

# STREAM FINISHING – PROZESSOPTIMIERUNG DURCH NUMERISCHE UND EXPERIMENTELLE PROZESSANALYSE

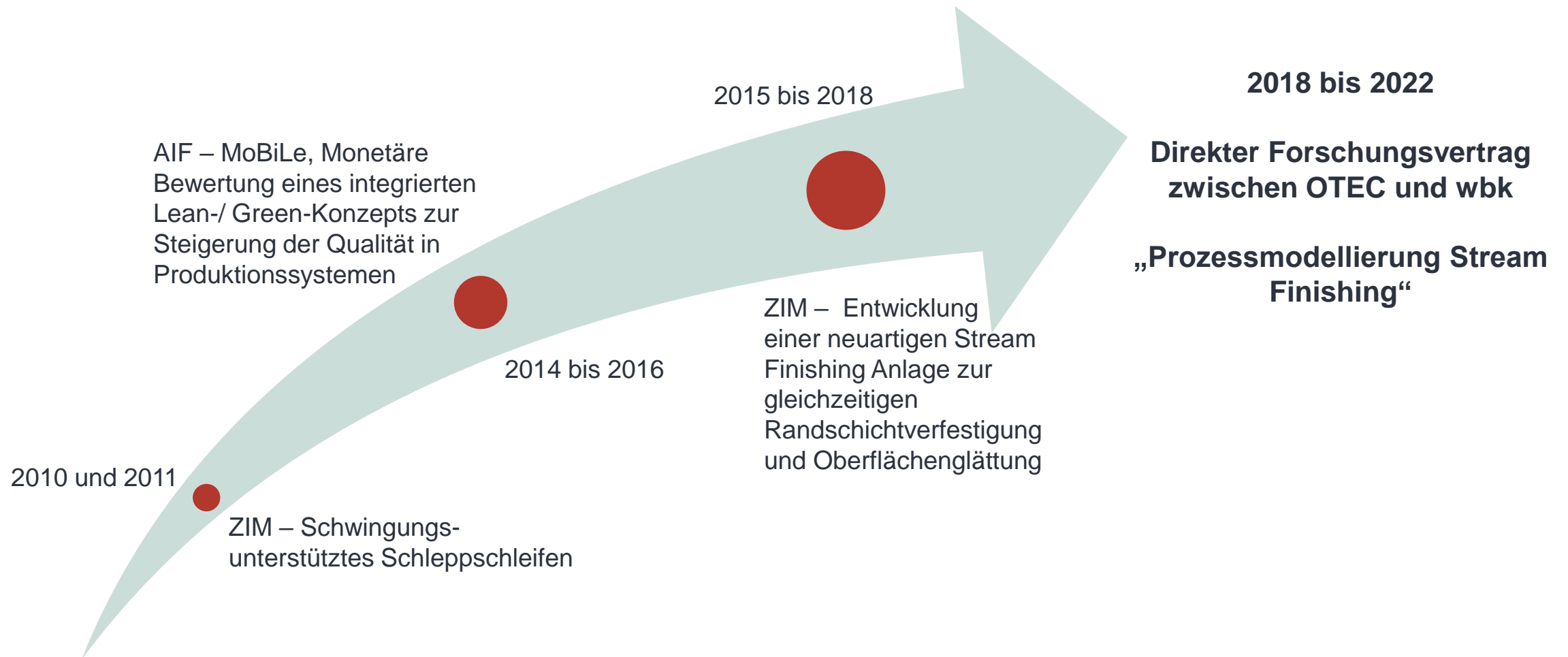
KOOPERATIONSPROJEKT ZWISCHEN OTEC UND wbk (KIT)

Patrick Neuenfeldt, M.Sc. | Dr.-Ing. Michael Gerstenmeyer | Dr.-Ing. Frederik Zanger | Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze

# AGENDA

- 1 **Kooperation zwischen OTEC und wbk**
- 2 Modellbildung des Stream Finishing Prozesses
- 3 Experimentelle Vorgehensweise
- 4 Ausgewählte Ergebnisse

# KOOPERATION ZWISCHEN OTEC UND wbk



# AGENDA

- 1 Kooperation zwischen OTEC und wbk
- 2 Modellbildung des Stream Finishing Prozesses**
- 3 Experimentelle Vorgehensweise
- 4 Ausgewählte Ergebnisse

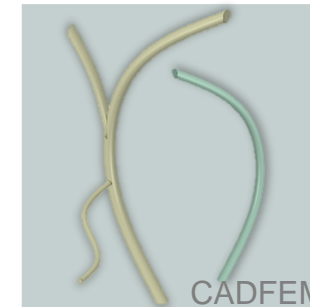
# MODELLBILDUNG DES STREAM FINISHING PROZESSES

Discrete Element Method (DEM)

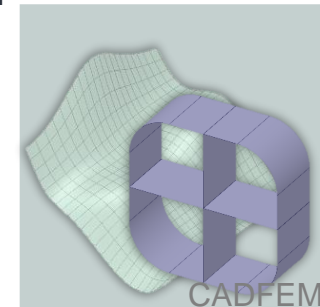
- Numerisches Berechnungsverfahren zur Bestimmung von Festkörperbewegungen
- Keine Vernetzung des Berechnungsraums wie bei CFD
- Hingegen Vernetzung der einzelnen Festkörper
- Unterschiedlichste Formen und Eigenschaften der Festkörper möglich
- Verwendung der DEM-Software Rocky DEM

## Prinzipieller Simulationsablauf

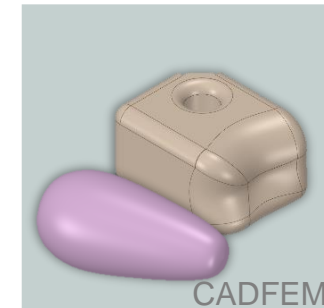
- Definition der physikalischen Randbedingungen
- Festlegung der Maschinen- und Bauteilkinematik
- Befüllung des Berechnungsraums durch stochastische Verteilung der Festkörper
- Ausführung der Maschinen- bzw. Bauteilkinematik und zeitdiskrete Berechnung der Festkörperzustände (instationäre Simulation)



Fasern



Flächenkörper

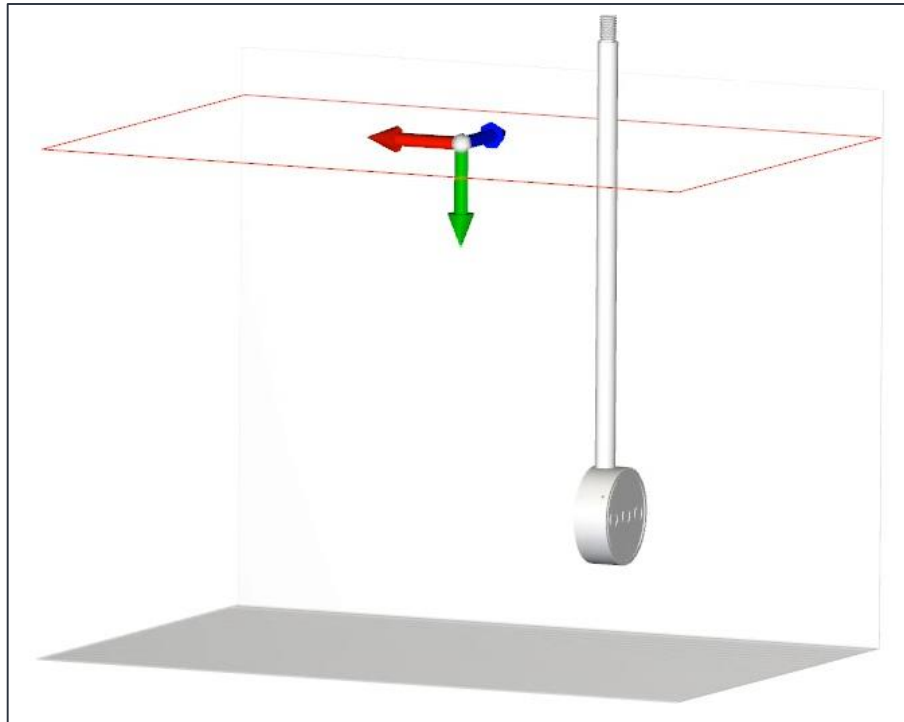


Volumenkörper

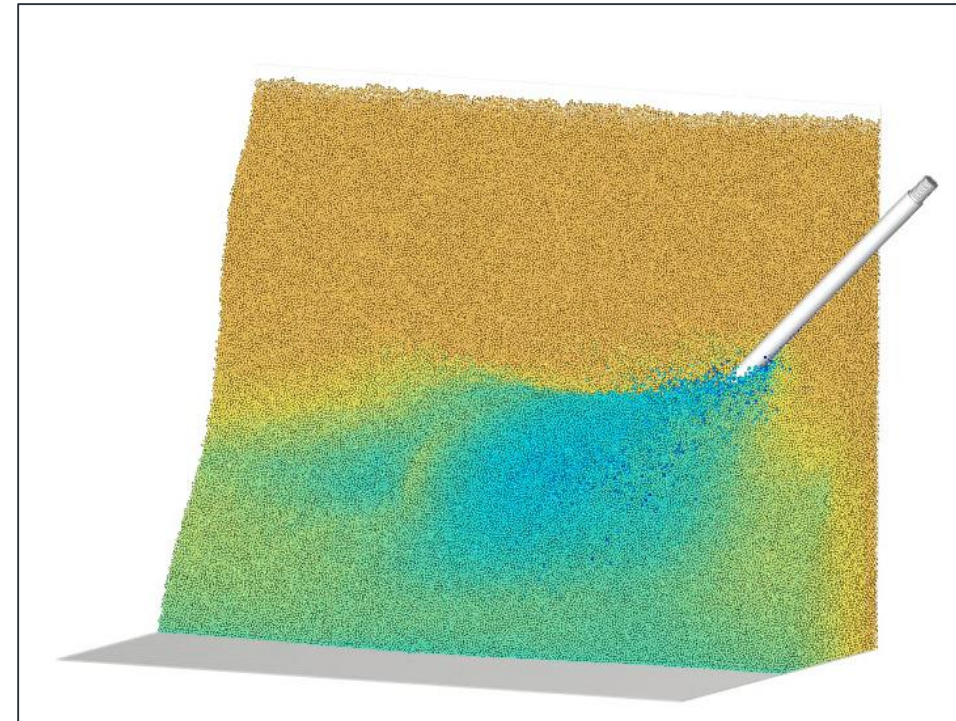
# MODELLBILDUNG DES STREAM FINISHING PROZESSES

Discrete Element Method (DEM)

## Befüllung des Berechnungsraumes



## Ausführung von Maschinen- und Werkzeugkinematik

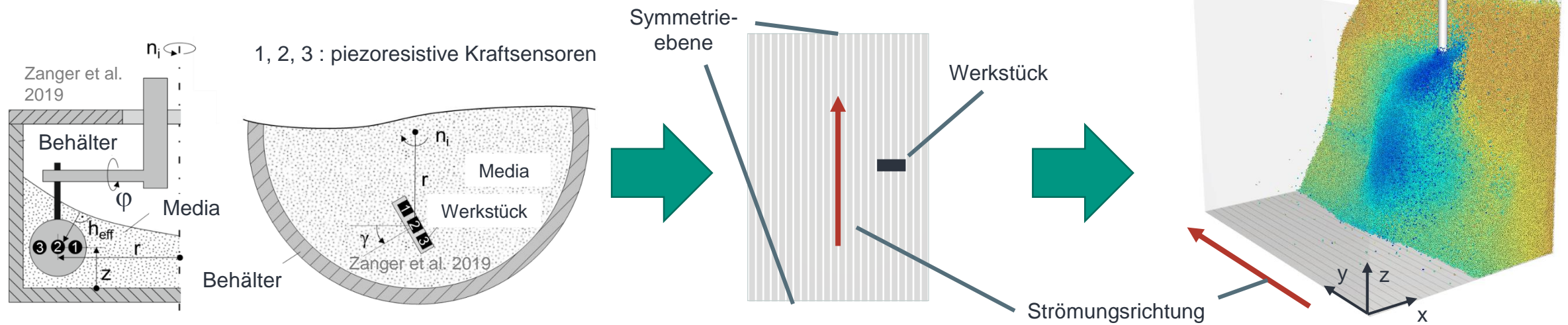


Im Berechnungsraum sind hier insgesamt 1,25 Mio. kugelförmige Partikel eingebracht!

# MODELLBILDUNG DES STREAM FINISHING PROZESSES

## Abstraktion

- Abstraktion des Bearbeitungsbehälters durch linearen Analogiekanal
- Geschwindigkeitsverteilung durch diskrete Bahngeschwindigkeiten am Boden
- Kanal besitzt gleichen Querschnitt wie Trommel
- Symmetrieebenen an den Kanalenden
- Partikelverteilung durch Zentrifugalkraft äquivalente Beschleunigung zur Wandung (x-Richtung)
- Granulat-Werkstoffparameter entsprechend trockenem  $\text{Al}_2\text{O}_3$
- Insgesamt 1,25 Mio. kugelförmige Partikel ( $\varnothing$  2 mm)

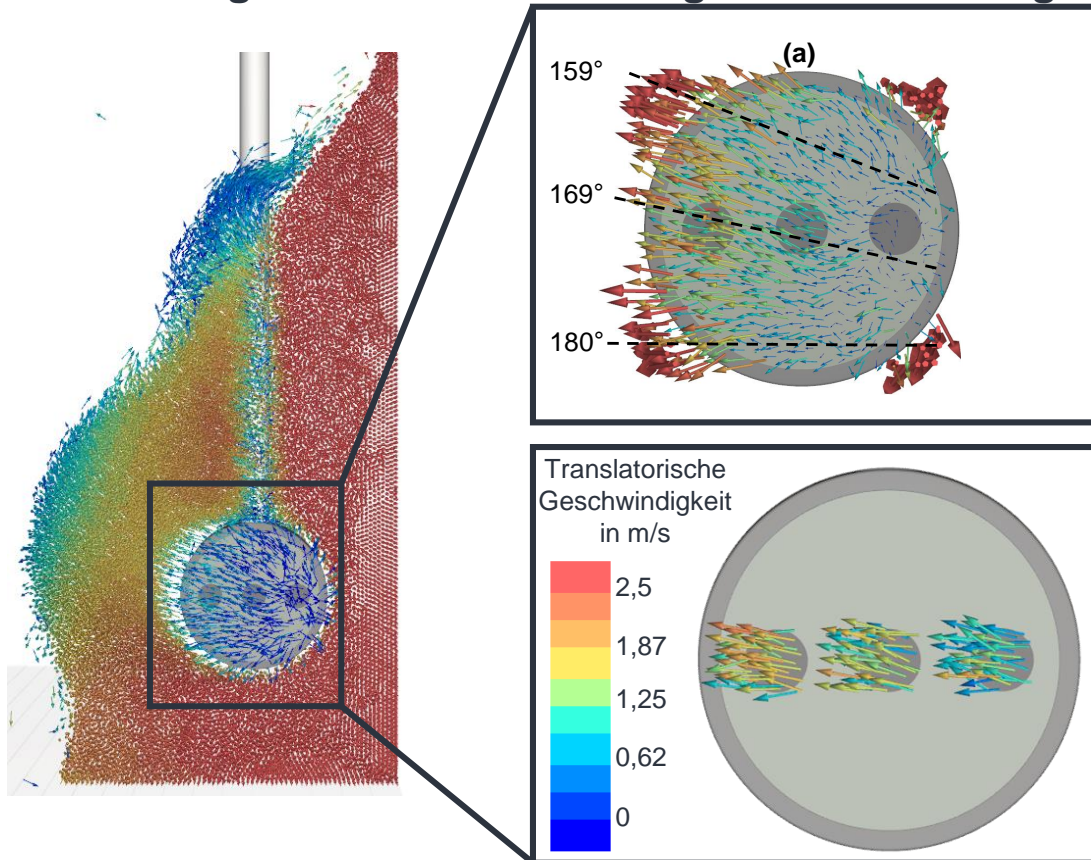


Quelle: Zanger F, Kacaras A, Neuenfeldt P, Schulze V: Optimization of the stream finishing process for mechanical surface treatment by numerical and experimental process analysis. CIRP Annals, 2019.

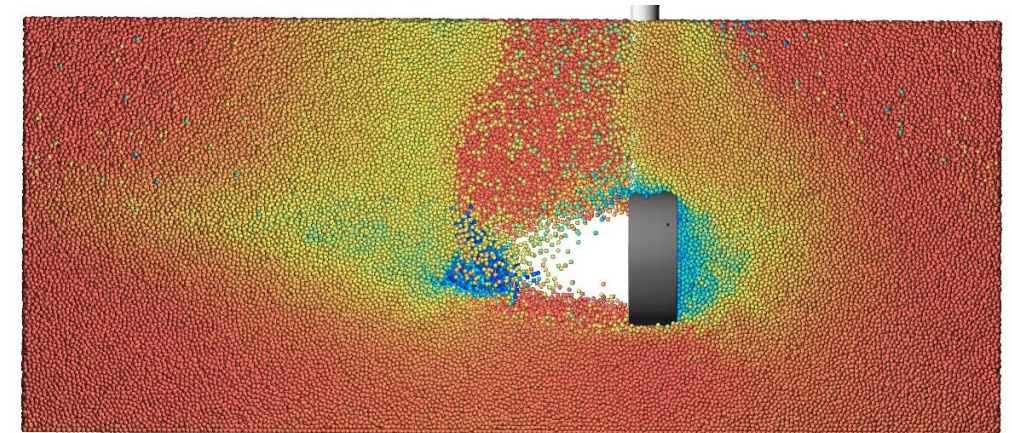
# MODELLBILDUNG DES STREAM FINISHING PROZESSES

Beispielhafte Darstellung der Auswertemöglichkeiten

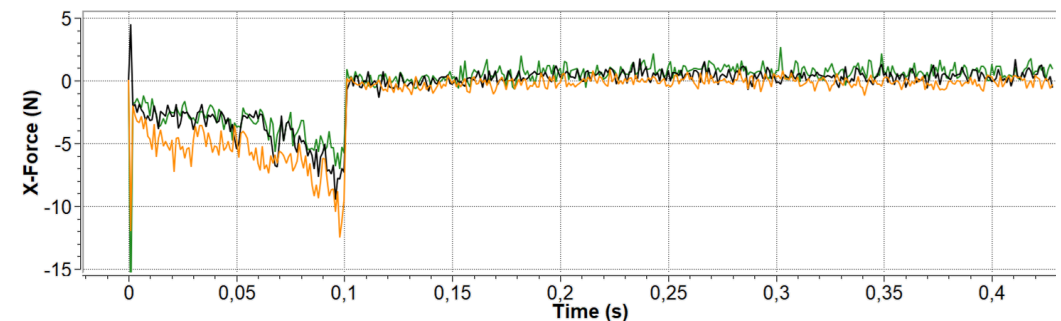
### Lokale Bestimmung der Abströmungsrichtung und volumengemittelte Geschwindigkeitsbestimmung



### Detektion von Ablösungen und Strömungszuständen (hier: Schnittdarstellung orthogonal zur Strömung)



### Kraftverläufe über Zeit



Beispielhafte Kraftverläufe an drei Position eines Zahnradfußes (Zahnrad nicht gezeigt)



# AGENDA

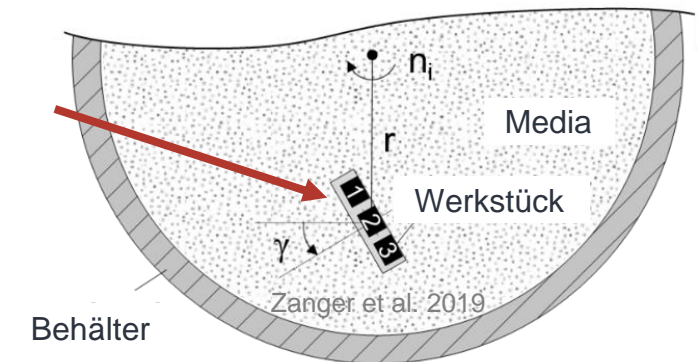
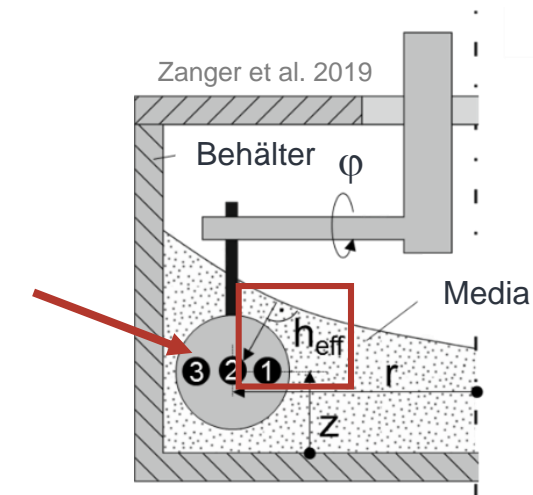
- 1 Kooperation zwischen OTEC und wbk
- 2 Modellbildung des Stream Finishing Prozesses
- 3 Experimentelle Vorgehensweise**
- 4 Ausgewählte Ergebnisse

# EXPERIMENTELLE VORGEHENSWEISE

## Allgemeine Angaben

- Verwendung einer klassischen Stream Finishing Anlage, Typ SF1 68
- Verfahrensmittel: KXMA 16 (3%ige Compound-Wassermischung)
- Probenwerkstoff: 42CrMo4 V450
- Probendurchmesser: 50 mm
- An den Positionen 1 bis 3:
  - Kraftmessung: 3 piezoresistive Kraftsensoren
  - Materialabtrag: 3 Pins aus 42CrMo4 (Ø 9,5 mm)

Prozessstellgröße	Variable	Wert	Einheit
Eintauchradius	$r$	270	mm
Behälterfüllstand	-	220	mm
Eintauchtiefe	$z$	75 bis 150	mm
Behälterdrehzahl	$n$	30 bis 90	U/min
Eintauchwinkel	$\varphi$	0 bis 45	°
Drehwinkel	$\gamma$	-50 bis 50	°



Schematische Darstellung der variierten Parameter

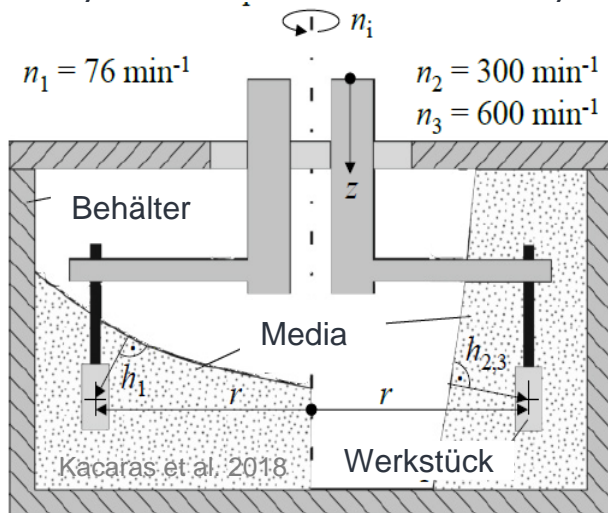
Quelle: Zanger F, Kacaras A, Neuenfeldt P, Schulze V: Optimization of the stream finishing process for mechanical surface treatment by numerical and experimental process analysis. CIRP Annals, 2019.

# EXPERIMENTELLE VORGEHENSWEISE

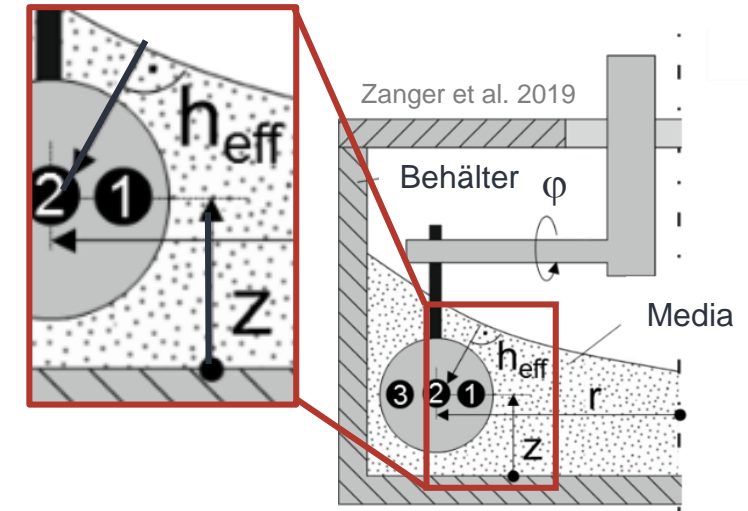
Effektive Eintauchtiefe

## Warum $h_{\text{eff}}$ und nicht $z$ ?

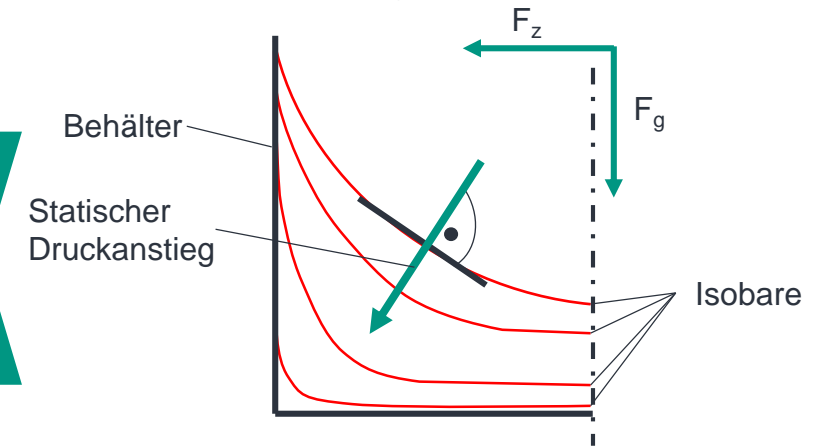
- $h_{\text{eff}}$  und  $z$  hängen direkt voneinander ab
- $z$ -Koordinate ist immer unabhängig von:
  - Füllhöhe des Granulats
  - Rotationsgeschwindigkeit des Behälters
- Behälterdrehzahl führt zu charakteristischer Granulatverteilung (vgl. Physik: rotierender Behälter) → Zentrifugalkraft  $F_z$  + Gewichtskraft  $F_g$



**$h_{\text{eff}}$  ist ein universelles Vergleichsmaß der Bearbeitungsverhältnisse**



Schematische Darstellung der variierten Parameter



Druckverteilung in rotierendem Behälter

Mediaverteilung bei unterschiedlichen Behälterdrehzahlen

Quelle: Kacaras A, Gibmeier J, Zanger F, Schulze V: Influence of rotational speed on surface states after stream finishing. Procedia CIRP 71, 2018, 221-226.

Quelle: Zanger F, Kacaras A, Neuenfeldt P, Schulze V: Optimization of the stream finishing process for mechanical surface treatment by numerical and experimental process analysis. CIRP Annals, 2019.

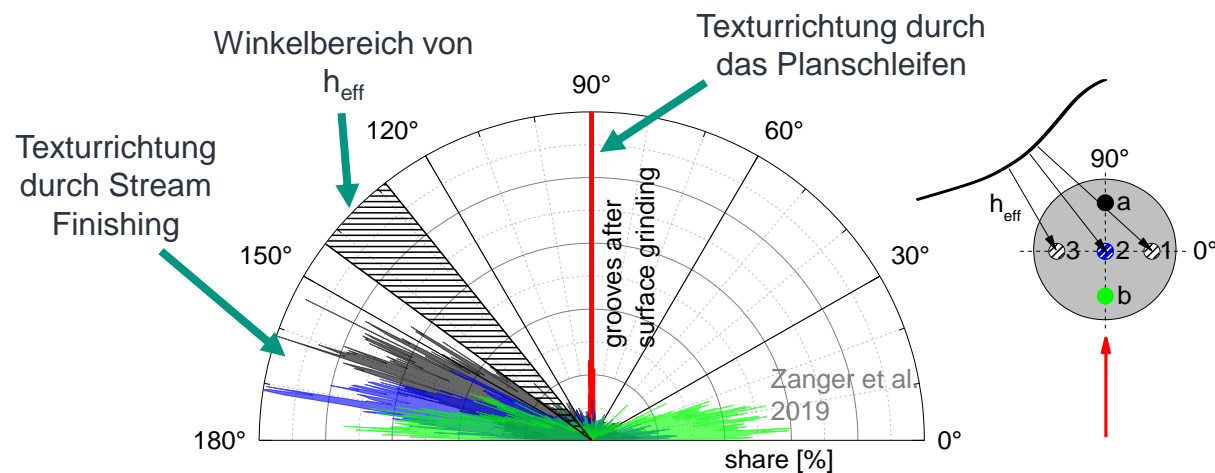
# AGENDA

- 1 Kooperation zwischen OTEC und wbk
- 2 Modellbildung des Stream Finishing Prozesses
- 3 Experimentelle Vorgehensweise
- 4 **Ausgewählte Ergebnisse**

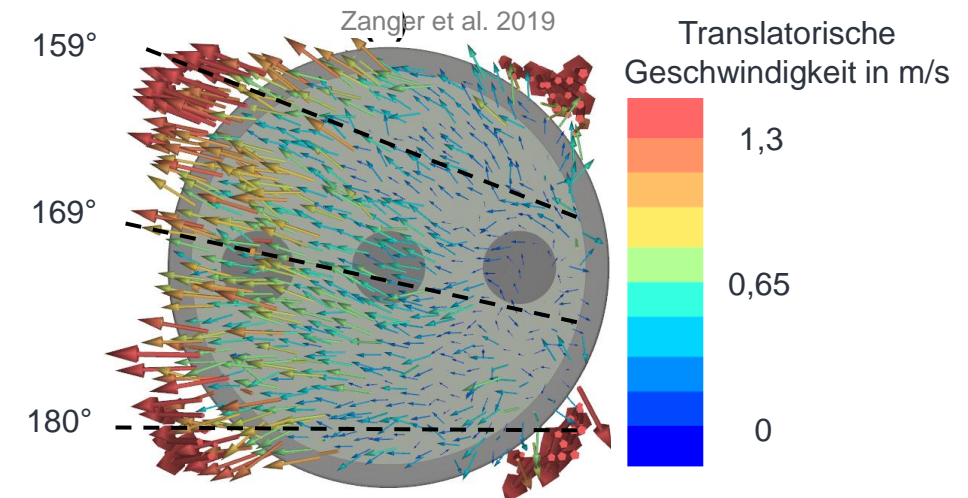
# AUSGEWÄHLTE ERGEBNISSE

Vergleich der Experimente mit den Simulationen

- Werkstück wurde vor der Bearbeitung den Planschleifriefen entsprechend vertikal ausgerichtet
- Winkel von  $h_{\text{eff}}$  stimmt weitestgehend mit den Texturrichtungen überein (leichter Offset)
- Simulation und Experiment zeigen identische Abströmungsrichtungen
- Simulativ ermittelte Normalkräfte ca. 80 % bis 92 % geringer als in Experimenten
- Normalkräfte aus Simulation und Experimenten zeigen qualitativ gleiche Tendenzen



Texturrichtung vor und nach Stream Finishing sowie Winkelbereich von  $h_{\text{eff}}$



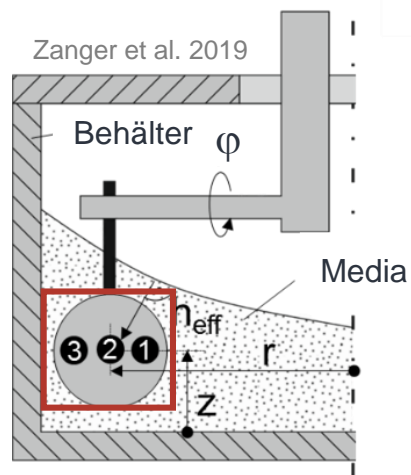
Geschwindigkeits-Vektorplot der DEM-Simulation

Quelle: Zanger F, Kacaras A, Neuenfeldt P, Schulze V: Optimization of the stream finishing process for mechanical surface treatment by numerical and experimental process analysis. CIRP Annals, 2019.

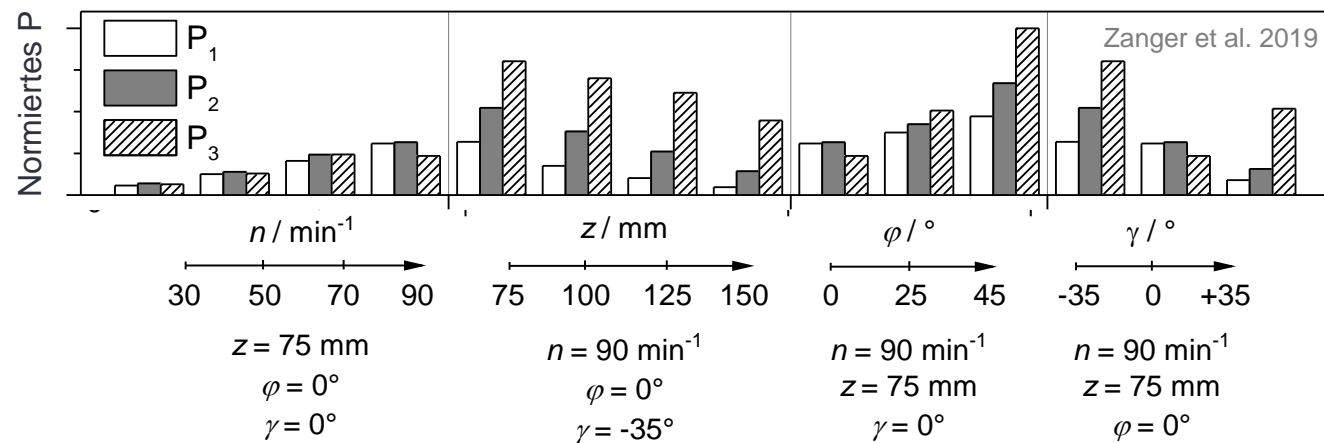
# AUSGEWÄHLTE ERGEBNISSE

Leistungsäquivalent

- Starke Einflüsse der Werkstückausrichtung bzw. der damit verbundenen Strömungsumlenkung auf die Tangentialgeschwindigkeit  $v_t$  und Normalkraft  $F_N$
- Vereinfachte Interpretation:
  - Ablenkung der Strömung nach unten (zum Behälterboden) bzw. innen (zur Rotationsachse) erhöht die lokale Tangentialgeschwindigkeit  $v_t$
  - Umlenkung nach unten (zum Behälterboden) bzw. außen (Behälterwand) steigert die lokale Normalkraft  $F_N$
- Berechnung eines Leistungsäquivalents  $P = F_N \cdot v_t$
- Lokale Auflösung an den Positionen 1, 2 und 3



Schematische Darstellung der varierten Parameter



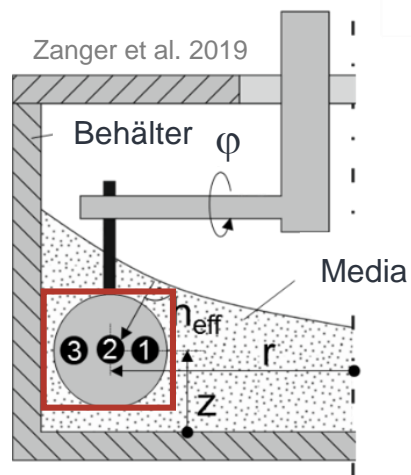
Darstellung des lokalen Leistungsäquivalents über den variierten Parametern

Quelle: Zanger F, Kacaras A, Neuenfeldt P, Schulze V: Optimization of the stream finishing process for mechanical surface treatment by numerical and experimental process analysis. CIRP Annals, 2019.

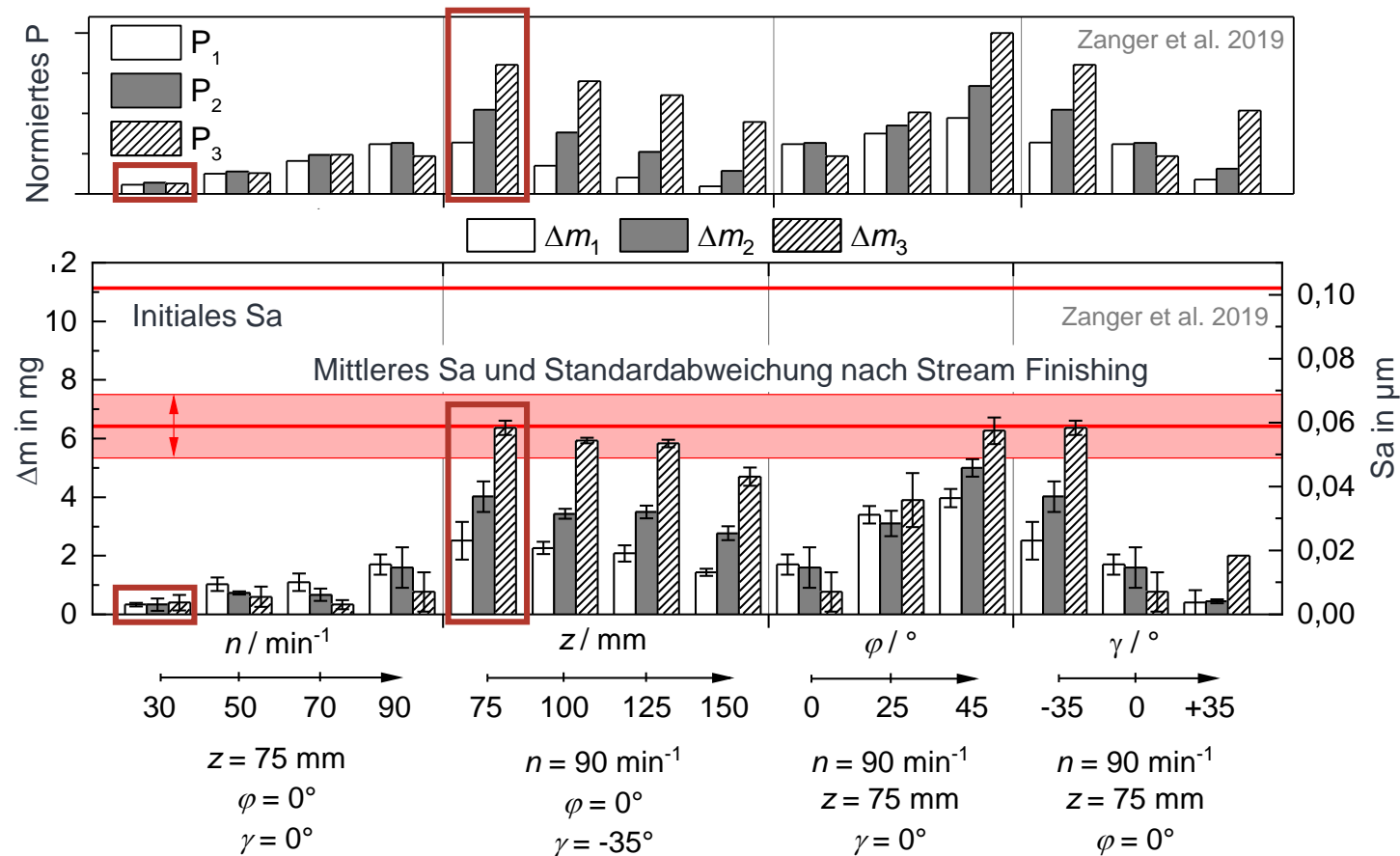
# AUSGEWÄHLTE ERGEBNISSE

Leistungsäquivalent

- Vergleich des Leistungsäquivalents mit dem Materialabtrag und der Rauheit Sa
- Rauheit Sa und Materialabtrag  $\Delta m$  nach 20 min Stream Finishing
- Stationärer Rauheitszustand, da stationäres Sa bei deutlich unterschiedlichem  $\Delta m$
- Steigt P so steigt auch  $\Delta m$  mit gleichem qualitativen Zusammenhang über die Position 1, 2 und 3



Schematische Darstellung der variierten Parameter



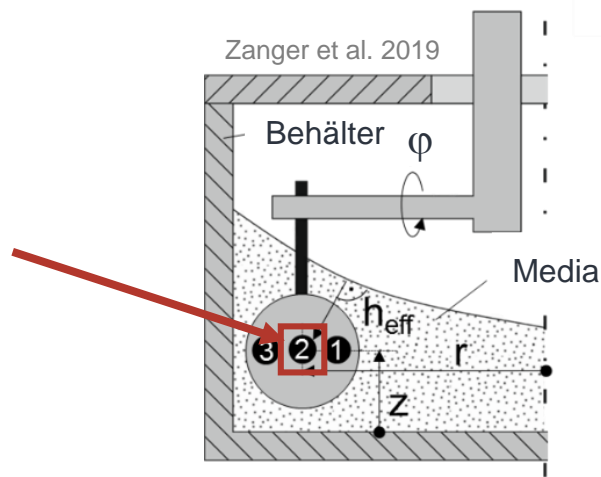
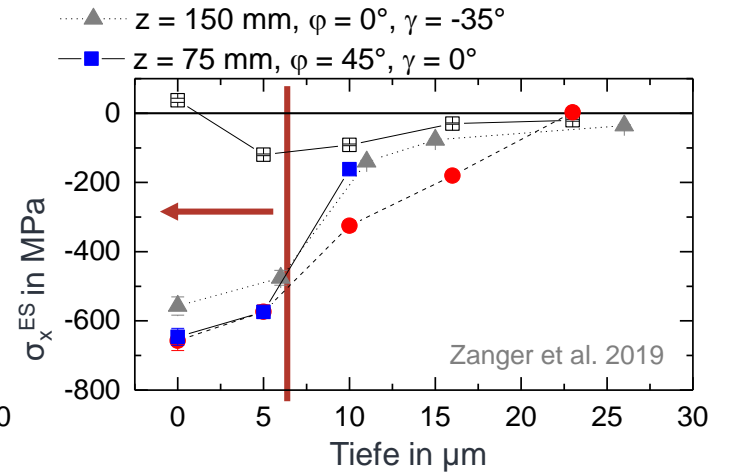
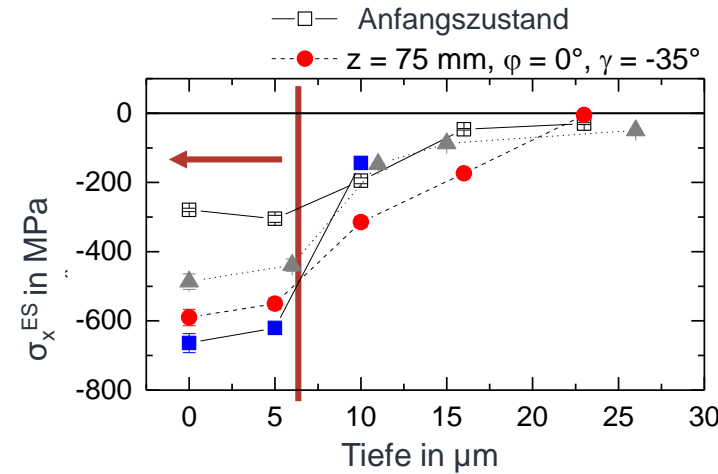
Darstellung des lokalen Leistungsäquivalents P, des Materialabtrags  $\Delta m$  und der Rauheit Sa über die variierten Parameter

Quelle: Zanger F, Kacaras A, Neuenfeldt P, Schulze V: Optimization of the stream finishing process for mechanical surface treatment by numerical and experimental process analysis. CIRP Annals, 2019.

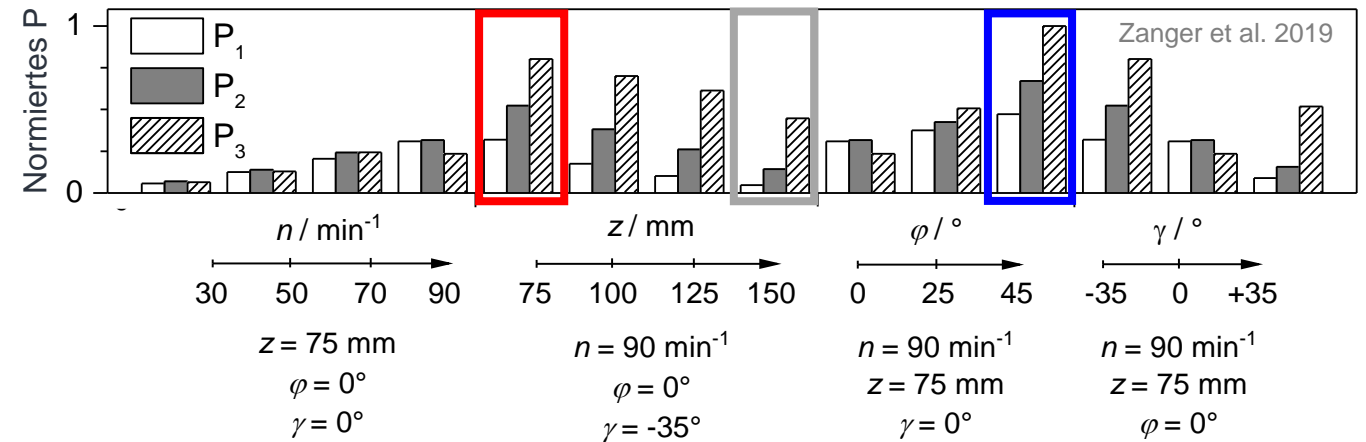
# AUSGEWÄHLTE ERGEBNISSE

Leistungsäquivalent

- Vergleich des Leistungsäquivalents mit den induzierten Eigenspannungen an Position 2
- Bewertung der Tiefenverläufe bis ca. 5  $\mu\text{m}$  sinnvoll, aufgrund der Genauigkeit des elektrochemischen Polierens
- Steigt P so steigen auch die induzierten Druckeigenspannungen



Schematische Darstellung der variierten Parameter



Darstellung der lokalen Eigenspannungen, des Materialabtrags  $\Delta m$  und der Rauheit  $S_a$  über den variierten Parametern

Quelle: Zanger F, Kacaras A, Neuenfeldt P, Schulze V: Optimization of the stream finishing process for mechanical surface treatment by numerical and experimental process analysis. CIRP Annals, 2019.



# AUSGEWÄHLTE ERGEBNISSE

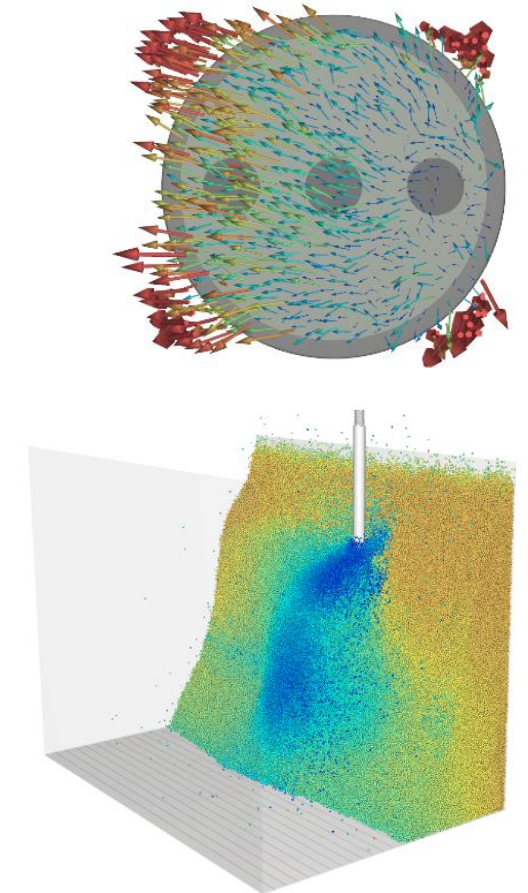
## Zusammenfassung

### Allgemein

- Lokale Betrachtung der Prozessgrößen ist zur Prozessauslegung notwendig
- Aufstauungseffekte und somit Prozesszeit zur Oberflächenglättung hängen direkt vom Werkstück-Eintauchwinkel und -Drehwinkel ab

### Anwendungsbezogene Gesetzmäßigkeiten

- Umlenkung nach unten (Behälterboden) bzw. außen (Behälterwand) steigert  $F_N$
- Umlenkung nach unten (Behälterboden) bzw. innen (Rotationsachse) steigert  $v_t$
- $P$  ist ein Maß für  $\Delta m$
- $P$  ist ein Maß für induzierte Druck-Eigenstressungen



# VERÖFFENTLICHUNG IN DEN CIRP ANNALS

- Die dargestellten Ergebnisse werden in den CIRP Annals 2019 – Manufacturing Technology veröffentlicht
- Die zugehörige Veröffentlichung finden Sie unter:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850619301155>
- Titel: *Optimization of the stream finishing process for mechanical surface treatment by numerical and experimental process analysis*

G Model  
CIRP-1980; No. of Pages 4

**ARTICLE IN PRESS**

CIRP Annals - Manufacturing Technology xxx (2019) xxx-xxx

Contents lists available at [ScienceDirect](#)

 **ELSEVIER**

**CIRP Annals - Manufacturing Technology**

journal homepage: <http://ees.elsevier.com/cirp/default.asp>



**Optimization of the stream finishing process for mechanical surface treatment by numerical and experimental process analysis**

Frederik Zanger \*, Andreas Kacaras, Patrick Neuenfeldt, Volker Schulze (2)

Karlsruhe Institute of Technology (KIT), wbk Institute of Production Science, Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe, Germany





**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**

**Für Rückfragen stehe ich gerne zur Verfügung**

**Patrick Neuenfeldt, M.Sc.**  
Akademischer Mitarbeiter  
Tel.: +49 1523 9502602  
E-Mail: [patrick.neuenfeldt@kit.edu](mailto:patrick.neuenfeldt@kit.edu)

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