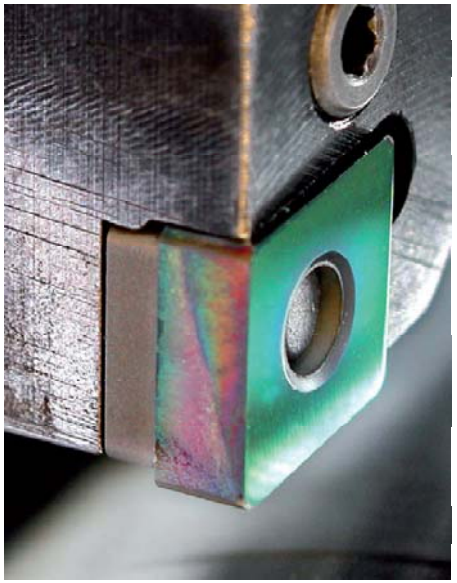
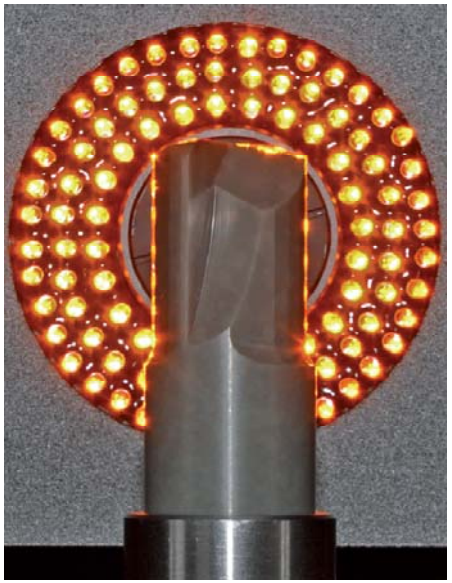
André Bergmann / Kamilla Urban

Potentiale des „Selective Laser Melting“

Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

iwf
INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Agenda

- **Vorstellung SLM**
  - Grundlagen
  - Potentiale
  - Werkstoffe
  - Anlage
- **Aktuelle Projekte**
  - Projekt: FEMRO
  - Markt- und Trendanalyse Strahlschmelzen
- **Zukünftige Forschungsvorhaben**

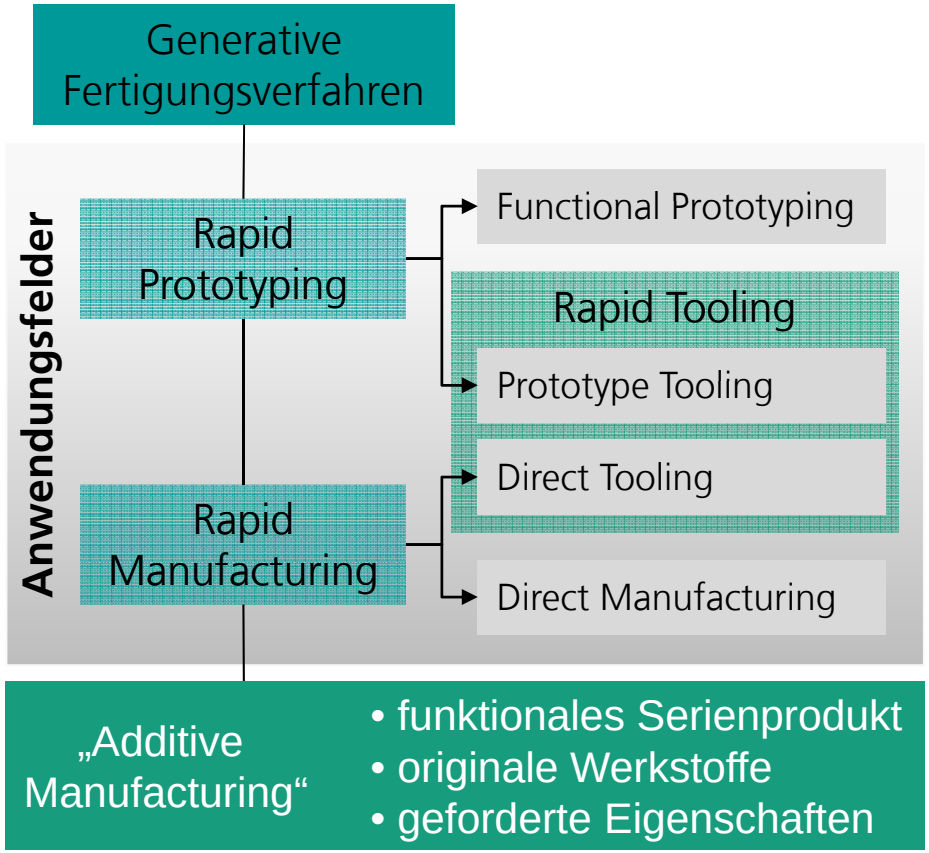
Selective Laser Melting (SLM)

Vorstellung

Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

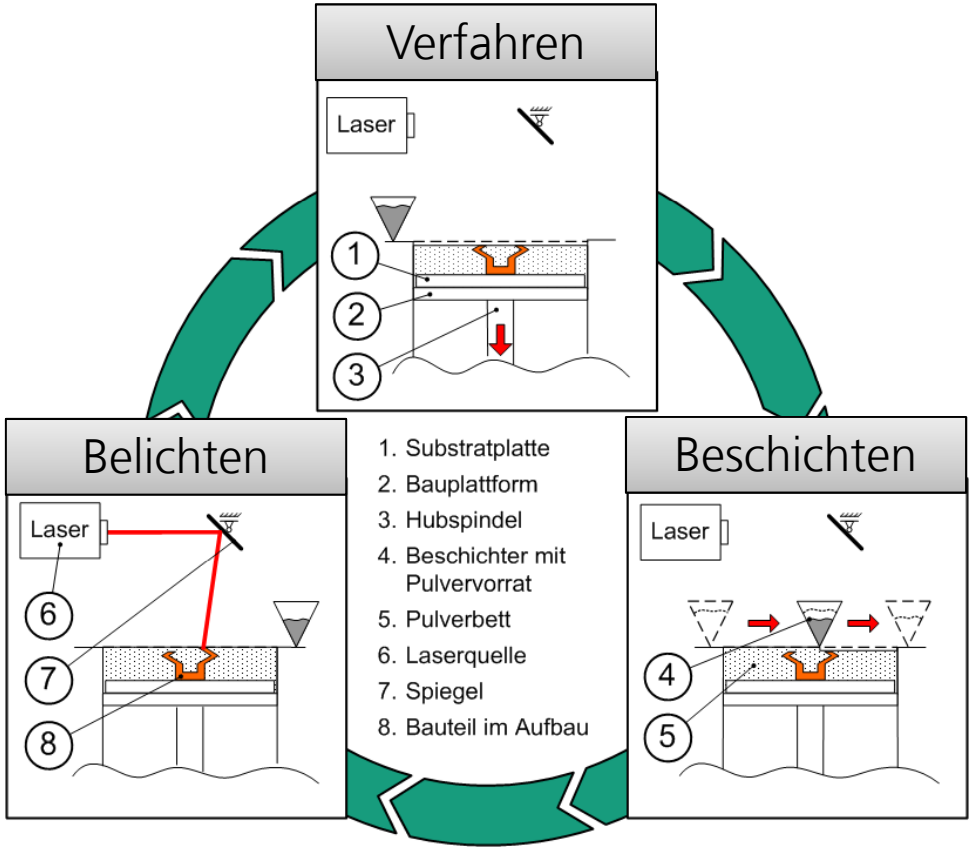
Selective Laser Melting - Grundlagen



Technologieeinordnung

- *Rapid Prototyping*
  - Herstellung von Konzept-, Geometrie-, Funktionsprototypen in Form und Haptik
- *Rapid Tooling*
  - generative Fertigung für den Bau von Werkzeugen und Form
  - Anwendung: Greifern und Vorrichtungen für die robotergestützte/manuelle Montage
- *Rapid Manufacturing*
  - Generative Herstellung von Endprodukten
  - Material und Konstruktion sind identisch dem des Endprodukts
  - Anwendung: Implantate, Spritzgusseinsätze

Selective Laser Melting - Grundlagen



Verfahrensprinzip

- 3 sich wiederholende Verfahrensschritte
- *Verfahren*
  - Absenken der Bauplattform um eine Schichtdicke
- *Beschichten*
  - Auftragen der Metallpulverschicht
- *Belichten*
  - Aufschmelzen der Metallpulverschicht mittels Laser

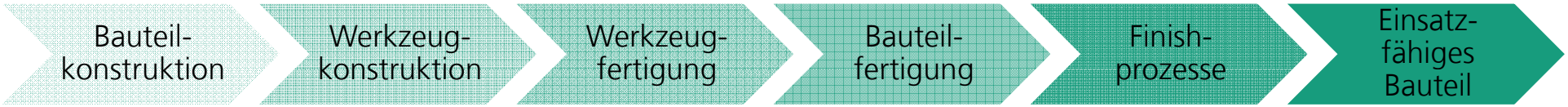
Selective Laser Melting - Potentiale

Potentiale der generativen Fertigungstechnik

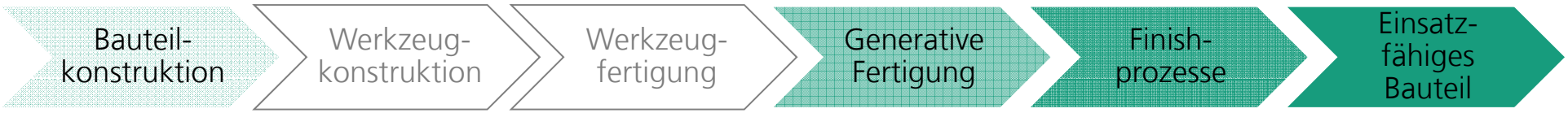
- Laserbasiertes urformendes Fertigungsverfahren
- Herstellung von Bauteilen direkt aus CAD-Daten und Metallpulver
- Erzeugung von einsatzfähigen Produkten nicht nur von Prototypen
- Hohe Gestaltungsfreiheit der Bauteilgeometrie
- Volumen- nicht geometrieabhängige Stückkosten
- Keine kostenintensiven Abformwerkzeuge
- Wirtschaftliche Fertigung individualisierter Produkte bis Losgröße 1
- Fertigung unterschiedlicher Bauteile in einem Bauprozess
- Generierung von Bauteilen aus schwer zerspanbaren Werkstoffen
- Integration verschiedener Funktionen in einem Bauteil, dadurch Vermeidung von Montageprozessen

Selective Laser Melting - Prozesskettenvergleich

Konventionelle Fertigung



Fertigung mittels Selective Laser Melting (SLM)



- **Erzeugung des CAD-Modells**
- **Export von STL**
- **Slicen**
- **Hatchen**

- **SLM-Prozess**
  - Verfahren
  - Beschichten
  - Belichten

- **Reinigen**
- **Zerspanen**
- **Abtragen**
- **Stoffeigenschaften ändern**

- **Bauteil**
- **Produkt**

Selective Laser Melting - Anlage

Anlage am Fraunhofer IPK

- SLM - Anlage SLM 250^{HL} der Fa. MTT
  - Generative Schichtbauverfahren, für metallische Legierung

» Bauraum :	250 mm x 250 mm x 350 mm
» Laser (cw):	400 W
» Fokusdurchmesser:	70 … 300 µm
» Schichtdicken:	20 … 100 µm
» Korngröße:	10 … 65 µm
» Baugeschwindigkeit:	5 … 20 cm³/h
» Porosität:	max. 0,03 %
» Toleranzen:	± 50 µm (x, y, z)
» Oberflächengüte:	$Rz_{Horizontal}$ = 56 µm, $Rz_{Vertikal}$ = 72 µm

Selective Laser Melting - Werkstoffe

Qualifizierte Materialien

- Edelstahl : 1.4404, 1.4410
- Werkzeugstahl: 1.2709, 1.2344
- Titan: TiAl6V4, TiAl6Nb7
- Ko-Cr-Legierung: Co212f
- Aluminium: AlSi10Mg, AlSi12Mg
- Nickelbasislegierung: Inconel 625, Inconel 718, Inconel HX

- *Neuqualifizierung* mittels systematische Prozessuntersuchungen mit dem Werkstoff
  - Variable Prozessparameter: Spurabstand, Strahldurchmesser, Belichtungsgeschwindigkeit
  - Teilvariable Parameter: Laserleistung, Belichtungsstrategie, Plattformtemperatur

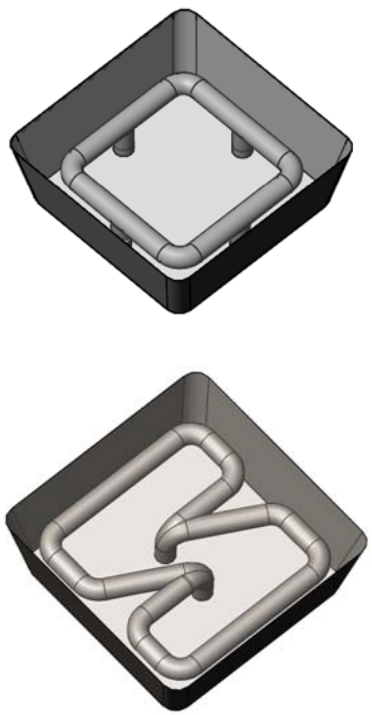
Selective Laser Melting (SLM)

Aktuelle Projekte

Fraunhofer IPK
INSTITUT
PRODUKTIONSANLAGEN UND
KONSTRUKTIONSTECHNIK

INSTITUT
WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Aktuelles Projekt - FEMRO

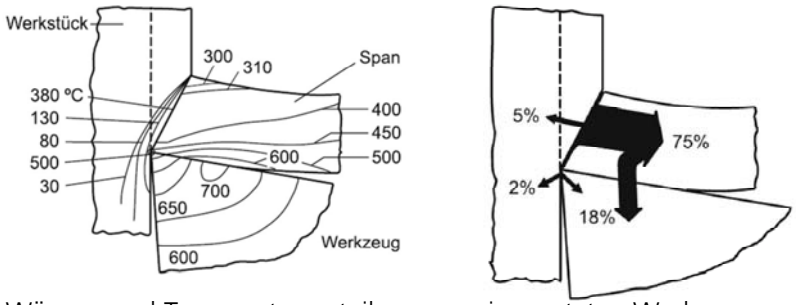


Wendescheidplatten mit Innenkühlung

FEMRO - Flexibler und effizienter Einsatz von MRO-Betriebsmitteln

- Wirtschaftliche Herstellung von Sonder-und Kombinationswerkzeugen kleiner Stückzahl mittels generativer Fertigungstechnologien
- Ziele
  - Optimierung der Prozessparameter des SLM-Verfahrens
  - Analyse der Werkstoffeigenschaften generativ erzeugter Zerspanwerkzeuge
  - Standzeiterhöhung und Produktivität der generativen Werkzeuge
- Zwischenergebnisse
  - Systemanalyse und Einstellung von Anlagenparametern
  - Werkstoffauswahl und Anpassung der Prozessparameter
  - Konstruktion und Simulation des innengekühlten Werkzeugs
  - Generative Fertigung, Validierung und Optimierung

Aktuelles Projekt - FEMRO



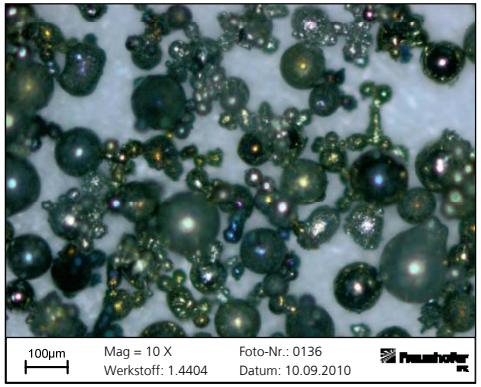
Wärme- und Temperaturverteilung am eingesetzten Werkzeug
[Quelle: W.König: Fertigungsfaharen, Band 1, VDI-Verlag,1990]

Screening auf Basis der Randbedingungen

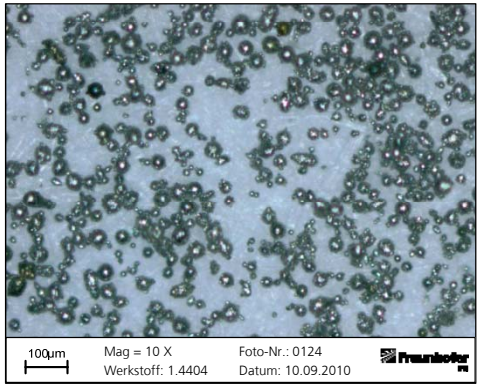
- Qualifizierte Werkstoffe → keine typischen Werkstoffe für Zerspanwerkzeuge
- Randbedingung: Werkstückwerkstoff GJL-250
- Nachweis der Kühlwirkung durch integrierte Kühlkanäle im Werkzeug
- Untersuchung mittels Strömungssimulation und experimentelle Validierung
- Werkzeugwerkstoff
  Schnellarbeitsstahl: HS6-5-2-5 (1.3243)

Werkstoff-nummer	Härte	Wärmeleit-fähigkeit	Dichte
	HRC	[W/mK]	[kg/dm³]
1.3243	63-66	19	8,1

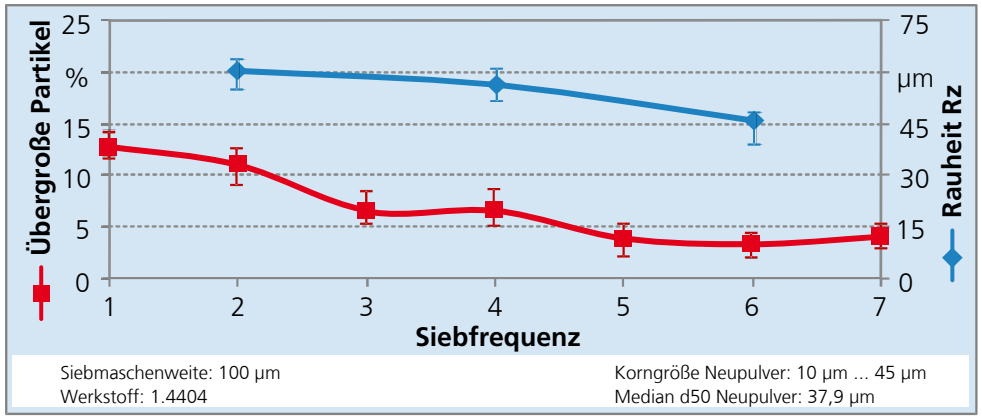
Aktuelles Projekt - Zusammenhang zwischen Pulver- und Bauteilqualität



Spritzer und Pulverkonglomerate



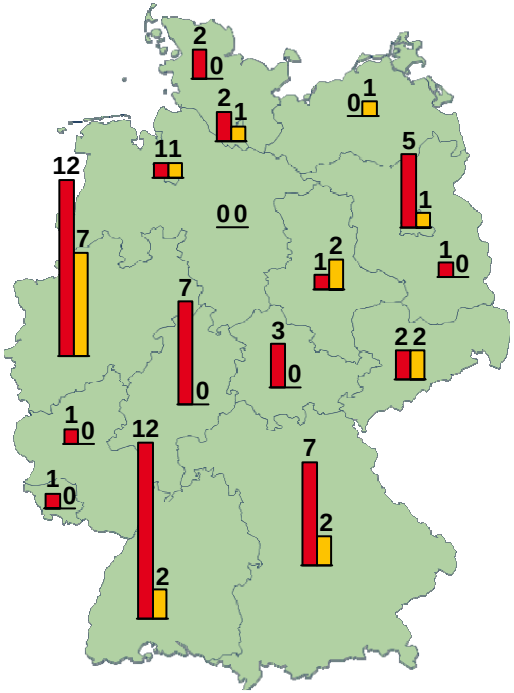
Aufbereitetes Pulver (F_{Sieb} = 6)



- Kornverteilung Neupulver: 10 µm … 45 µm
- Veränderung der Verteilung durch SLM-Prozess
- Schmelzspritzer und Pulverkonglomerate von bis zu 200 µm Durchmesser
- Siebfrequenz hat massiven Einfluss auf Masse übergroßer Partikel im Pulver
- Bestes Siebergebnis bei Siebfrequenz Nr. 6
  - Gesiebtes Pulver enthält nur noch rund 3 % übergroße Partikel.
  - Bauteile aus so aufbereitetem Pulver weisen Oberflächen mit Rauheiten $Rz_{Horizontal}$ von rund 45 µm auf.

Pulverqualität hat enormen Einfluss auf die Rauheit erzeugter Bauteile.

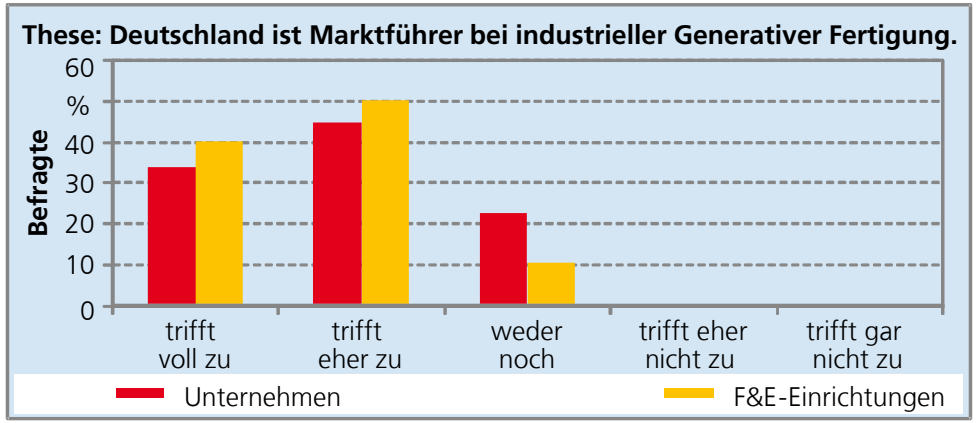
Aktuelles Projekt - Markt- und Trendanalyse

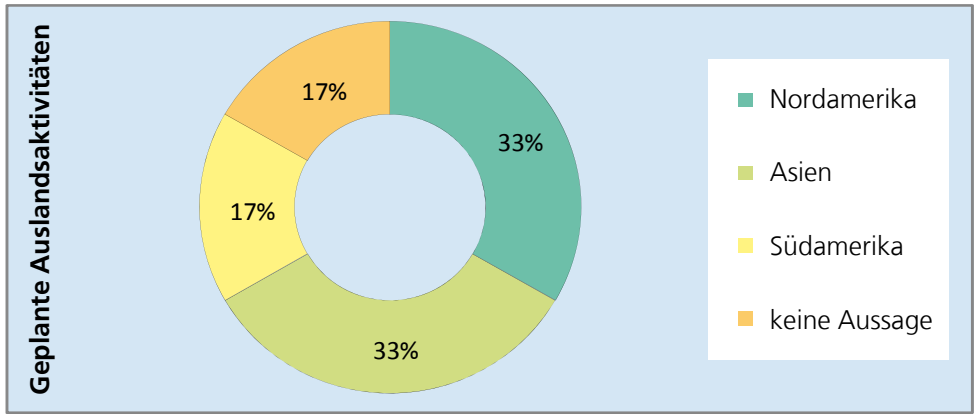


Rahmenbedingungen der Analyse und Sitz der Marktteilnehmer

- Kontaktierte Einrichtungen
  - 57 Unternehmen
  - 19 Forschungseinrichtungen
- Rücklaufquote von 37 %
- Betätigungsfeld teilnehmender Einrichtungen
  - Anlagenhersteller
  - Pulverhersteller
  - Dienstleister und Anwender
  - Forschungseinrichtungen

Aktuelles Projekt - Markt- und Trendanalyse



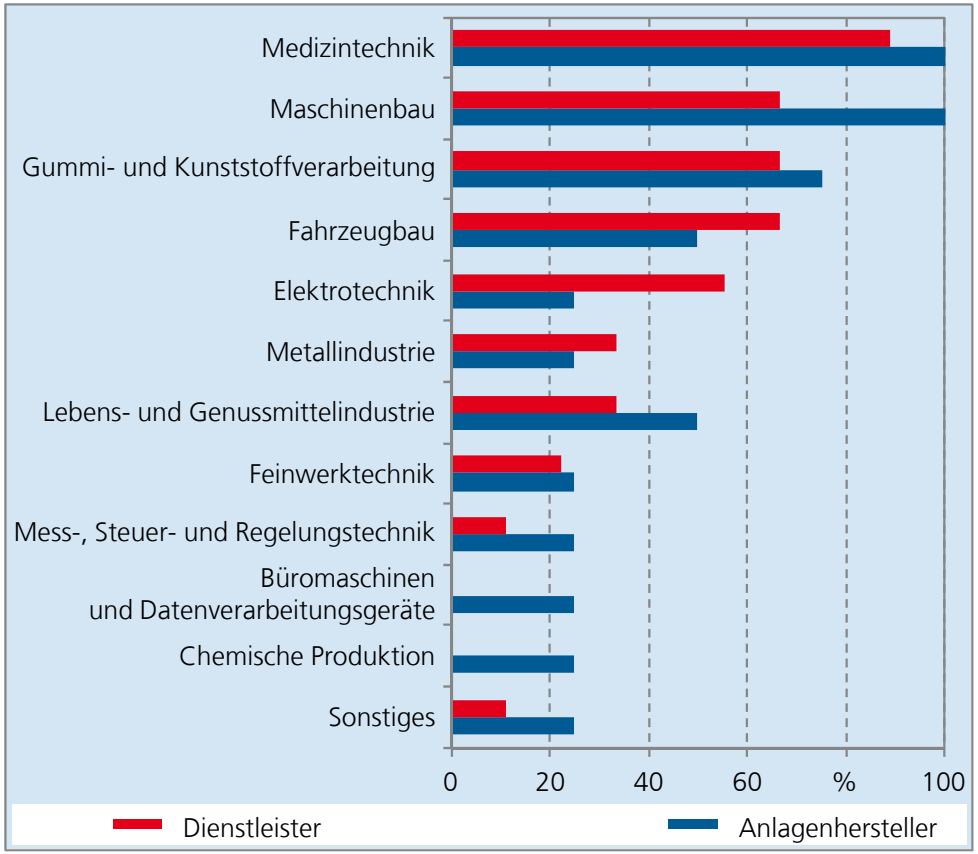


Standort Deutschland und Auslandsaktivitäten

- These: Deutschland ist Marktführer auf dem Gebiet industrieller Generativer Fertigung.
  - Zustimmung von 77 % Unternehmen und 90 % F&E-Einrichtungen
- 60 % der Unternehmen kooperieren mit F&E-Einrichtungen
- 67 % der Unternehmen sind / waren an öffentlich geförderten Projekten beteiligt
- Angestrebte Expansion in neue Märkte
  - Je 33 % Nordamerika und Asien
  - 17 % Südamerika

Deutschland ist Leitmarkt im Bereich der industriellen Generativen Fertigung.

Aktuelles Projekt - Markt- und Trendanalyse

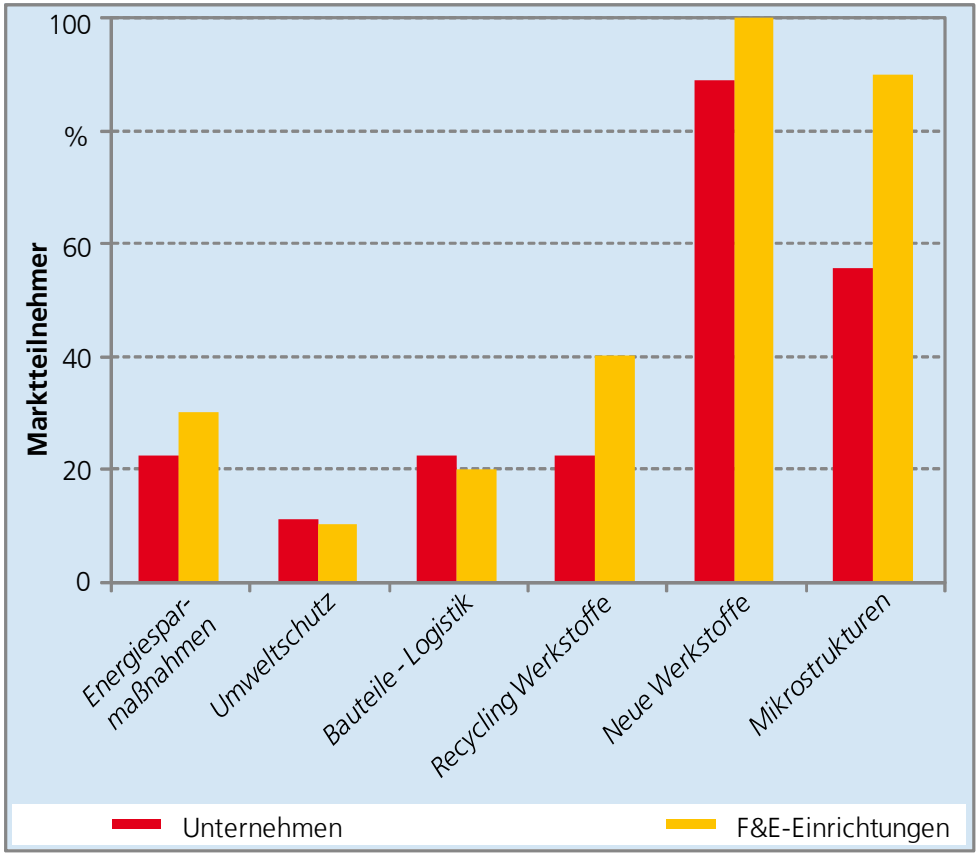


Absatzbranchen

- Hauptabsatzmärkte der Branche sind Medizintechnik, Maschinenbau, Gummi- und Kunststoffverarbeitende Industrie, Fahrzeugbau
- Veränderung der Branchenstruktur
  - 67 % der Dienstleister liefern heute in die gleichen Branchen wie bereits vor 5 Jahren
  - Große Zuwächse in der Medizintechnik und der Gummi- und Kunststoffverarbeitenden Industrie
  - 78 % der Dienstleistungen in den Bereichen Rapid Prototyping und Rapid Manufacturing

Die Potentiale des Verfahrens werden neue Anwendungsfelder erschließen.

Aktuelles Projekt - Markt- und Trendanalyse



Herausforderungen Strahlschmelzen

- Hohe Übereinstimmung zwischen Aussagen von Unternehmen und F&E-Einrichtungen
- Gute Kommunikation in der Branche
- Marktwachstum durch:
  - Entwicklung und Qualifizierung neuer Werkstoffe
  - Erhöhung der Bauteilgenauigkeit und Erzeugung von Mikrostrukturen
  - Logistikverbesserung von SLM-Prozessen
  - Traceability von Bauteilen
  - Recycling und Energiesparmaßnahmen

Größte Zuwächse in den Bereichen neue Werkstoffe und Mikrostrukturen erwartet.

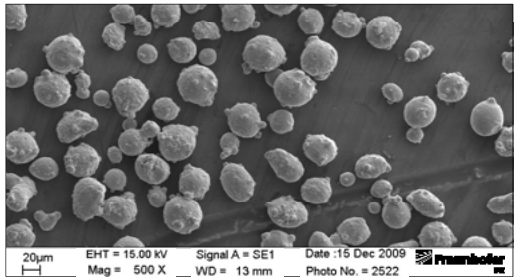
Selective Laser Melting (SLM)

Zukünftige Forschungsvorhaben

Fraunhofer IPK
INSTITUT
PRODUKTIONSANLAGEN UND
KONSTRUKTIONSTECHNIK

INSTITUT
WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Zukünftige Forschungsvorhaben



Geplante Forschungs- und Entwicklungsprojekte

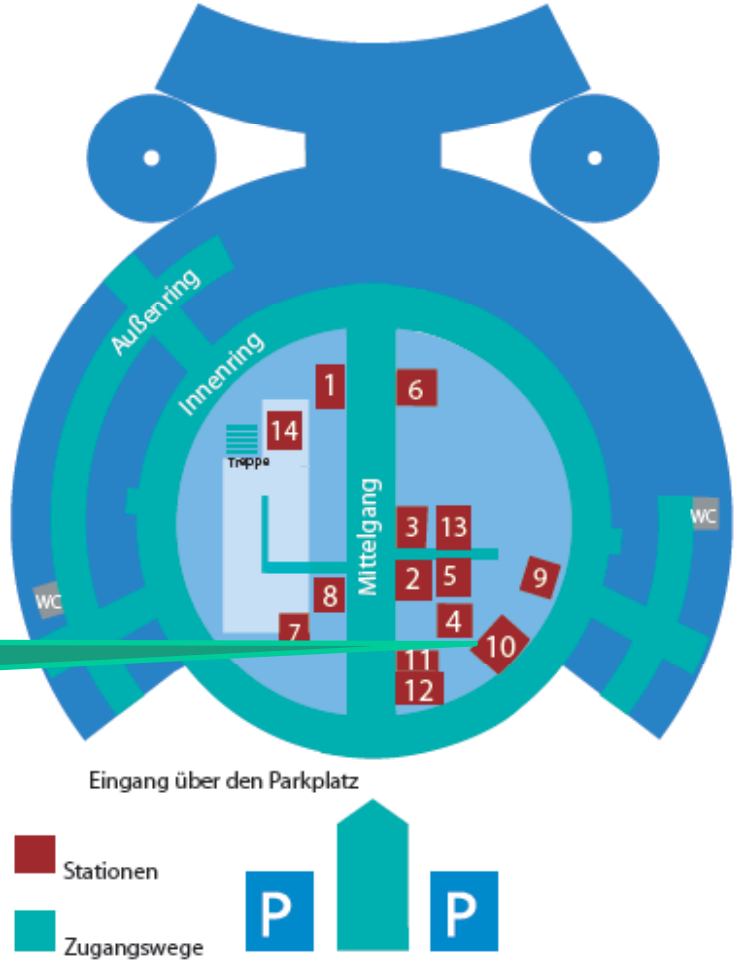
- Entwicklung und Qualifizierung neuer Werkstoffe
- Bauteile
  - Wiederaufbau verschlissener Komponenten
  - Gezielte Einstellung von Bauteileigenschaften
  - Zusammenhang zwischen der Pulverqualität und den physikalischen Eigenschaften generierter Bauteile
- Werkzeuge
  - Entwicklung innengekühlter Ur-, Umform- und Zerspanwerkzeuge
- Anpassung und Weiterentwicklung des Systems
  - Abgleich von STL-Daten und Werkstückpositionen
  - Verbesserung von Prozessüberwachung und -parametern
  - Erhöhung der Prozesssicherheit durch verbessertes Prozessverständnis

Zukünftige Forschungsvorhaben

Unser Angebot – Ihr Nutzen

- Beratungs-, Forschungs- und Entwicklungsleistung im Bereich
  - Werkstoffe
  - Beurteilung der Bauteilgeometrie und ihre Optimierung
  - Fertigungsmethoden und -strategien
- Fertigung von Testgeometrien und Produkten bis hin zur Kleinserie
- Prüfung und Analyse erzielter Bauteil- und Werkstoffeigenschaften
- Machbarkeits- und Potentialanalysen
- Systemintegration und Anbindung des SLM-Verfahrens in bestehende Fertigungsketten
- Qualifizierung neuer Werkstoffe für das SLM-Verfahren

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Institut
Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik
Kamilla Urban / André Bergmann
Pascalstr. 8-9
10587 Berlin
Tel.: 030 / 3 90 06-107
E-Mail: kamilla.urban@ipk.fhg.de
andre.bergmann@ipk.fhg.de

Versuchsfeld: Station Nummer 10