Karlsruher Institut für Technologie

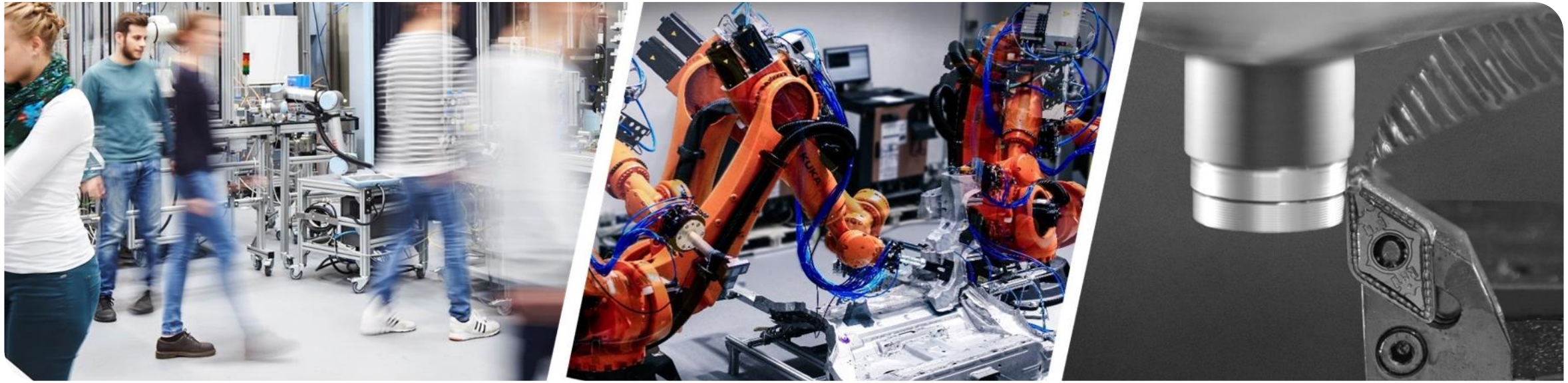
EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung als Teil der Reaktion der Union auf die COVID-19-Pandemie finanziert

wbk Institut für Produktionstechnik

InRePro - Inspektions- und Remanufacturingzelle mit prozessintegrierter Multi-Sensorik

Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND KUNST

Karlsruhe, 20. September 2022, Dr.-Ing. Frederik Zanger



Ein Umdenken linearer Wirtschaftsmuster ist erforderlich

Karlsruher Institut für Technologie

1,7 Erden

sind zur Deckung des **globalen Ressourcenverbrauchs** im Jahr 2021 notwendig.

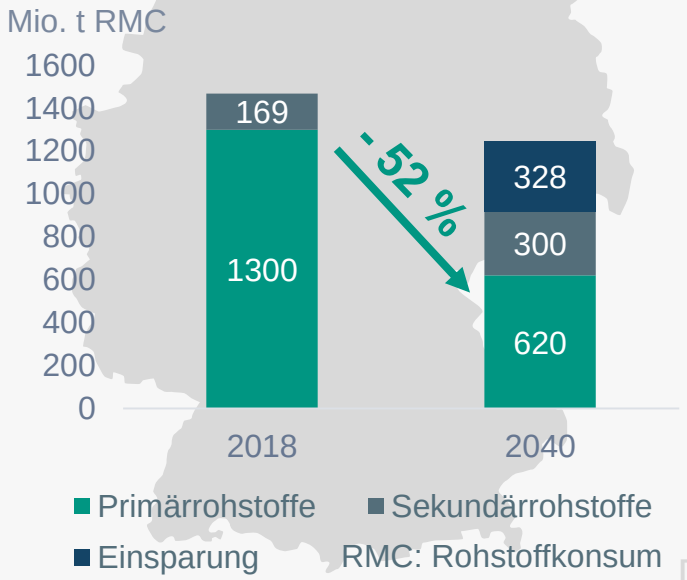
[1]

5 %

des Rohstoffwertes von produzierten Gütern in der EU werden **nach dem ersten Nutzungszyklus wiederverwertet**.

[2]

Circular Economy Initiative Deutschland - Potential -



[3]

Kreislaufwirtschaft kann eine Entkopplung von Wohlstand und Ressourcenverbrauch erreichen. Forschung und Innovation sind notwendige Befähiger der Klimaneutralität Deutschlands bis 2045.

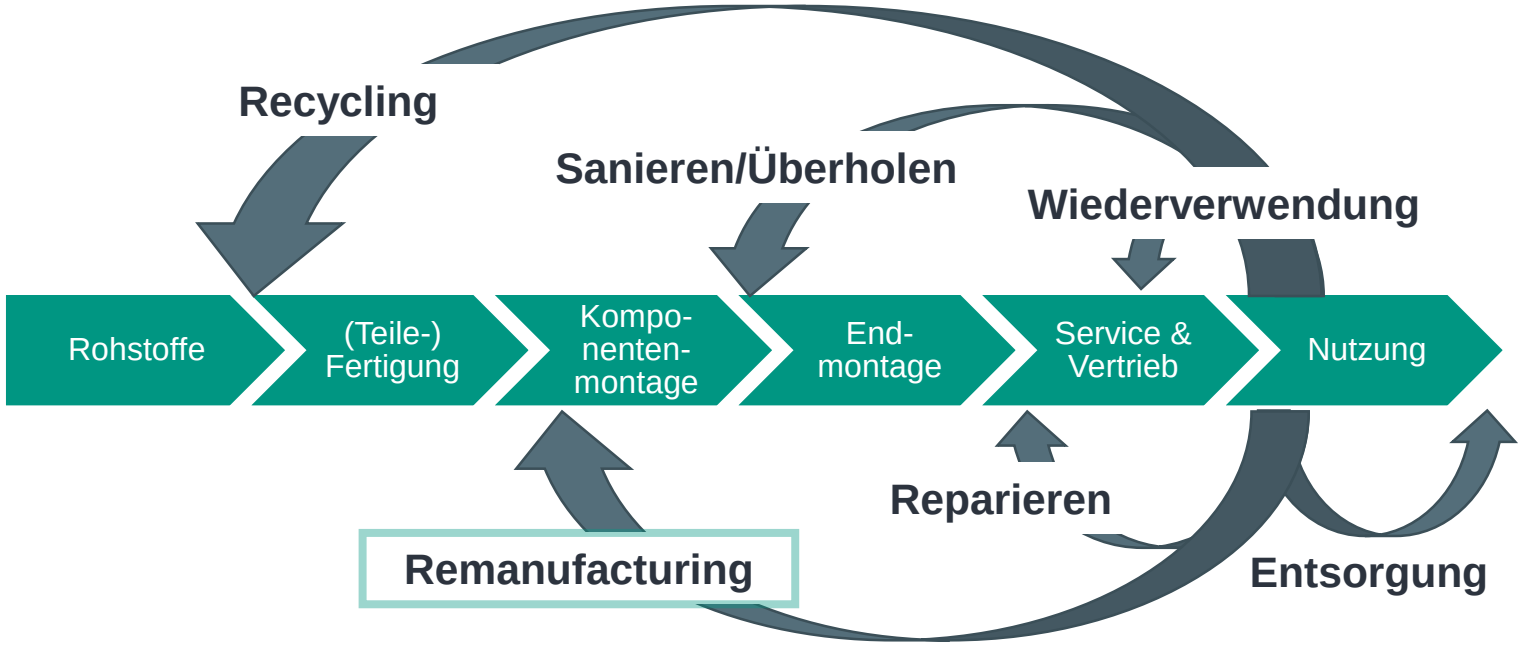
Quellen: [1] Global Footprint Network (2021), [2] Ellen MacArthur Foundation (2015), [3] Circular Economy Initiative Deutschland (2021)

wbk Institut für Produktionstechnik

Kreislaufwirtschaft als Konzept für eine nachhaltige Produktion

Karlsruher Institut für Technologie

Ziel der Kreislaufwirtschaft ist es, **Produkte, Komponenten und Materialien über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg auf höchstem Nutzen und Wert** zu halten. Es ersetzt das Konzept des Ende des Produktlebenszyklus durch die Wiederherstellung und zielt auf die Beseitigung von Verschwendung durch die **gezielte Gestaltung von Materialien, Produkten, Systemen und Geschäftsmodellen** ab. [1]

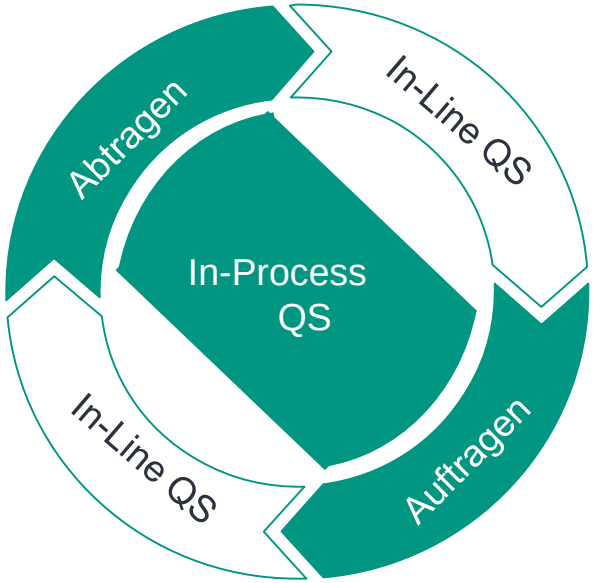


Im Zuge des Remanufacturing werden Produkte so aufgearbeitet, dass sie sowohl im Bezug auf Qualität als auch auf Sicherheit neuen Produkten entsprechen.[2]

Quellen: [1] Tolio et al., (2017), [2] Plattform Industrie 4.0

wbk Institut für Produktionstechnik

Beispielprodukte und Prozess



- Iterativer Prozess aus Auftragen und Abtragen
- Prozessbegleitende Qualitätssicherung und Inspektion für dynamische Prozessplanung und Optimierung

Bremskomponenten

- Erhöhen der Standzeiten durch Multimaterialauftrag (Upgrade der Funktion)

E-Motor-Komponenten

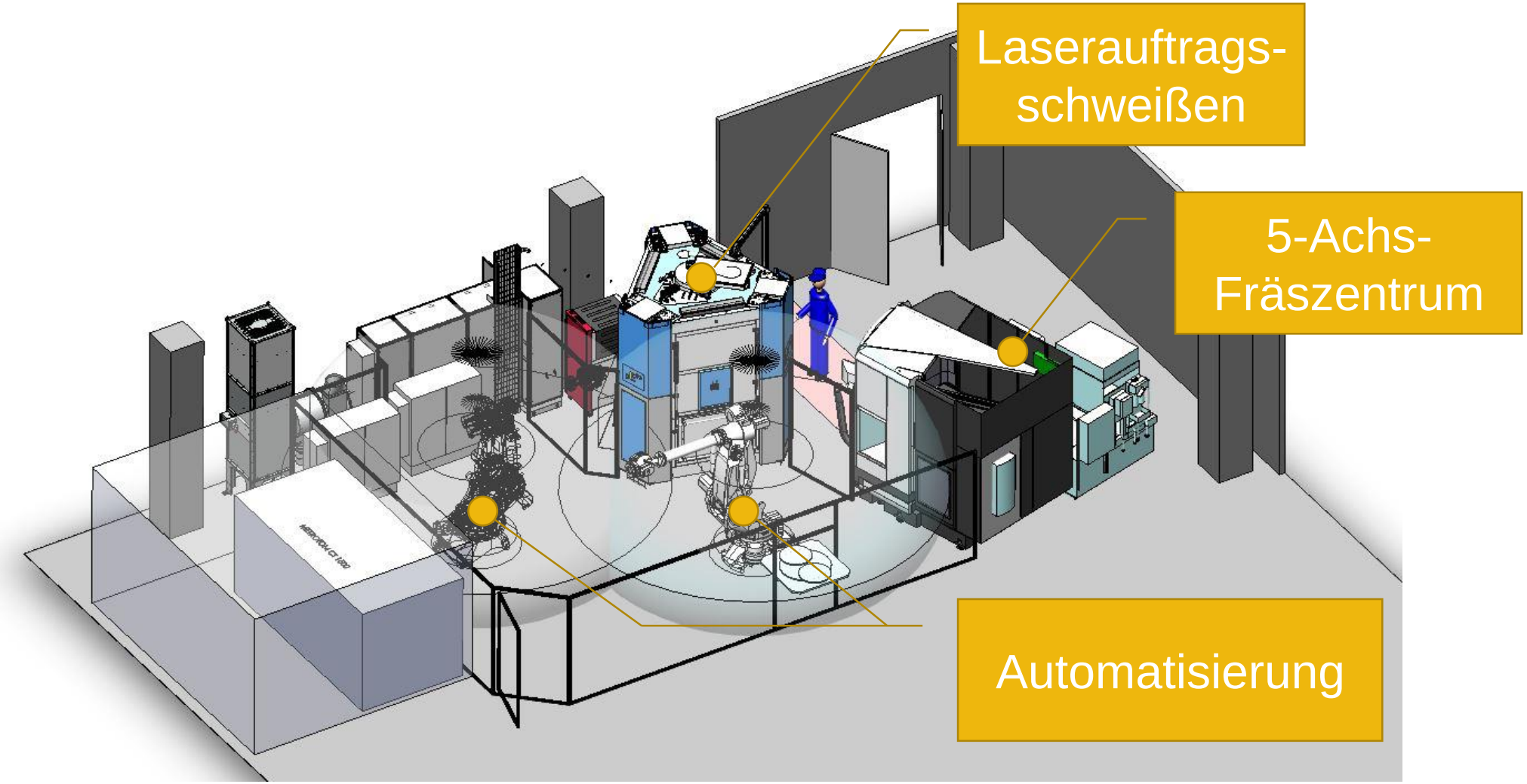
- Aufbereitung werthaltiger Produkte mit hohen Fertigungskosten

Radsatzdeckel bei Bahnanwendungen

- Verkürzte Lieferzeiten für Instandsetzung

Komponenten der Brennstoffzelle

Layout Inspektions- und Remanufacturingzelle



Anlagenkomponenten

Kombination aus Auftragen, Abtragen, Sensorik und Automatisierung

- 5-Achs-Fräszentrum für spanende Vor- und Nachbearbeitung
- Laserauftragsschweißen
  - EHLA-Prozess (Extremer Hochgeschwindigkeits Laser-Auftragsschweißprozess)
  - Pulverbasiertes Laserauftragsschweißen inkl. Multi-Material-System
  - 5-Achs-Synchron-Bearbeitung
- Integrierte Multi-Sensorik für Messungen
  - Quotienten Pyrometer
  - Quass Optimizer 4D (akustische Emissionen)
  - 4D Weldwatcher (optische Emissionen)
  - OCT-Sensor
  - 3D-Laserscanner
- Automatisierung
  - Bauteilhandling über Palette mit Industrieroboter
  - Durchgängige CAD/CAM-Kette
- Umfangreiche Anlagentechnik im Wert von 2,2 Mio. €

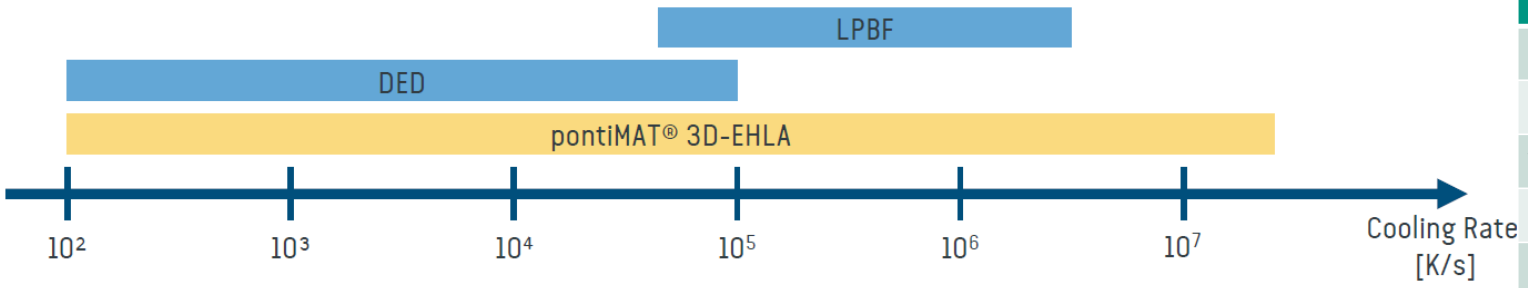
Schematische Maschinenkonfiguration

Einzelkomponenten

Laserauftragsschweißen mittels EHLA

- < 20 µm Oberflächenrauhigkeit
- 1.000 cm²/min Beschichtungsrate
- 600 cm³/h Aufbaurate
- 500 µm minimale Wandstärke
- In-Situ-Mischung von bis zu 8 Pulvern
  - Kein Vorlegieren oder Trockenmischen erforderlich
  - Legierungsentwicklung in einem Baujob
  - Metallmatrix-Verbundwerkstoffe möglich
  - Übertrag der Erkenntnisse auf den PBF-LB-Prozess

https://www.youtube.com/watch?v=Pw79Yi4lFvc



Prozessgrößen und Ergebnisse	DED	EHLA	Faktor
Prozessgeschwindigkeit	0,5 – 4 m/min	bis zu 200 m/min	50 - 400
Oberflächenrate	1 – 100 cm²/min	> 1000 cm²/min	10 - 1000
Wärmeeinflusszone	500 – 1000 µm	< 10 – 50 µm	10 - 100
Mögliche Schichtdicke	> 500 µm	50 – 500 µm	1 - 10
Oberflächenrauigkeit	100 – 200 µm	10 – 20 µm	10

Einzelkomponenten

Fräsmaschine und Automatisierung

Fräsmaschine

- 5-Achs Fräszentrum
- Innere Kühlmittelzufuhr
- Daten aus der Zerspanung über Siemens Edge

DMG

DMG MORI

www.dmgmori.com

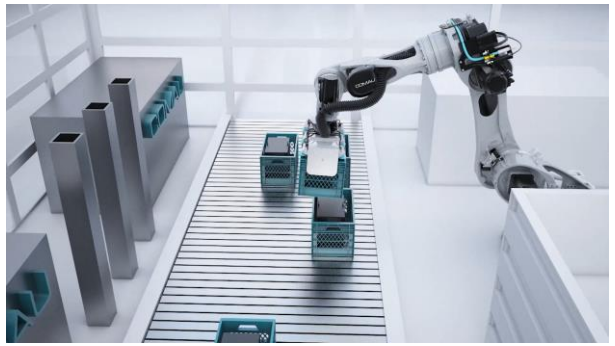
https://www.youtube.com/watch?v=G_VMCBaVCLY

Zusammenfassung Fräsmaschine
Betrachtung der Wechselwirkung AM/Zerspanung und Einfluss der Legierung auf Zerspanung möglich, außerdem 5-Achs-Bearbeitung (Vor- und Nachbearbeitung) komplexer Remanufacturing-Bauteile

Automatisierung

Comau

- Durchgängige CAD/CAM-Kette
- Automatische Werkzeugweggenerierung auf Basis von 3D-Scandaten
- Modularer Softwareaufbau ➔ Offene Schnittstellen für technologiespezifische Prozessstrategien
- Bauteilhandling über Roboter
  - Palettensystem inkl. Nullpunktspannsystem
- Bauteilanalyse robotergeführt über Laserscanner



https://www.youtube.com/watch?v=ENhfuHArda0

Zusammenfassung Automatisierung
Vollautomatisiertes Bauteilhandling für wirtschaftliche Fertigung und Remanufacturing

Fragestellungen in Forschung und Entwicklung

SFB-Initiative Kreislauffabrik

Karlsruher Institut für Technologie

Remanufacturing

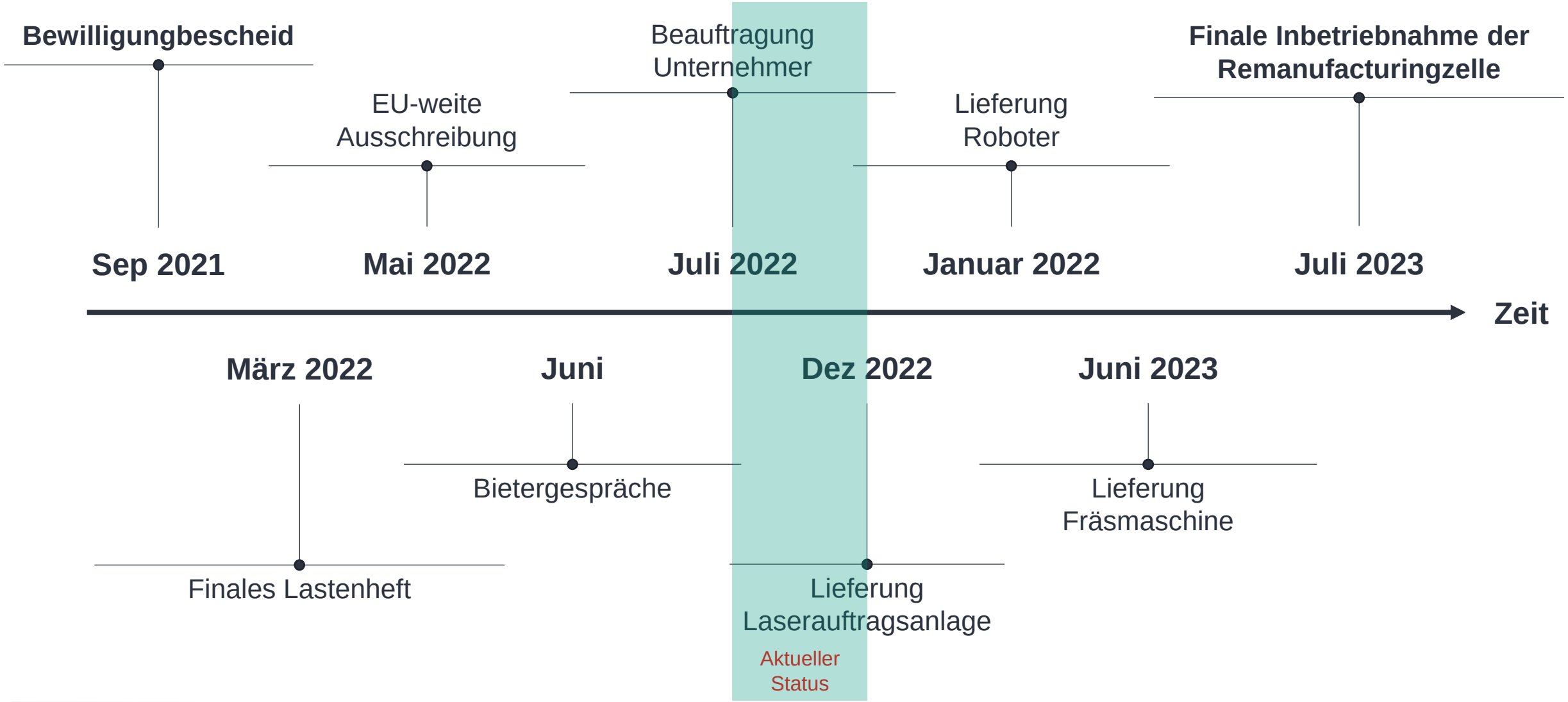
- Bauteilüberholung und -optimierung
  - Weiterer Bauteillebenszyklus
  - **Bauteiloptimierung** durch verbesserte Eigenschaften (z.B. Materialanpassung oder Schutzschichten)
- **Ressourceneffizientes** Remanufacturing
  - Wirtschafliches Laserauftragsschweißen durch EHLA-Verfahren
  - Hohe Bauteilvielfalt durch 5-achsiges Laserauftragen und Zerspanung
- Betrachtung der **Wechselwirkungen** von **additiver Fertigung** mittels pulverbasiertem Laserauftragsschweißen und **Zerspanung**
  - Effekte der Prozessstellgrößen zwischen den Bearbeitungen

Autonomisierung

- **Multi-Sensorik** zur hauptzeitparallelen Prozessüberwachung
  - Anpassung der Stellgrößen im Prozess
  - Digitale in-process Qualitätssicherung
- Vollautomatisierte Integration des Bearbeitungszentrums in **automatisierten Bauteilworkflow** (Software-Defined-Manufacturing)
  - Nutzung von Punktewolken zur digitalen Defektdetektion von Bauteildefekten
  - KI-basierte Werkzeugbahnplanung auf Basis optischer Bauteilbefundung
- **Automatisierte Befundung** mit optischer Sensorik durch Roboter

Weltweit einzigartiges autonomes Remanufacturing durch KI-basierten Bauteilworkflow mittels in-process sowie off-process Datenaufnahme durch Multi-Sensorik

Zeitplan InRePro



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung als Teil der Reaktion der Union auf die COVID-19-Pandemie finanziert

wbk Institut für Produktionstechnik

KIT Karlsruher Institut für Technologie

Dr.-Ing. Frederik Zanger
KIT-Nachwuchsgruppenleiter
Tel.: +49 1523 9502633
E-Mail: Frederik.Zanger@kit.edu

Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza
Institutsleiterin Produktionssysteme
Tel.: +49 721 60844017
E-Mail: Gisela.Lanza@kit.edu

Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND KUNST

wbk Institut für Produktionstechnik
Kaiserstraße 12
76131 Karlsruhe
https://www.wbk.kit.edu/