeinsparung
- Reduzierte Lead Time
- Große Fertigungsflexibilität
- Kleine Änderungskosten

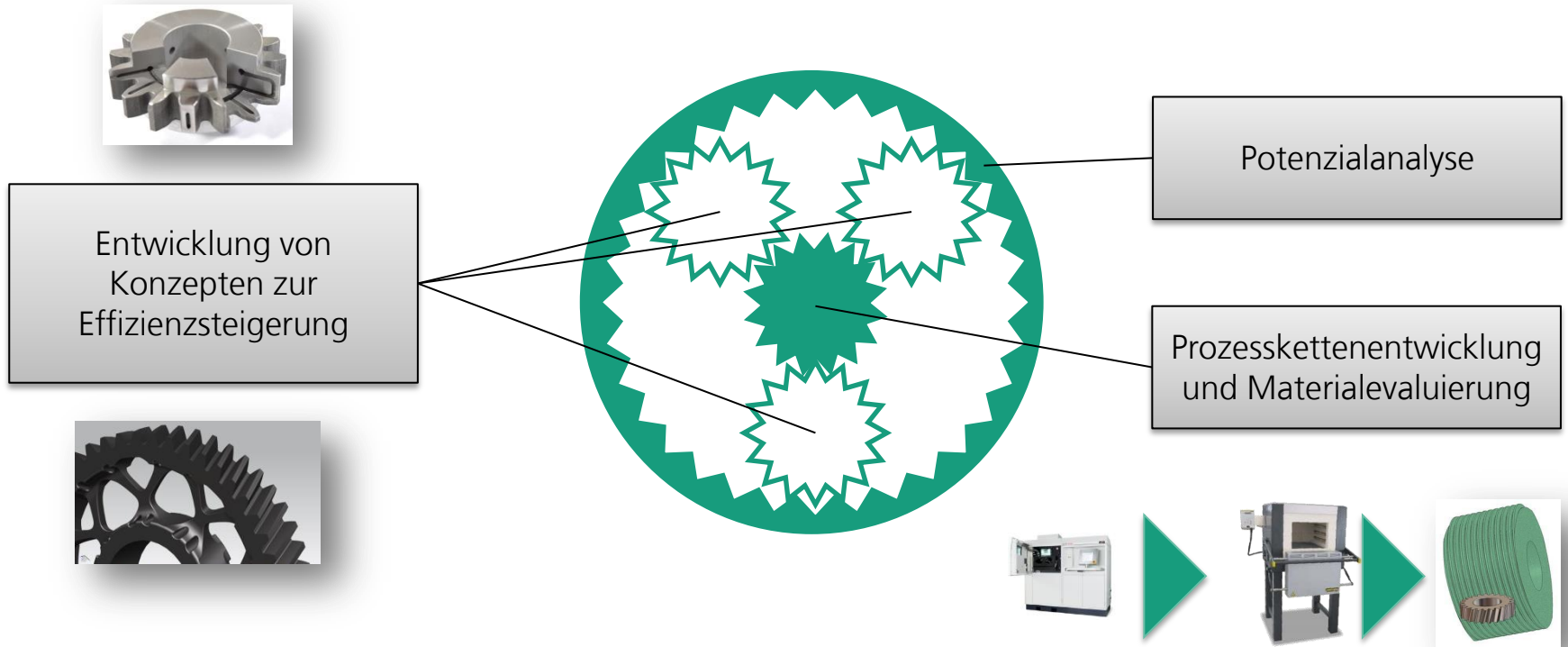
■ Technologisch

- Werkstoff 16MnCr5, weitere Werkstoffe möglich (IN718, 20MnCr5 etc.)
- Rekuperation der Verlustwärme
- Reduktion von Unwuchten
- Integralbauweise
- Thermisch kritische Spezialanwendungen



Bildquellen: EOS, Nabertherm, Maschinenmarkt

Zusammenfassung



Effizienzsteigerung von Zahnradgetrieben mit konstruktiven Mitteln durch den Einsatz der additiven Fertigung

Bildquellen: EOS, Nabertherm, Maschinenmarkt

Diskussion



Bildquelle: FZG der TUM

Ihr Weg zu uns

Kontaktdaten



Tobias Kamps
Dipl.-Wirt.-Ing., M. Sc.

Projektgruppe
Ressourceneffiziente mechatronische Verarbeitungsmaschinen

Beim Glaspalast 5 | 86153 Augsburg
Telefon +49 821 56883-57 | Fax -50
tobias.kamps@iwu.fraunhofer.de
www.iwu.fraunhofer.de