

DeburringEXPO, 10. Oktober 2023

## **Antizipation der Kantenverrundung bei der Nachbearbeitung von additiv gefertigten Bauteilen durch Gleitschleifen**

---

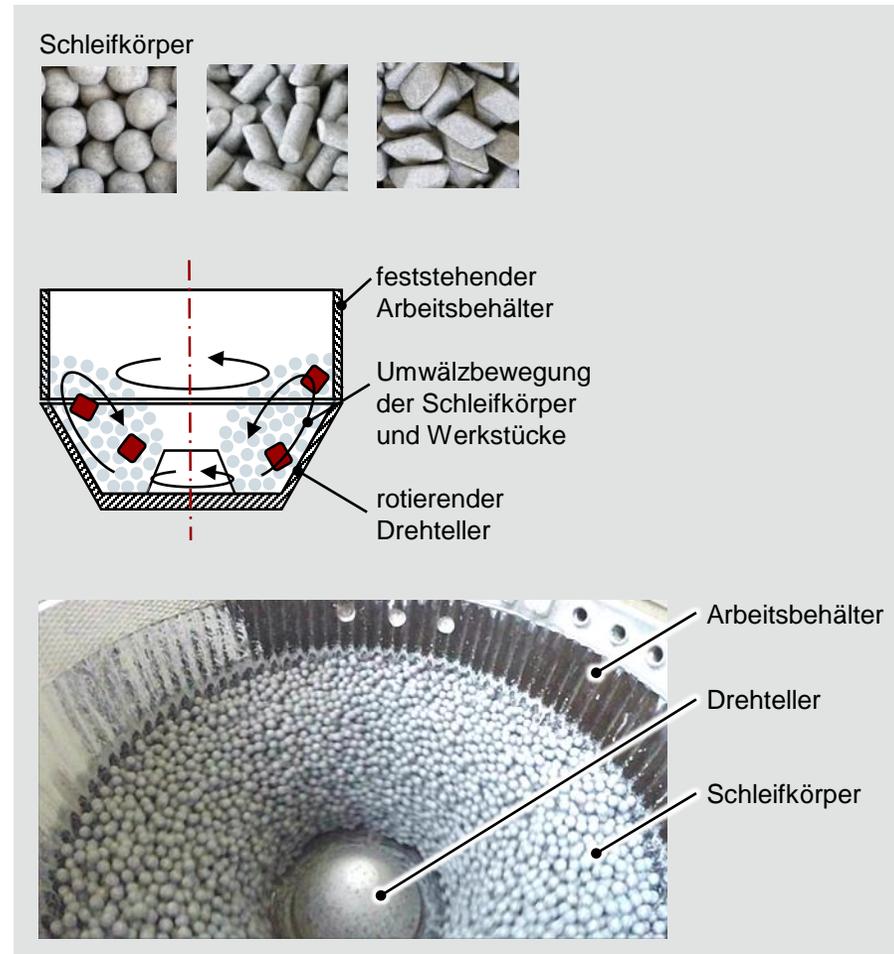
**André Rozek, M.Sc.**

Institut für Werkzeugmaschinen und  
Fabrikbetrieb (IWF)  
Technische Universität Berlin  
Fachgebiet Werkzeugmaschinen und  
Fertigungstechnik  
Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann

Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen  
und Konstruktionstechnik (IPK)

# Fliehkraftgleitschleifen

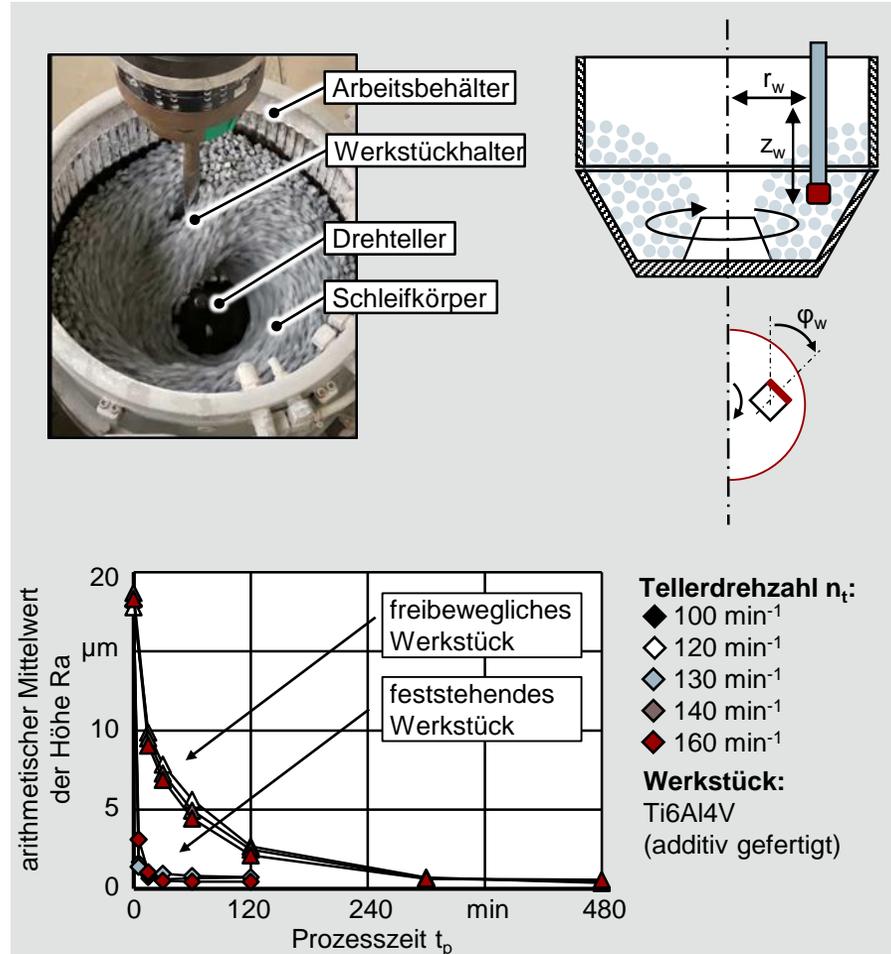
## Verfahrensgrundlagen



- Gleitschleifen
  - Trennendes Fertigungsverfahren zur Oberflächen- und Kantenbearbeitung
  - Bearbeitung durch die Relativbewegung zwischen den Werkstücken und einer Vielzahl frei beweglicher Schleifkörper
- Fliehkraftgleitschleifen
  - Einleitung der Schleifkörperbewegung über Drehteller am Boden des Arbeitsbehälters
  - Ausbildung einer torusförmigen Ringströmung
  - Hohe Schleifkörpergeschwindigkeiten  
→ intensive Bearbeitung
  - Geeignet für Nachbearbeitung additiv gefertigter Werkstücke
  - Bearbeitung von Werkstücken als Schüttgut

# Fliehkraftgleitschleifen

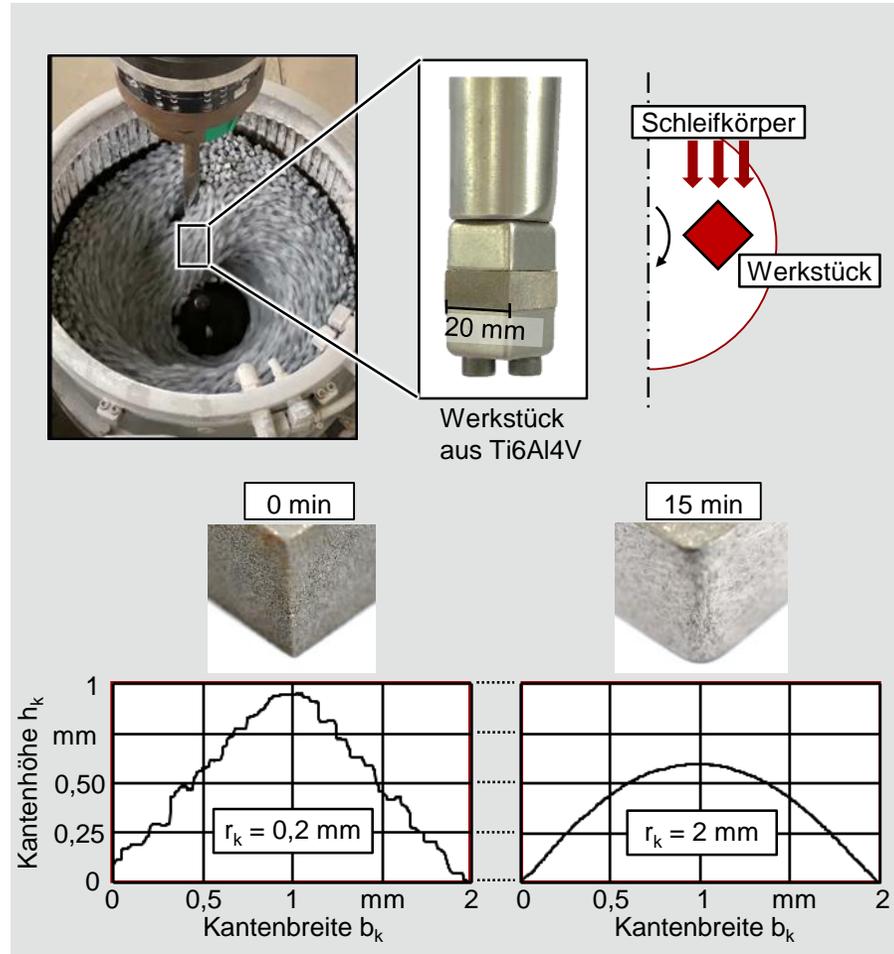
## Verfahrensgrundlagen



### Verfahrensvariante

- Bearbeitung mit feststehendem Werkstück
- Hohe Prozesskontrolle über definierte Positionierung des Werkstücks ( $r_w$ ,  $z_w$ ,  $\varphi_w$ )
- Steigerung Relativgeschwindigkeit  $\rightarrow$  Intensivierung der Bearbeitung
  - z. B.:  $R_a = 17 \mu\text{m}$  auf  $R_a = 2 \mu\text{m}$ 
    - $\rightarrow$  120 min Bearbeitung mit freibeweglichem Werkstück
    - $\rightarrow$  5 min Bearbeitung mit feststehendem Werkstück

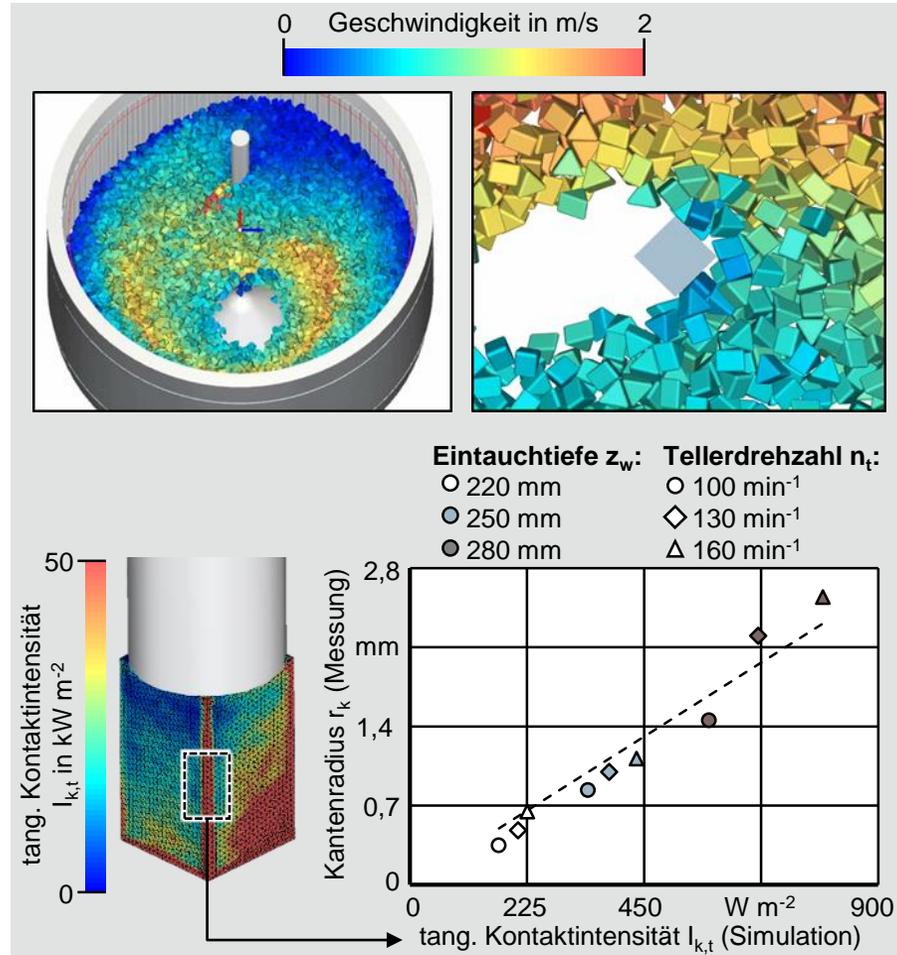
# Motivation und Lösungsansatz



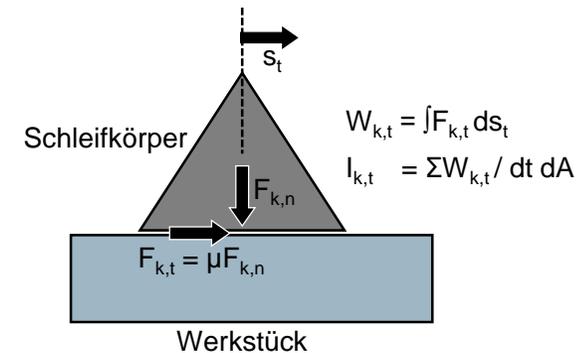
- Hohe Bearbeitungsintensität
  - Hohes Zeitspannungsvolumen
  - Starke Verrundung exponierter Kanten- und Ecken, z.B. Kantenradius  $r_k = 0,2$  mm auf  $r_k = 2$  mm in 15 min
  - Risiko unzulässiger Formabweichungen, insbesondere bei endkonturnah gefertigten Werkstücken
- Bisheriger Lösungsansatz zur Vermeidung von Untermaß
  - Globales Materialaufmaß, bspw. + 0,3 mm
  - Herausforderung: Zeitspannungsvolumen ist von Bauteilgeometrie abhängig
- Neuer Lösungsansatz
  - Lokales und bedarfsgerechtes Materialaufmaß

# Simulation von Gleitschleifprozesses

## Beschreibung des Schleifkörper-Werkstück-Kontakts



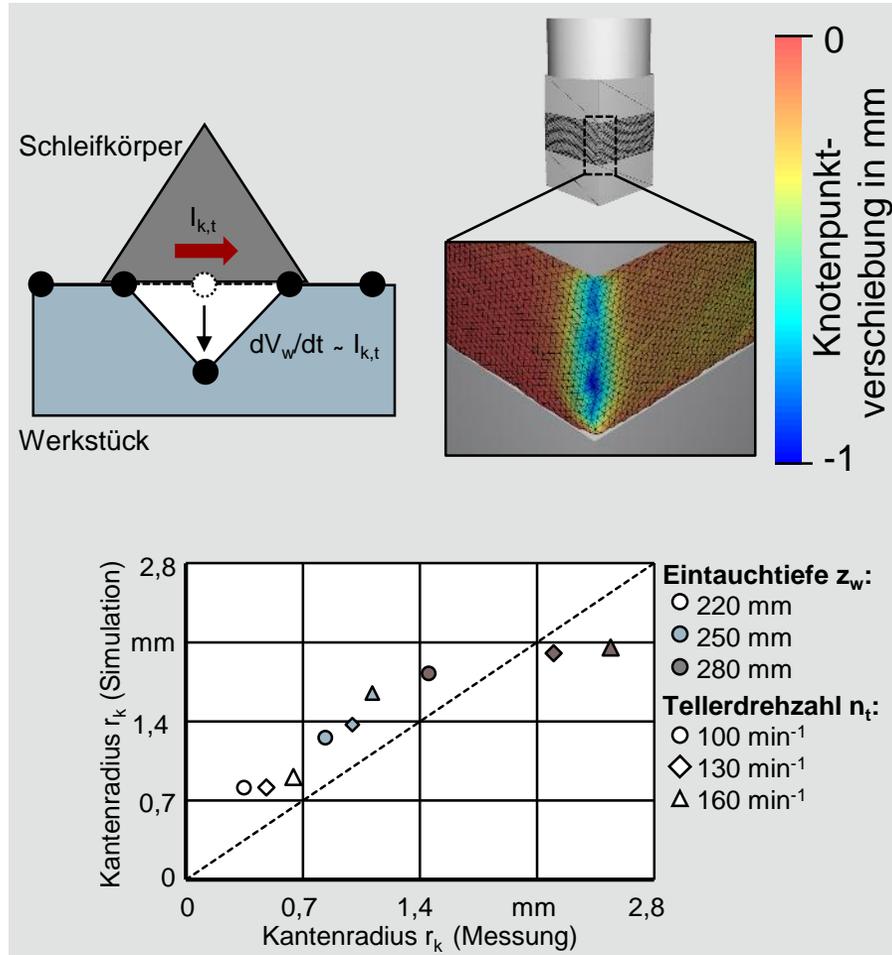
- Anwendung der Diskrete-Elemente-Methode zur Simulation der Schleifkörperbewegung
  - Erkenntnisse über Schleifkörper-Werkstück-Kontakt
  - Beschreibung des Schleifkörper-Werkstück-Kontakts mittels **tangentialer Kontaktintensität  $I_{k,t}$**



- Hohe Korrelation ( $R^2 = 0,94$ ) zwischen gemessenem Kantenradius  $r_k$  und simulierter tangentialer Kontaktintensität  $I_{k,t}$

# Simulation von Gleitschleifprozesses

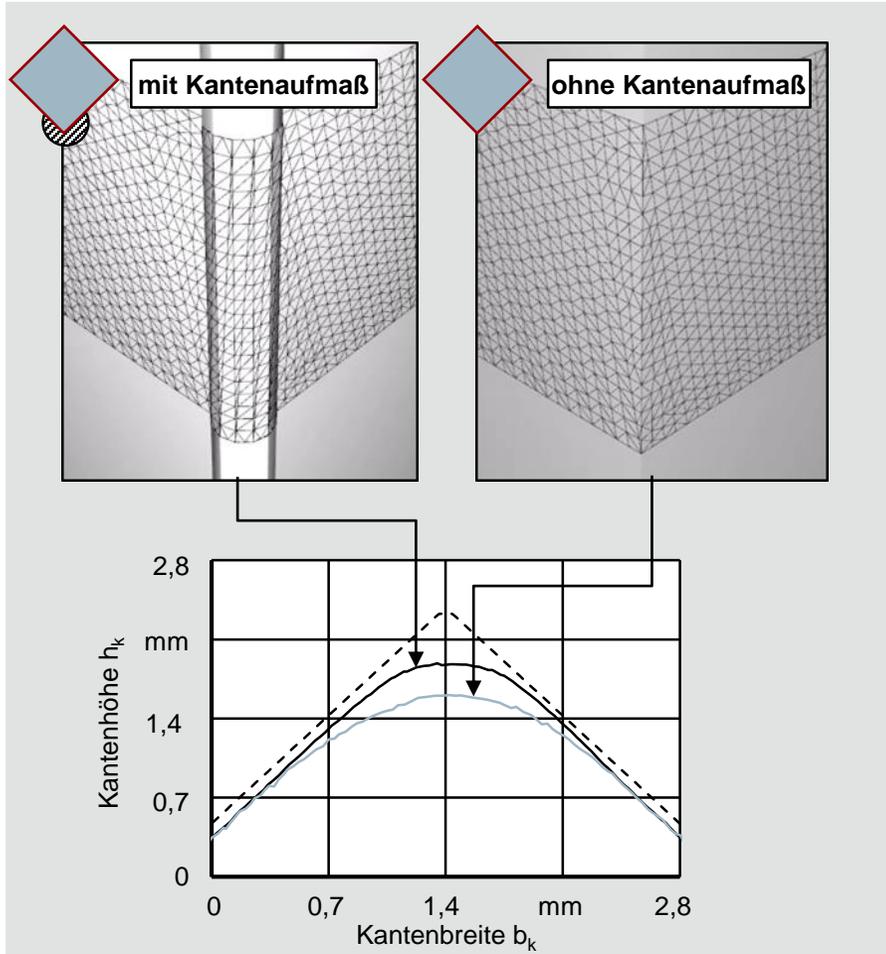
## Simulation der Materialabtrennung



- Bisher: Beschreibung des Schleifkörper-Werkstück-Kontakts
- Jetzt: Simulation der Materialabtrennung
- Modellvorstellung der Materialabtrennung
  - $dV_w/dt = k l_{k,t}$
  - Verschiebung der Knotenpunkte zur Realisierung von  $dV_w/dt$
- Vergleich der gemessenen und simulierten Kantenradien  $r_k$ 
  - Qualitative Übereinstimmung
  - 48 % Abweichung
  - Modell der Materialabtrennung anpassen

# Simulation von Gleitschleifprozesses

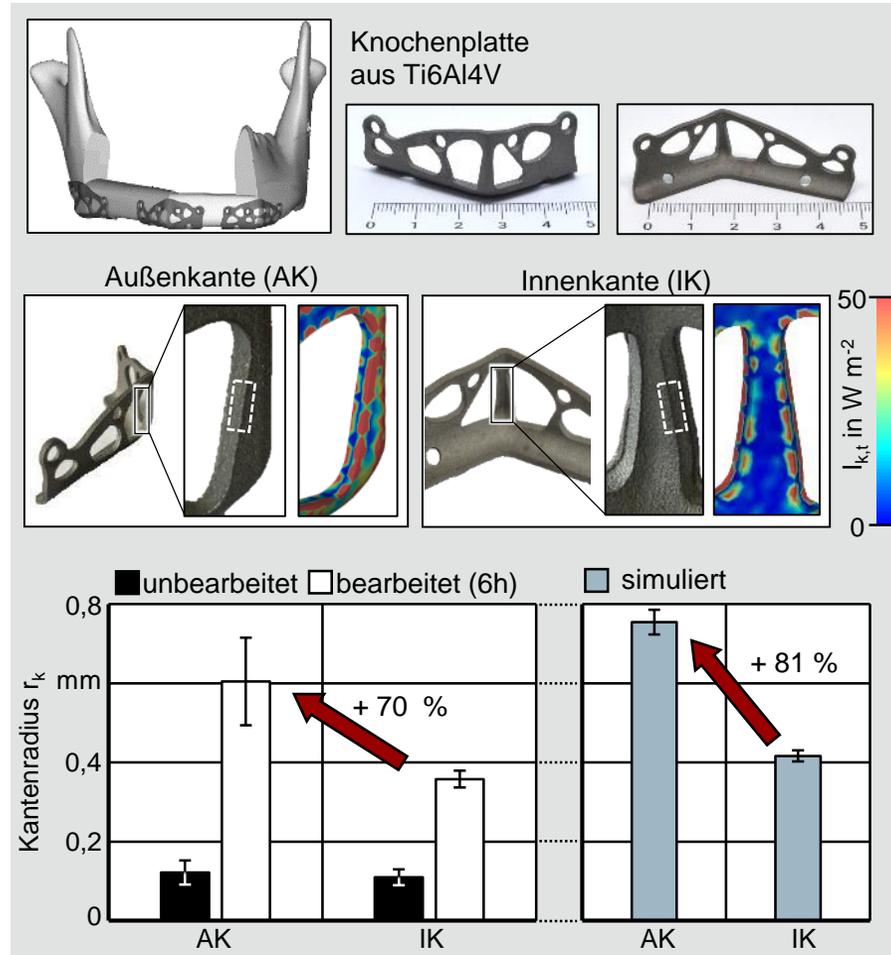
## Simulationsbasierte Auslegung von Kantenaufmaßen



- Simulation der Materialabtrennung mit variierenden Kantengeometrien  
→ Vorhersage der entstehenden Kantenverrundung
- Durch Kantenaufmaß wird die entstehende Kantenverrundung beeinflusst

# Verifizierung der Methode

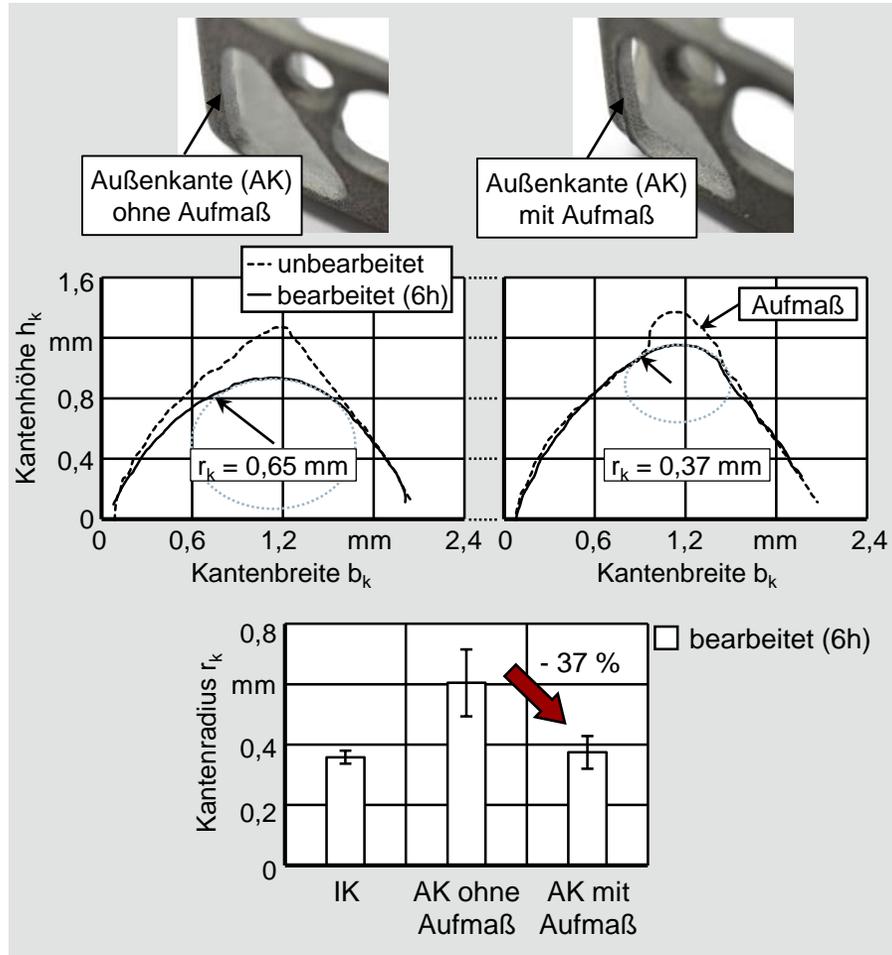
## Anwendungsfall: individualisierte Knochenplatte



- Additive Fertigung ermöglicht wirtschaftliche Herstellung komplexer und individualisierter Bauteile
- Nachbearbeitung erforderlich aufgrund hoher as-build Rauheit
  - Zielrauheit  $R_a < 1\ \mu m$  zum Vermeidung des Knocheneinwachsens
- Komplexe Bauteilgeometrie stellt Herausforderung für Nachbearbeitung durch Gleitschleifen dar
  - frei zugängliche Außenkanten
  - beschränkt zugängliche Innenkanten
  - 70 % höhere Verrundung der Außenkante als die Innenkante
  - Beeinträchtigung der Bauteilfestigkeit
- Mittels Simulation könnten diese Information bereits vor der Bauteilfertigung vorliegen

# Verifizierung der Methode

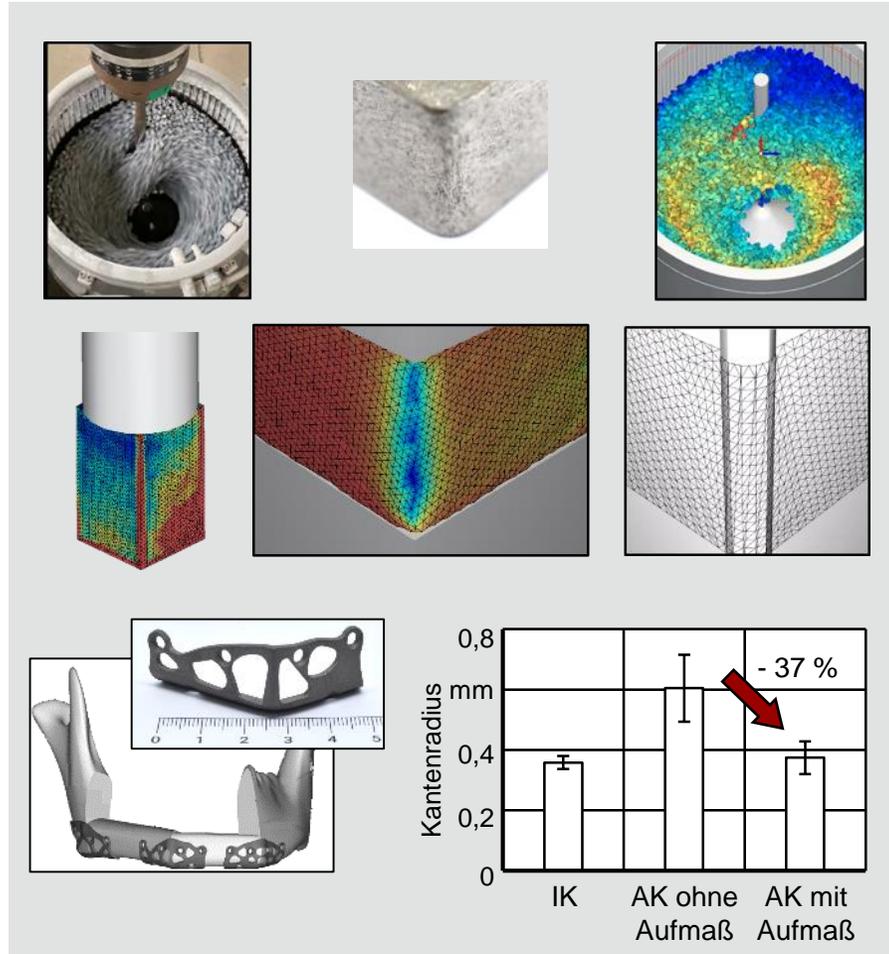
## Anwendungsfall: individualisierte Knochenplatte



### ■ Antizipation der Kantenverrundung

- Anpassung der Bauteilgeometrie mit lokalem und bedarfsgerechtem Kantenaufmaß
- Nach Bearbeitung liegt verringerte Kantenverrundung vor
- Gleichmäßige Verrundung der Innen- und Außenkante

# Zusammenfassung



- Fliehkraftgleitschleifen ist ein geeignetes Verfahren für die Oberflächennachbearbeitung von additiv gefertigten Bauteilen
  - Hohes Zeitspannungsvolumen
- Prozess kann mittels Diskrete-Elemente-Methode simuliert werden
- Tangentiale Kontaktintensität ist geeignete Kenngröße zur Beschreibung des Schleifkörper-Werkstück-Kontakts
  - Simulation der Materialabtrennung  $dV_w/dt = k I_{k,t}$
  - Simulationsbasierte Auslegung lokaler und bedarfsgerechter Kantenaufmaße zur Beeinflussung resultierender Kantenverrundungen
- Erprobung am realen Anwendungsfall
  - Gleichmäßige Kantenverrundung durch simulativ ausgelegtes Kantenaufmaß

# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit



M. Sc.  
**André Rozek**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
André.Rozek@iwf.tu-berlin.de  
+49 30 314 23140



Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing.  
**Eckart Uhlmann**  
Fachgebietsleiter Werkzeugmaschinen  
und Fertigungstechnik IWF (TU Berlin)  
Institutsleiter Fraunhofer IPK  
Eckart.Uhlmann@ipk.fraunhofer.de  
+49 30 314 24962



Dipl.-Ing.  
**Daniel Hinzmann**  
Oberingenieur  
Daniel.Hinzmann@ipk.fraunhofer.de  
+49 30 314 24962



M. Sc.  
**Marco Kopp**  
Gruppenleiter Feinstbearbeitung und  
Finishing  
Marco.Kopp@iwf.tu-berlin.de  
+49 30 314 23624

