Neue Möglichkeiten zur additiven Fertigung von metallischen Mikrobauteilen

Michael Kniepkamp
Dresden | 12. November 2015

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

TU DARMSTADT

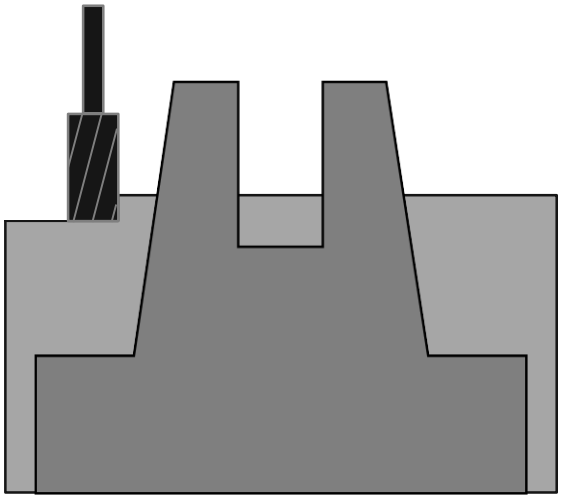
Bildquelle: 3D MicroPrint GmbH

Agenda

- Einführung in die additive Fertigungsverfahren und den SLM Prozess
- Vergleich von SLM und µSLM Prozess
- Mechanische Eigenschaften beim µSLM
- Oberflächenqualitäten beim µSLM
- Beispielbauteile
- Zusammenfassung

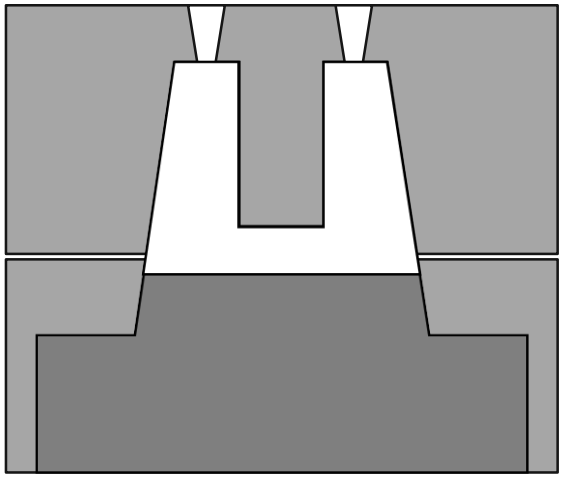
Was ist additive Fertigung ?

Abtragende Prozesse



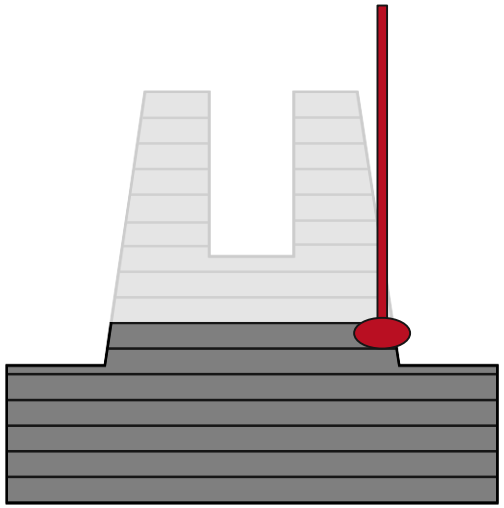
- Entfernen von Material
- „top down“ Prinzip
- Aus Halbzeugen
- Benötigt Werkzeuge

Formative Prozesse



- Teil in einem Schritt gegossen
- Verflüssigtes Ausgangsmaterial
- Benötigt Formwerkzeuge

Additive Prozesse

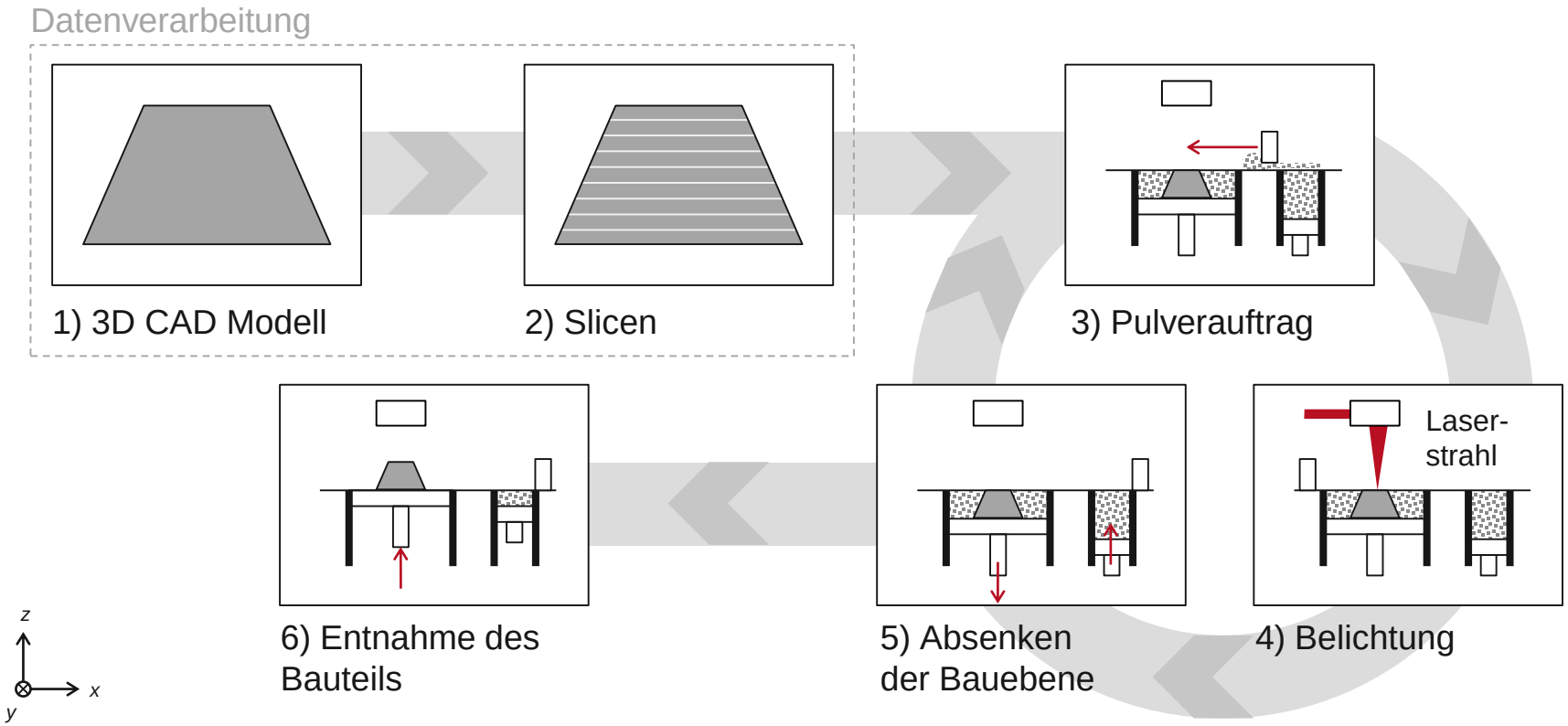


- Schichtweises Auftragen von Material
- „bottom up” Prinzip
- Benötigt keine zusätzlichen Werkzeuge

Pulverbett basiertes Verbinden Begriffsdefinitionen

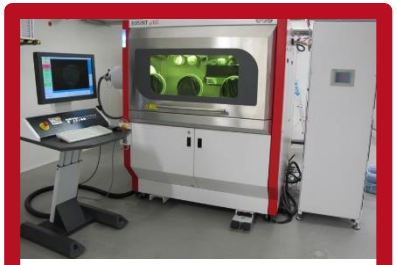
	Abkürzung	Bezeichnung	Kunststoff	Metall
VDI 3404	LS	Laser-Sintern / laser sintering	x	x
	LBM	Laserstrahlschmelzen / laser beam melting		x
	EBM	Elektronenstrahlschmelzen / electron beam melting		x
Markenbezeichnungen	SLM	Selektives-Laser-Schmelzen / selective laser melting		x
	SLS®	Selektives-Laser-Sintern / selective laser sintering	x	x
	SHS™	Selective Heat Sintering	x	
	DMLS®	Direktes Metall-Laser-Sintern / direct metal laser sintering		x
	LaserCUISING®			x
	DMP	Direct Metal Printing		x
	LMF	Laser Metal Fusion		x
	µSLM	**Mikrolaserschmelzen**		x

Prozessablauf Selektives Laserschmelzen



Quelle: eigene Darstellung nach Poprawe 2005

Aktuelle Trends in der Anlagenentwicklung



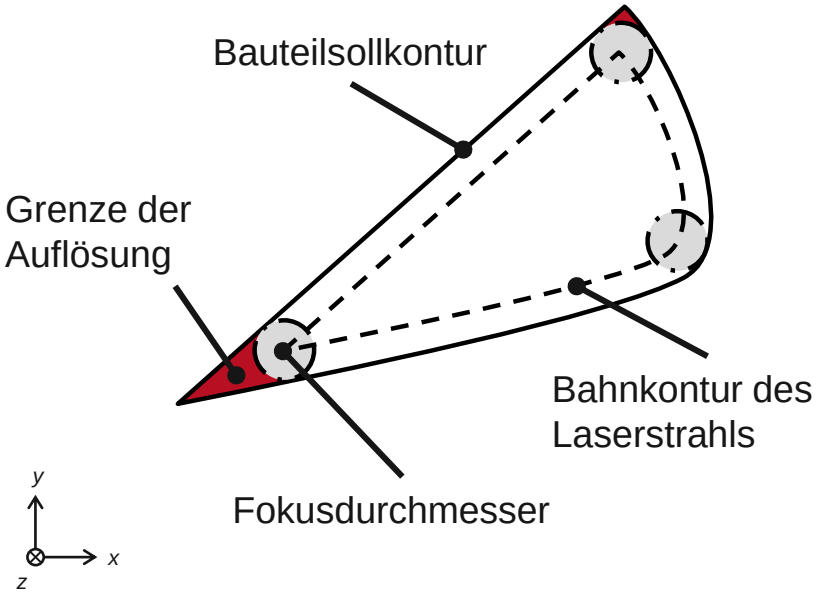
	Mikro-System	Standard System	Groß-System
Bauraum	Ø 60 mm	250 x 250 mm	500 x 500 mm
Schichtstärke	< 10 µm	20 – 100 µm	20 – 300 µm
Fokusdurchmesser	30 µm	80 – 180 µm	100 – 300 µm
Entwicklungsziel	Mikrobauteile		Größere Bauteile, höhere Aufbauraten

Bildquellen: EOS, Concept Laser

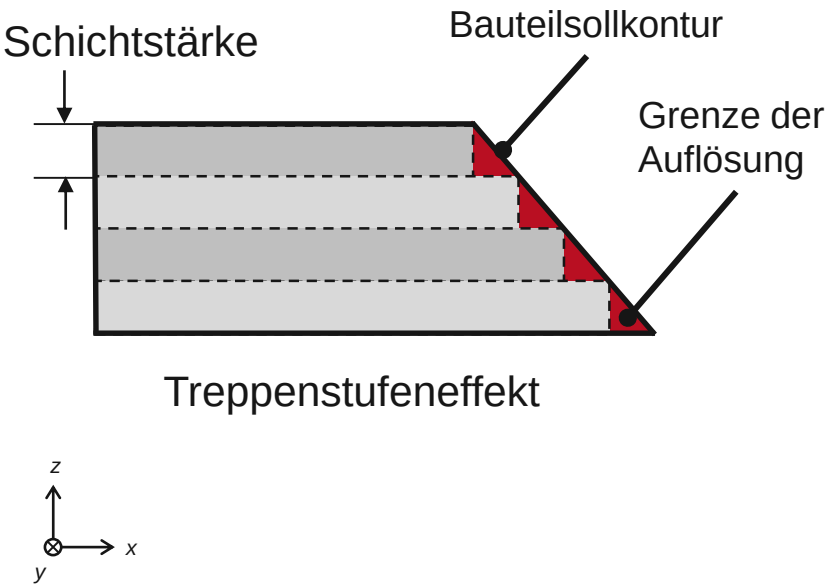
Auflösung beim Selektiven Laserschmelzen

TU DARMSTADT

Auflösung in XY-Richtung



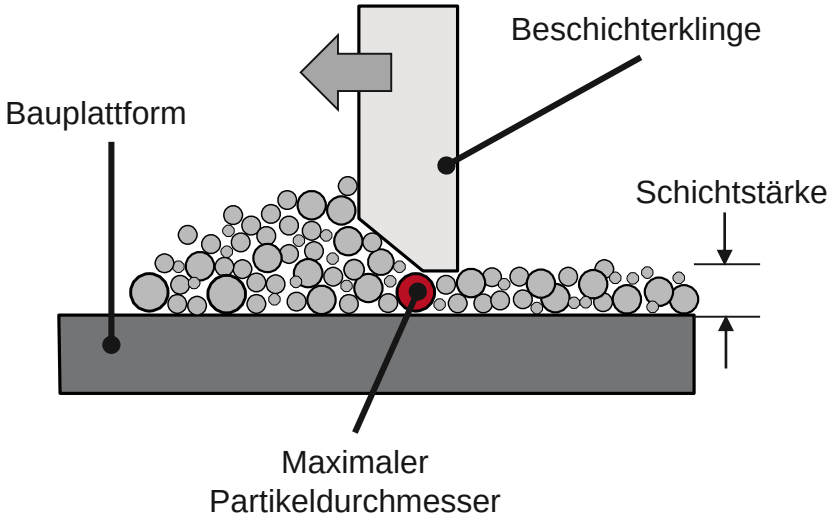
Auflösung in Z-Richtung



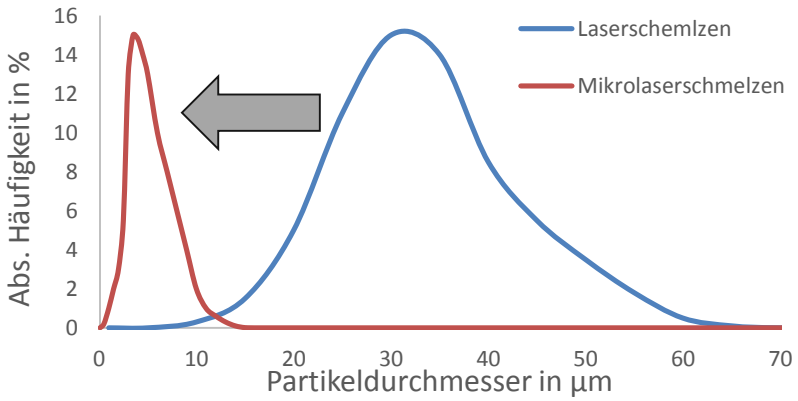
Herausforderungen beim Mikrolaserschmelzen

TU DARMSTADT

Pulverauftragsmechanismus



Partikelgrößenverteilung beim SLM und µSLM Prozess

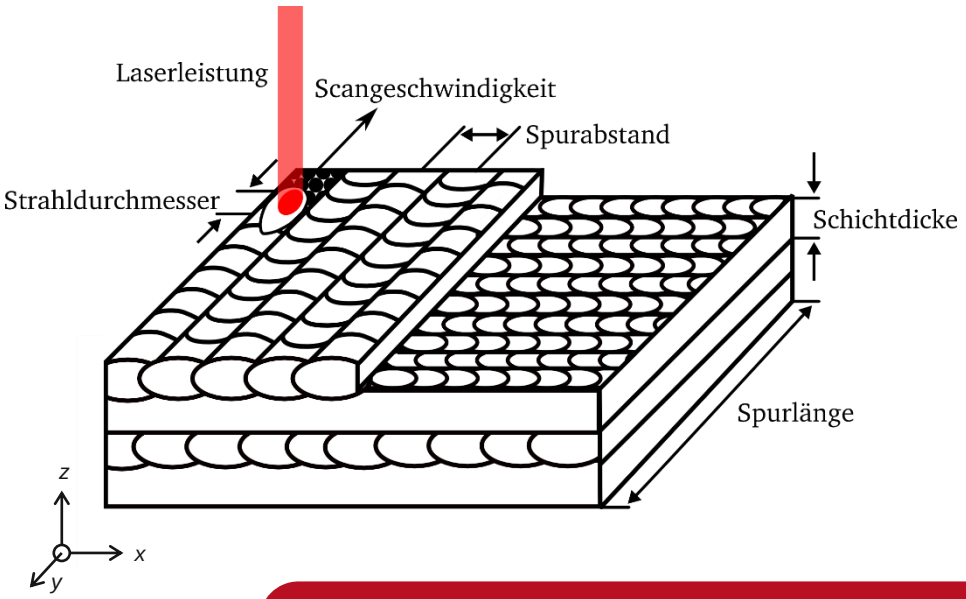


Mikrolaserschmelzen erfordert feinere Pulver, um kleinere Schichtstärken zu realisieren. Diese neigen jedoch zur Agglomeration, was eine Herausforderung beim Applizieren von diskreten Pulverschichten darstellt.

Prozessparameter beim SLM Prozess

TU DARMSTADT

Prozessparameter



Linienenergie

$$E_L = \frac{P_L}{v_s}$$

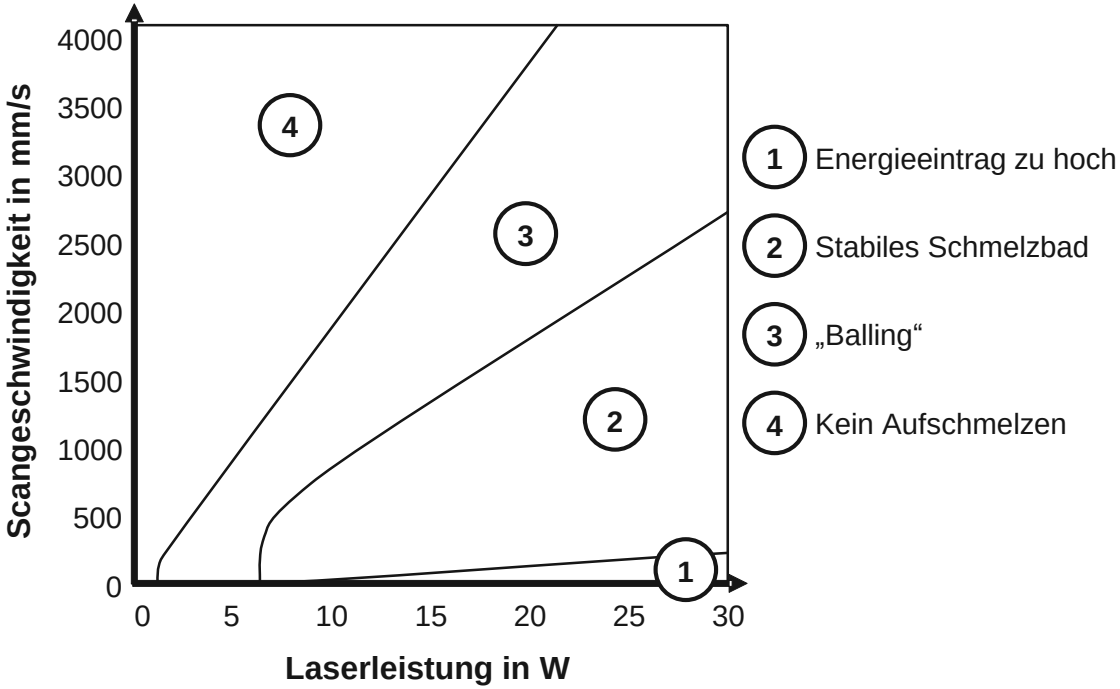
Flächenenergie

$$E_F = \frac{P_L}{v_s\, h_s}$$

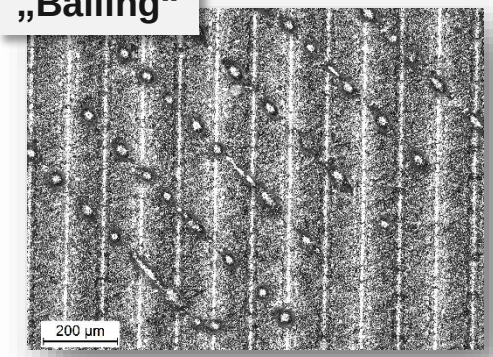
Als Ausgangswerkstoffe kommen einkomponentige Metallpulver zum Einsatz. Diese werden durch den Laserstrahl komplett aufgeschmolzen

Prozessfenster beim Mikrolaserschmelzen

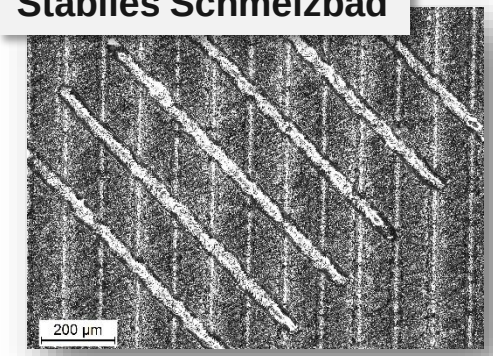
Prozessfenster beim µSLM für den Edelstahl ST 1.4404 / 316L



„Balling“

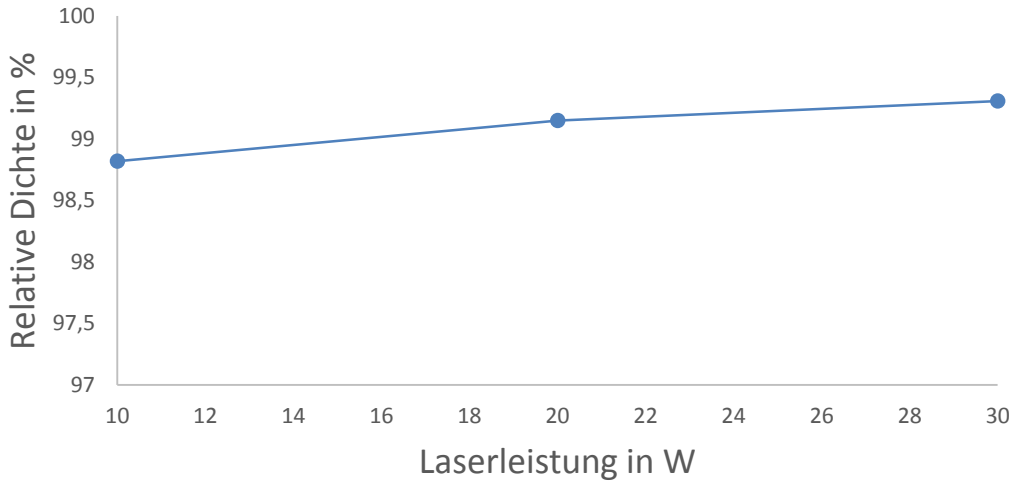


Stabiles Schmelzbad

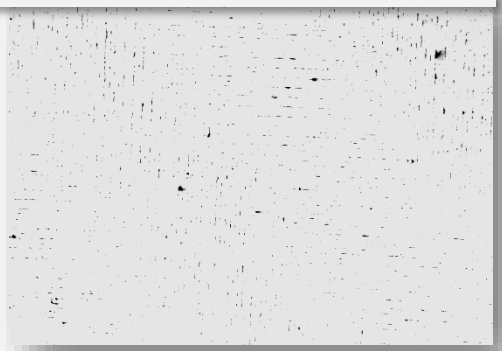


Mechanische Eigenschaften: Relative Bauteildichte

Relative Dichte archimedisch bestimmt bei konstanter Linienenergie



Schliffprobe 98,82 % rel. Dichte

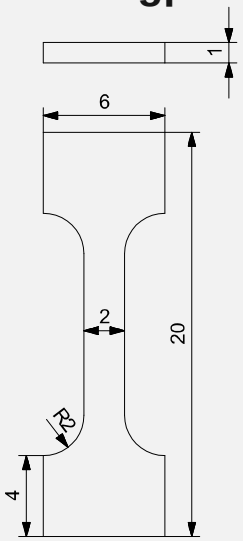


Schliffprobe 99,30 % rel. Dichte

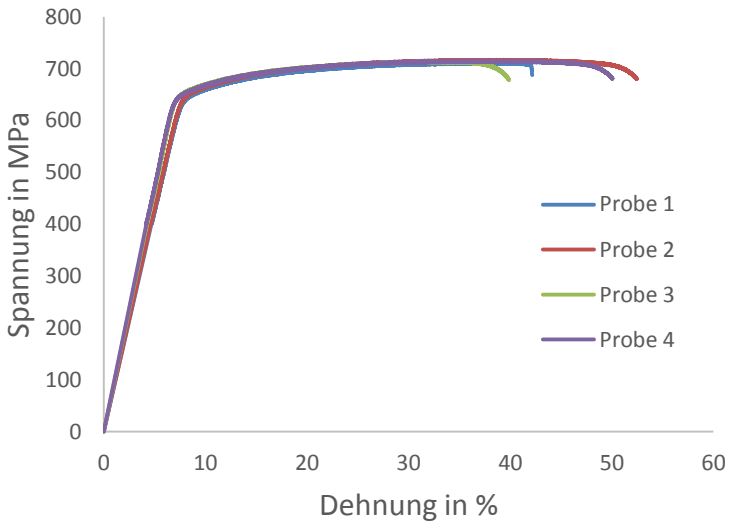
Ab einer Linienenergie von 0,05 J/mm können dichte Volumenkörper aufgebaut werden. Bei steigender Laserleistung können Dichten von mehr als 99 % erreicht werden

Mechanische Eigenschaften: Zugversuch

Mikro-Zugprobe



Spannungs-Dehnungs-Verlauf im Zugversuch

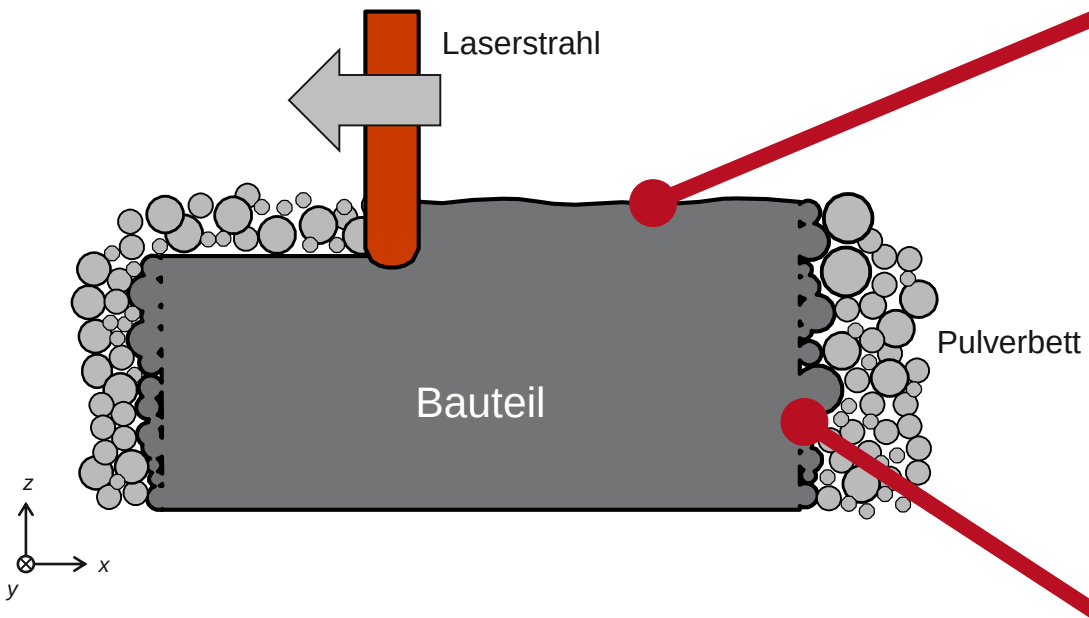


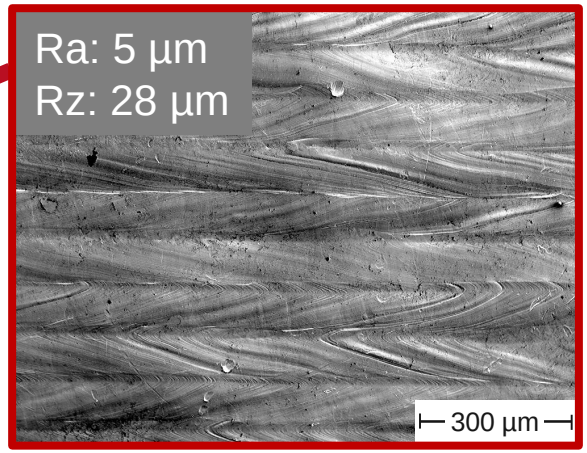
	µSLM	Konventionell
Zugfestigkeit [MPa]	710 – 714	500 – 700
Bruchdehnung	39 - 52	>40
Dehngrenze [MPa]	628 – 646	>200

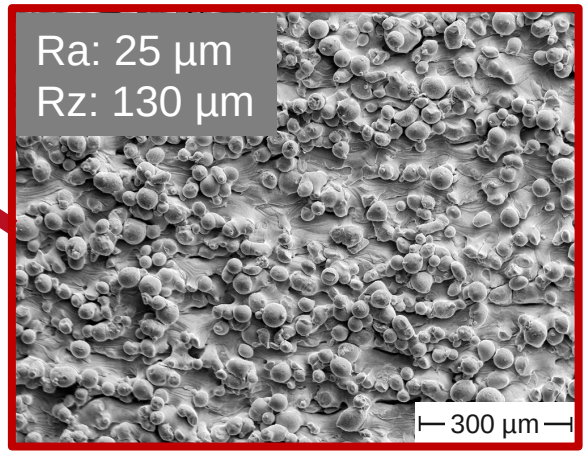
Mechanische Eigenschaften vergleichbar zu konventionell hergestellten Bauteilen.

Oberflächenqualität SLM

Aufschmelzverhalten beim SLM Verfahren

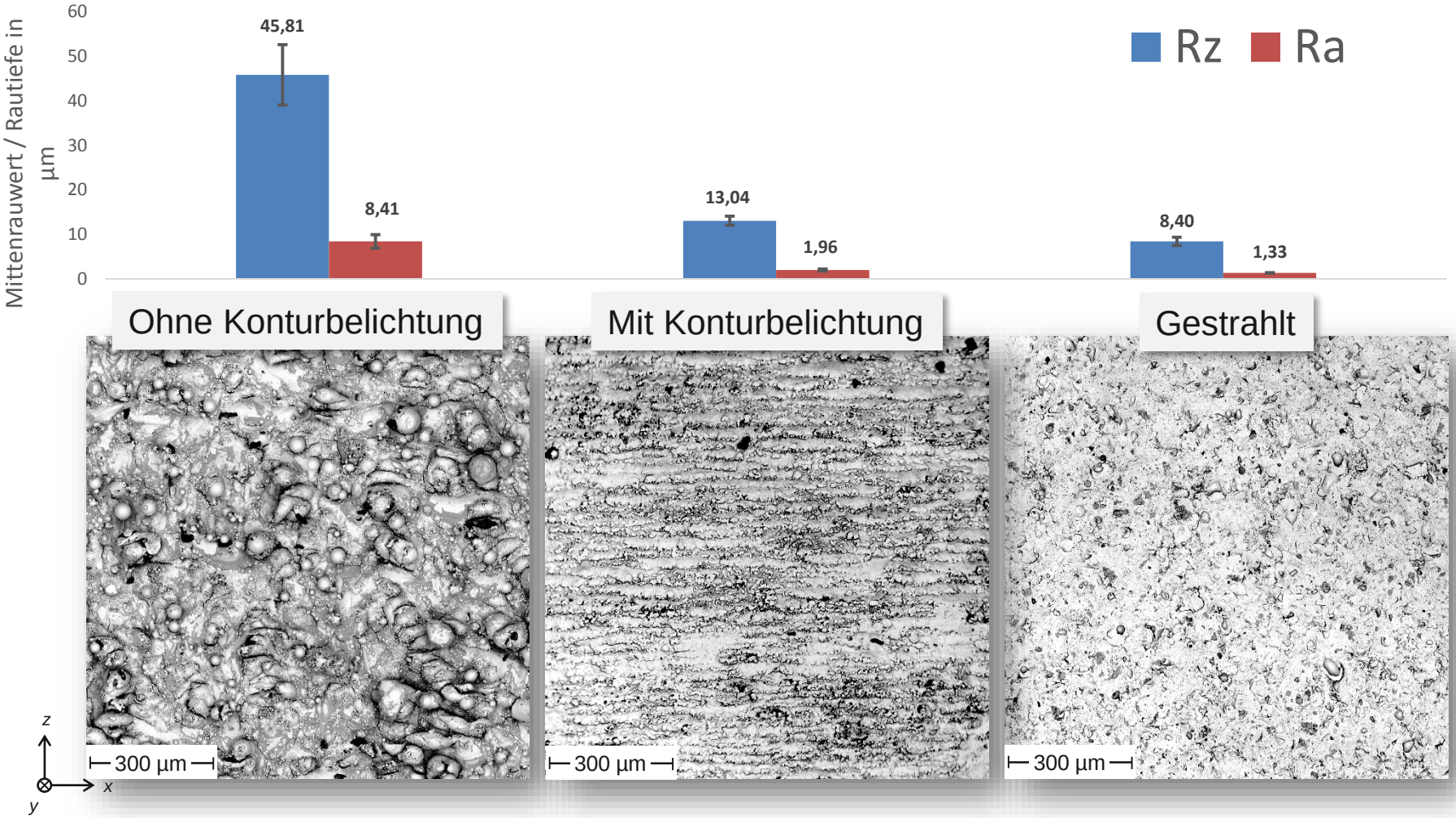






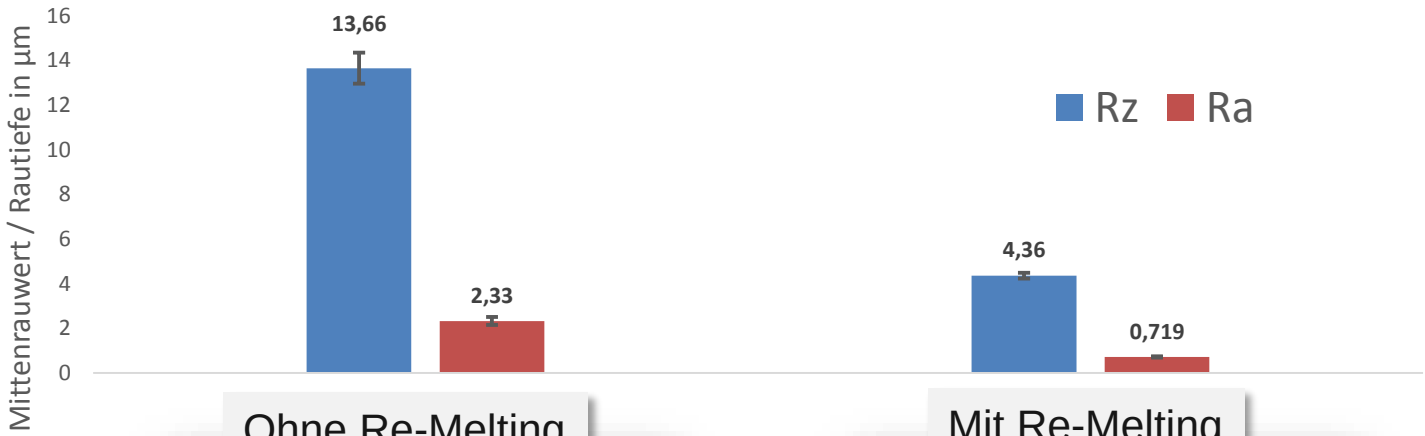
Oberflächenqualität ist abhängig von der Bauteilorientierung. Teilweise aufgeschmolzene Partikel sorgen für hohe Rauigkeiten an den Seitenflächen.

Oberflächen µSLM: Vertikale Flächen

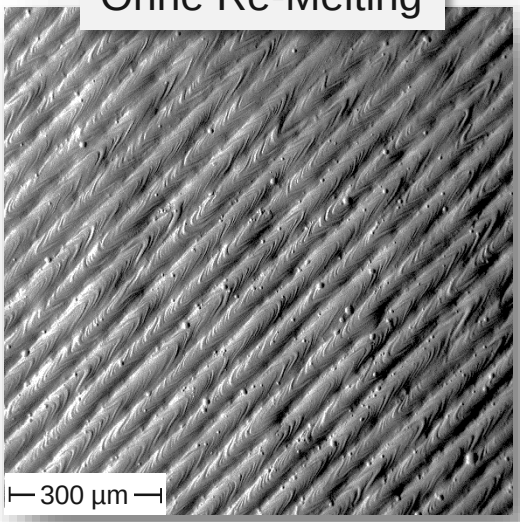


Oberflächen µSLM: Horizontale Flächen

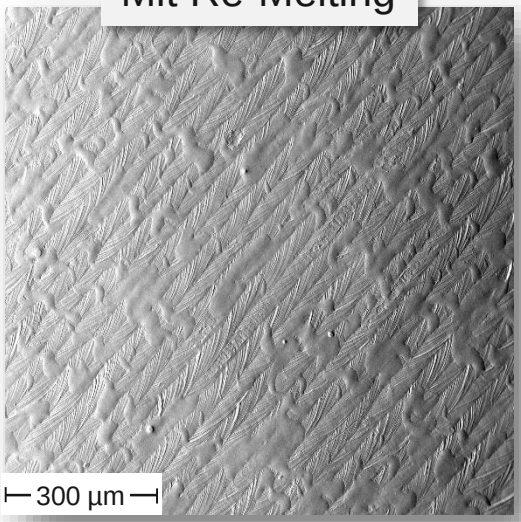
Re-Melting:
Erneutes Aufschmelzen der obersten Schicht



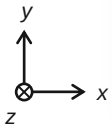
Ohne Re-Melting



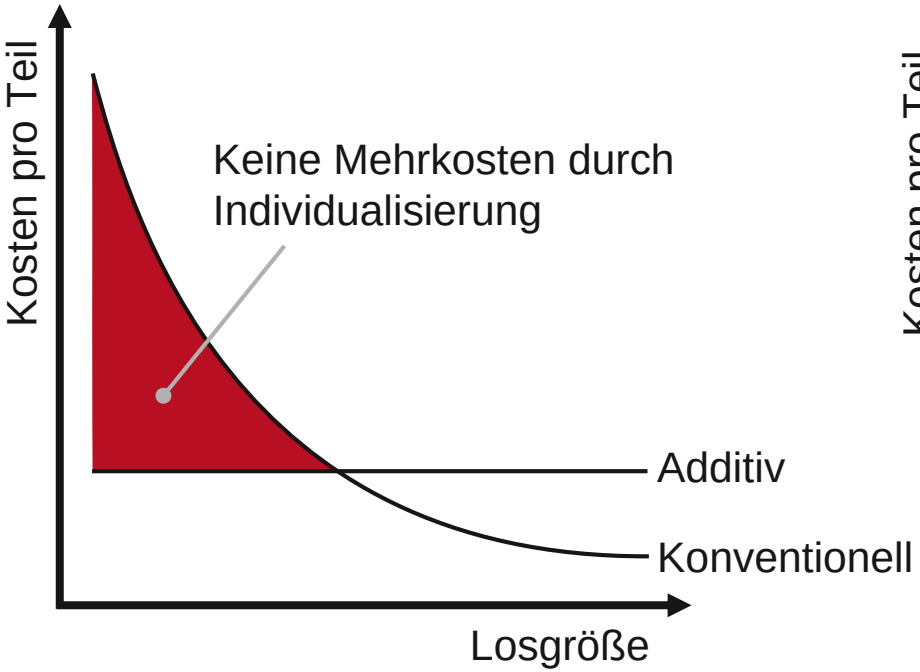
Mit Re-Melting

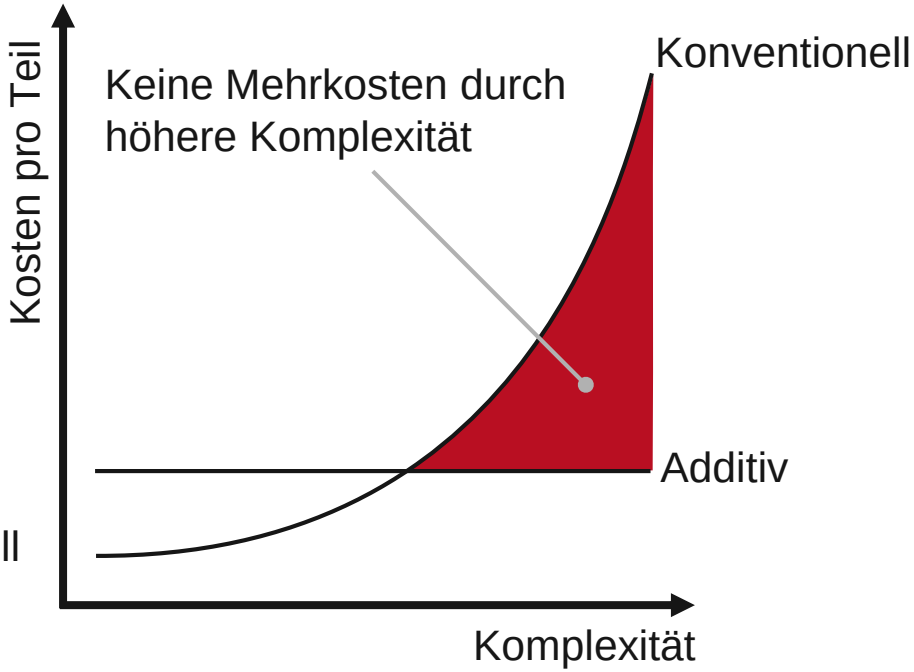


Oberflächenrauigkeit ist beim µSLM um bis zu 80% reduziert gegenüber dem konventionellen SLM Prozess



Wirtschaftlichkeit AM

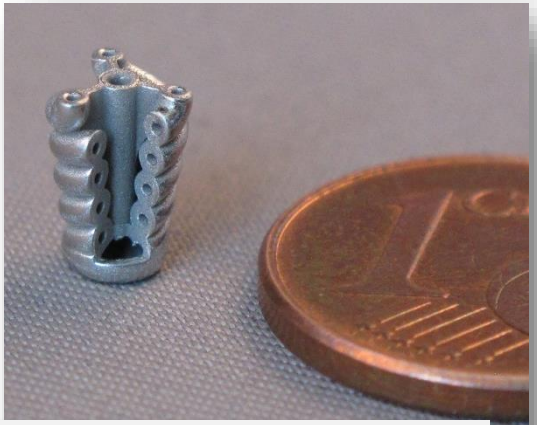




„individualization for free“

„complexity for free“

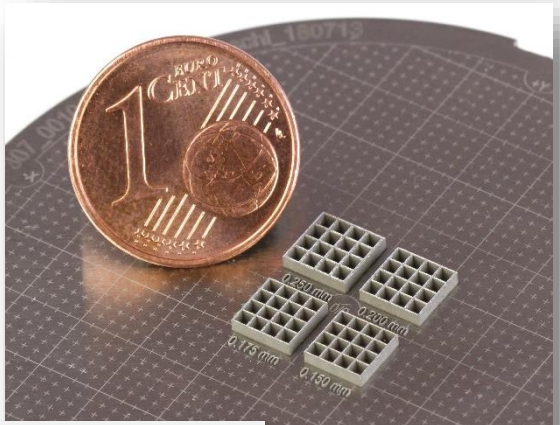
µSLM Beispielbauteile



Mikro-Fluidmischkammer

- Durchmesser: 5 mm
- Höhe: 8 mm
- Kanaldurchmesser: 0,4 mm

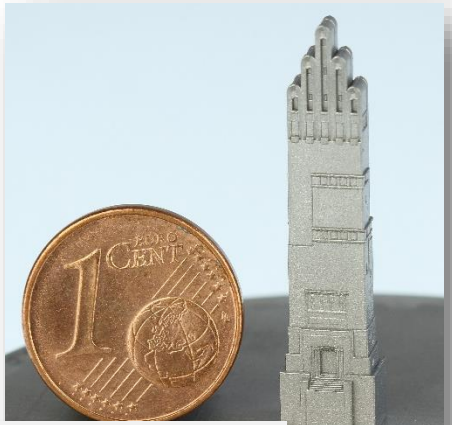
- Bauzeit: 3 h



Gitterstruktur

- Minimale Wandstärke: 60 µm
- Aspektverhältnisse > 200 möglich

- Bauzeit: 1h



Hochzeitsturm

- Höhe: 28 mm
- Breite: 6 mm

- Bauzeit: 6,5 h

Einsatz bei der Herstellung von Prototypen und Kleinserien

Zusammenfassung

TU DARMSTADT

Stand der Technik µSLM:

- Auflösung gegenüber konventionellem SLM Verfahren deutlich gesteigert
- Relative Bauteildichten von > 99 % möglich
- Mechanische Eigenschaften vergleichbar mit konventionell hergestellte Bauteilen
- Bessere Oberflächenqualitäten als beim konventionellem SLM Verfahren
- Aktueller Einsatz bei Prototypen und Kleinserien

Ausblick:

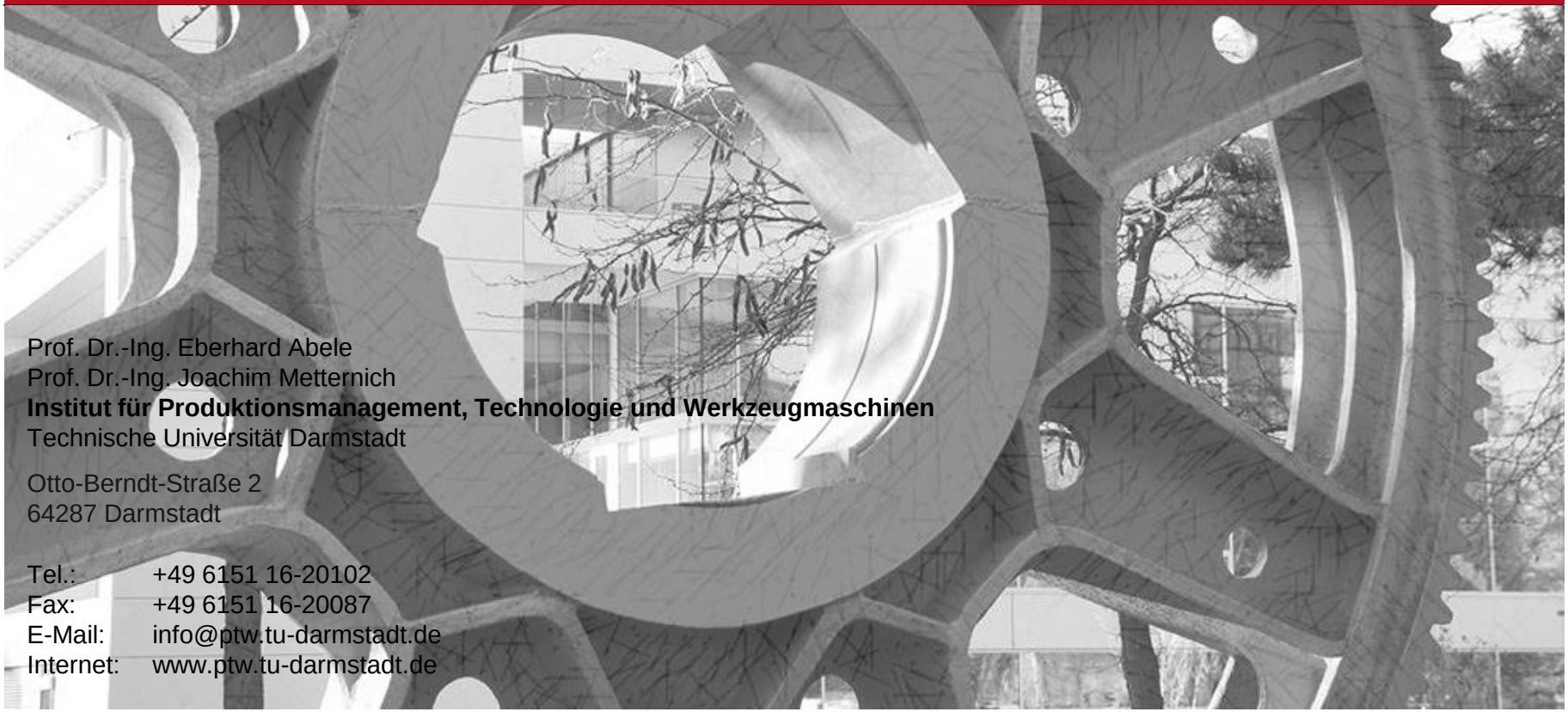
- Erweiterung der Materialpalette
- Steigerung der Prozesssicherheit
- Steigerung der Produktivität

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Bei Fragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

PTW TU DARMSTADT



Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele
Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich
Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen
Technische Universität Darmstadt

Otto-Berndt-Straße 2
64287 Darmstadt

Tel.: +49 6151 16-20102
Fax: +49 6151 16-20087
E-Mail: info@ptw.tu-darmstadt.de
Internet: www.ptw.tu-darmstadt.de