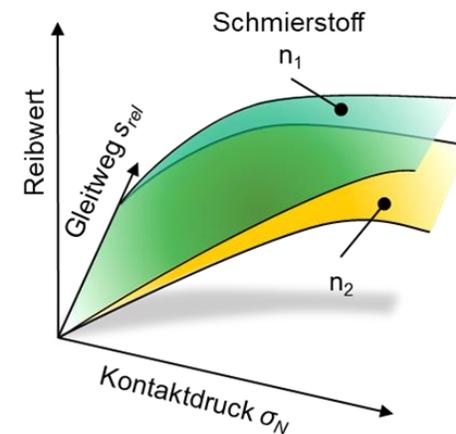


Ortsabhängige Modellierung von Reibwerten in Abhängigkeit von Kontaktdruck und Gleitweg in der Massivumformung

IMU „Ortsabhängige Reibung“ IGF 21648

IMU Jahrestagung 2024



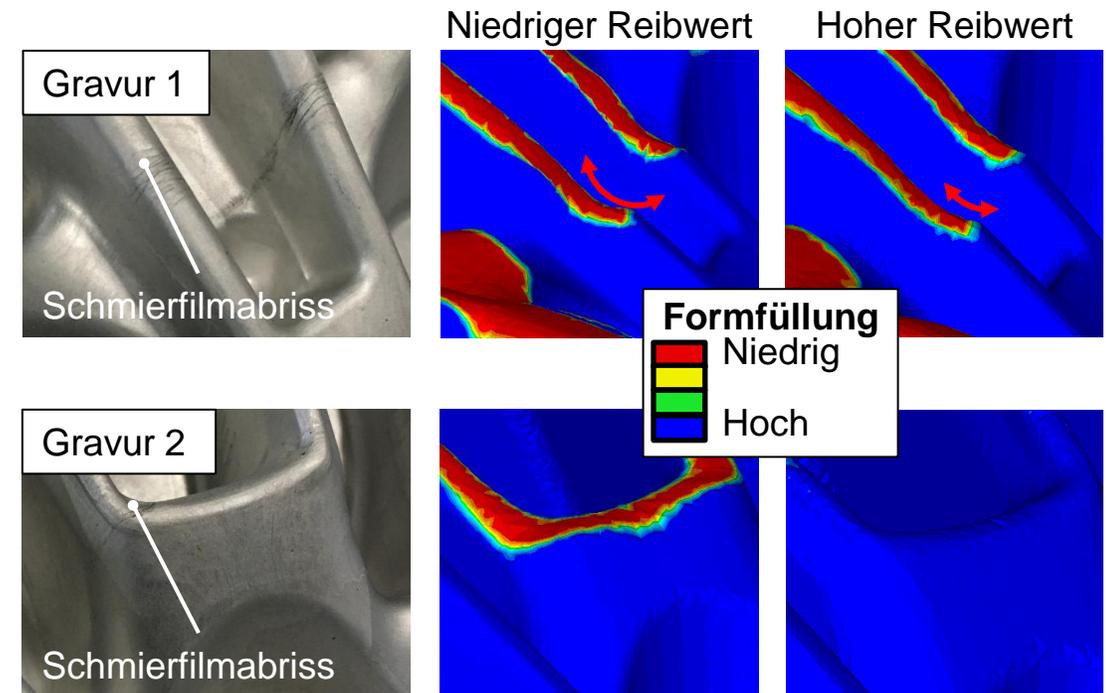
Problemstellung und Motivation

Konventionelle Reibmodelle sind global konstant definiert, nur gültig für:

- Global homogene Schmierfilmverteilung
- Zeitlich unveränderliche Kontaktbedingungen

Beobachtungen bei der Aluminium-Massivumformung:

- Schmierfilmabriss und adhäsiver Verschleiß
- Ganzheitliche Prozessbetrachtung (Umformkraft und lokale Bauteilqualität) derzeit nur mit Reibwertvariation
- Ineffektives Verfahren mit hohem Erfahrungsbedarf beim Anwender

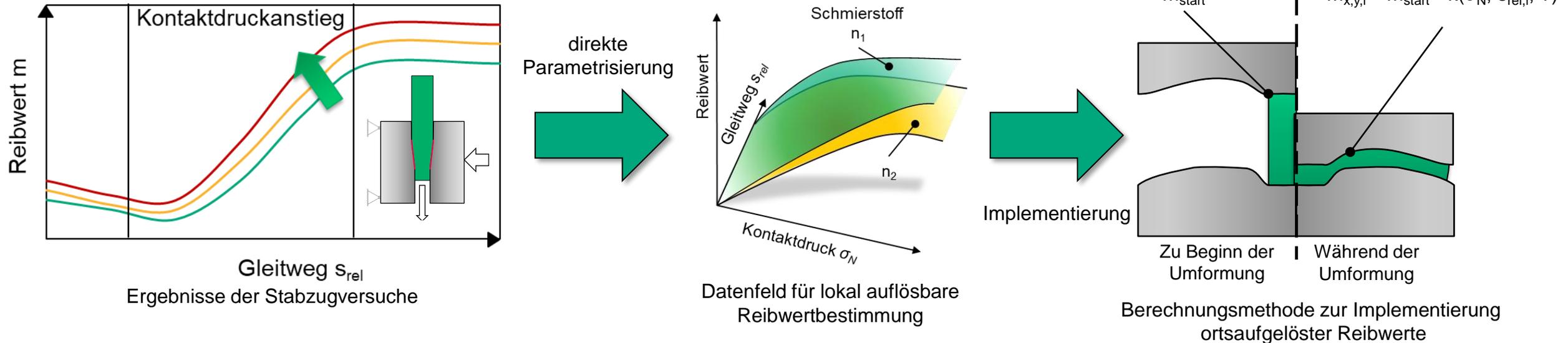


Projektproblemstellung: “Doppelte” Prozessberechnung zur Vorhersage von Umformkraft und Bauteilqualität

Projektziel

Geplante Implementierung einer orts aufgelösten Reibmodellierung in FE-Anwendung

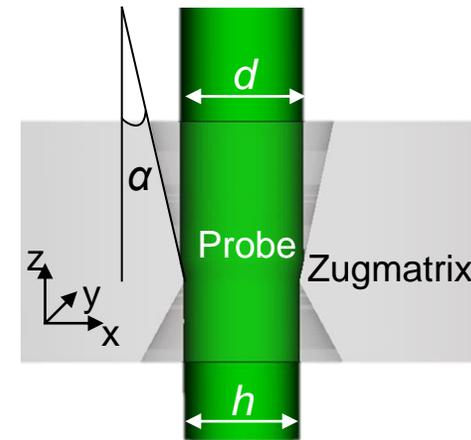
- Kontinuierliche, lokale kontaktgrößenabhängige Skalierung des Reibwertes während der laufenden Berechnung
- Exemplarische Implementierung in eine gängige FE-Anwendung der Massivumformung



Stabauszug nach Pawelski

Wesentliche Versuchsparameter:

- Zustellungsverhältnis h in %: Beeinflusst Kontaktdruck
- Stabdicke d in mm und Flankenwinkel α : Beeinflussen Kontaktfläche und Umformkraft
- Kontaktdruck σ_N mittels FE-Modell und User-Auswerteroutine ausgelegt



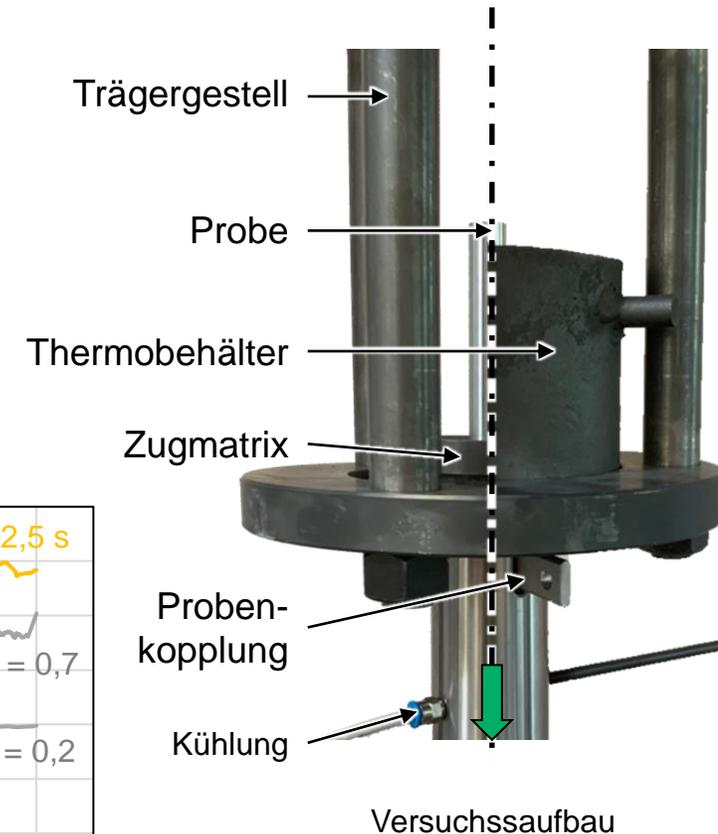
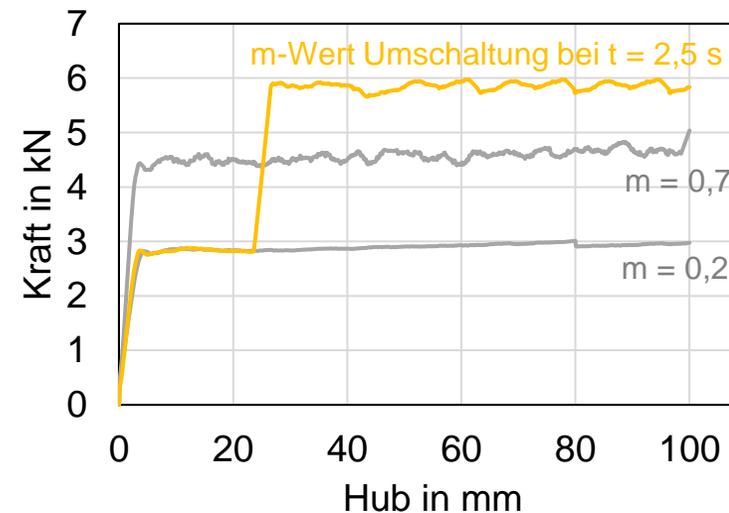
Versuchsparameter

Versuchseigenschaften:

- Stationärer Betriebszustand nach kurzem Einlauf
- Kontaktdruck nur von Zustellung, Temperatur und Materialfestigkeit abhängig

„Proof-of-Concept“ Implementierung:

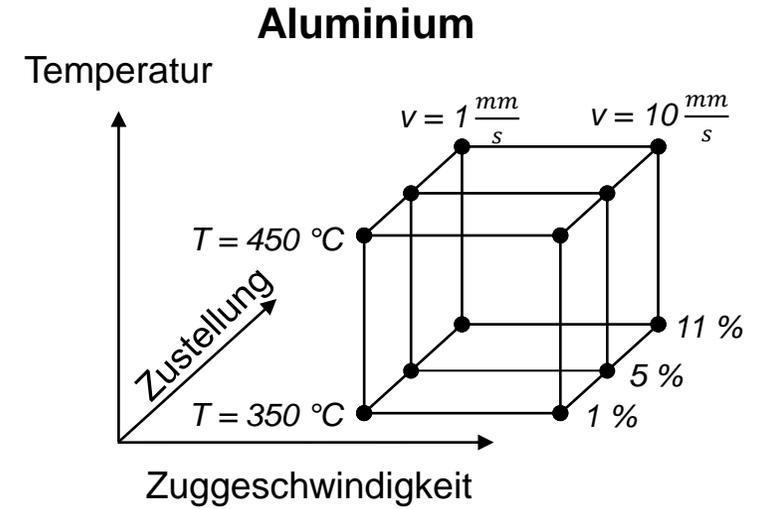
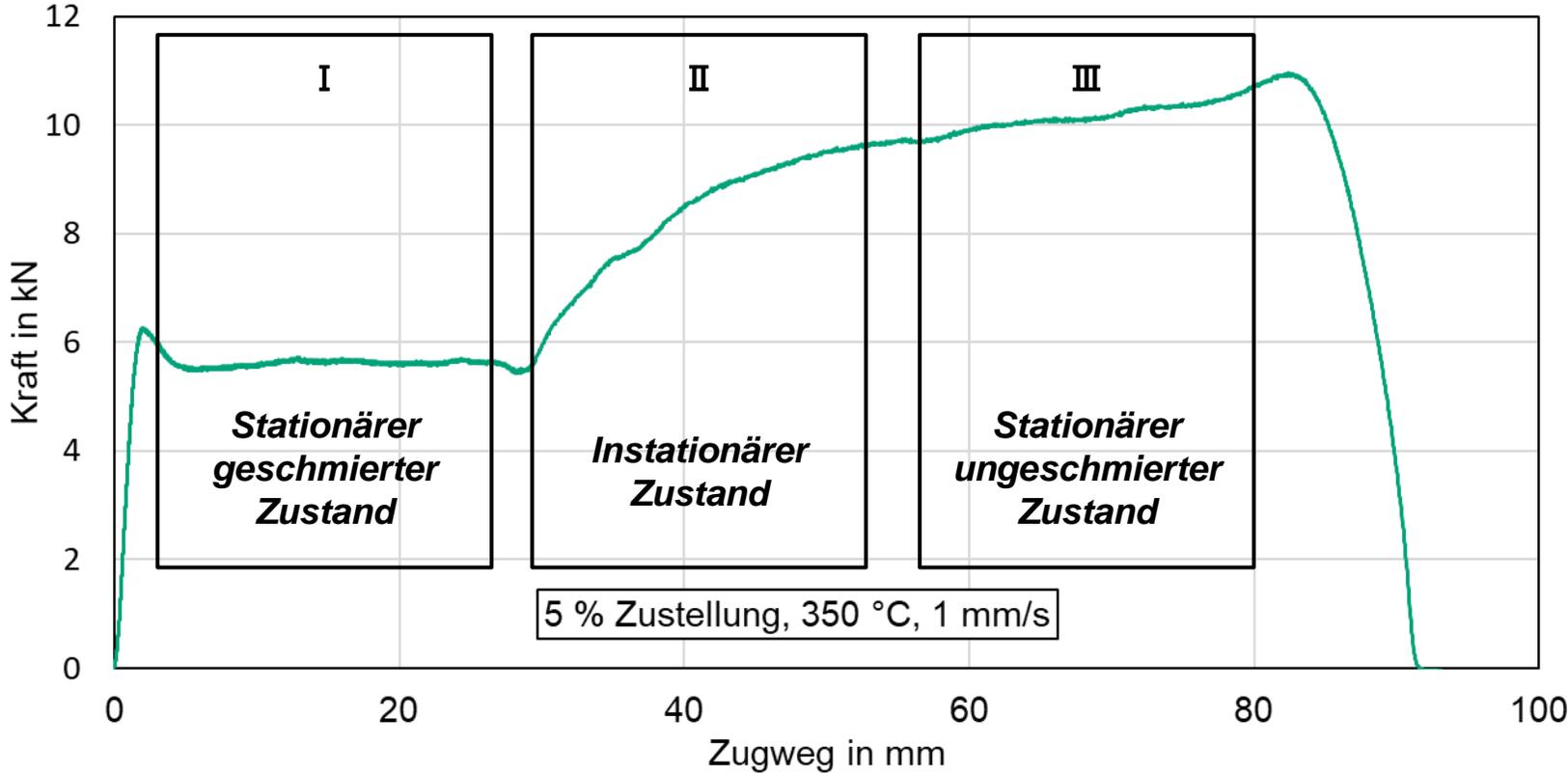
- Subroutine zur Reibwertumschaltung
- Voruntersuchungen zu den Versuchsparametern



Versuchsaufbau

Stabauszug nach Pawelski

Versuche der Hauptmessreihe - Reibwertermittlung



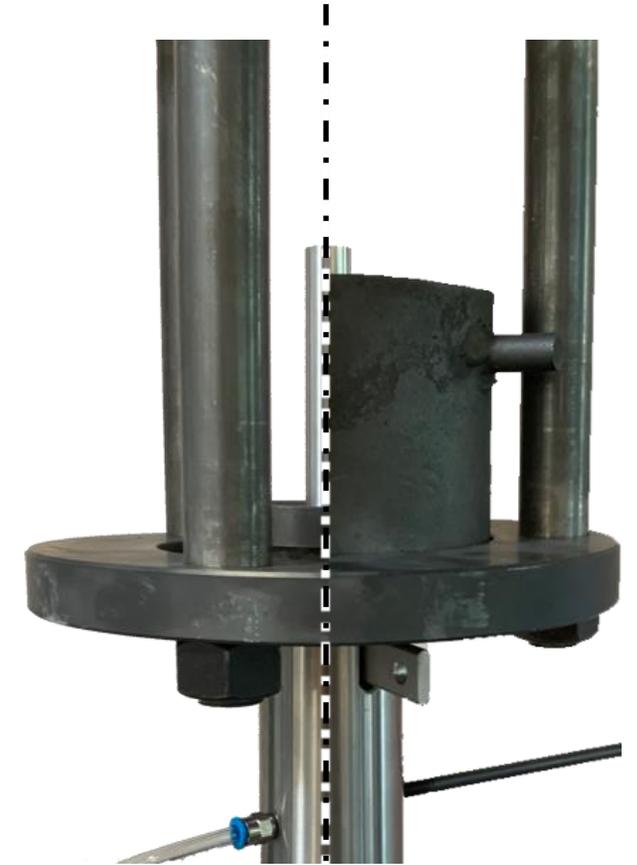
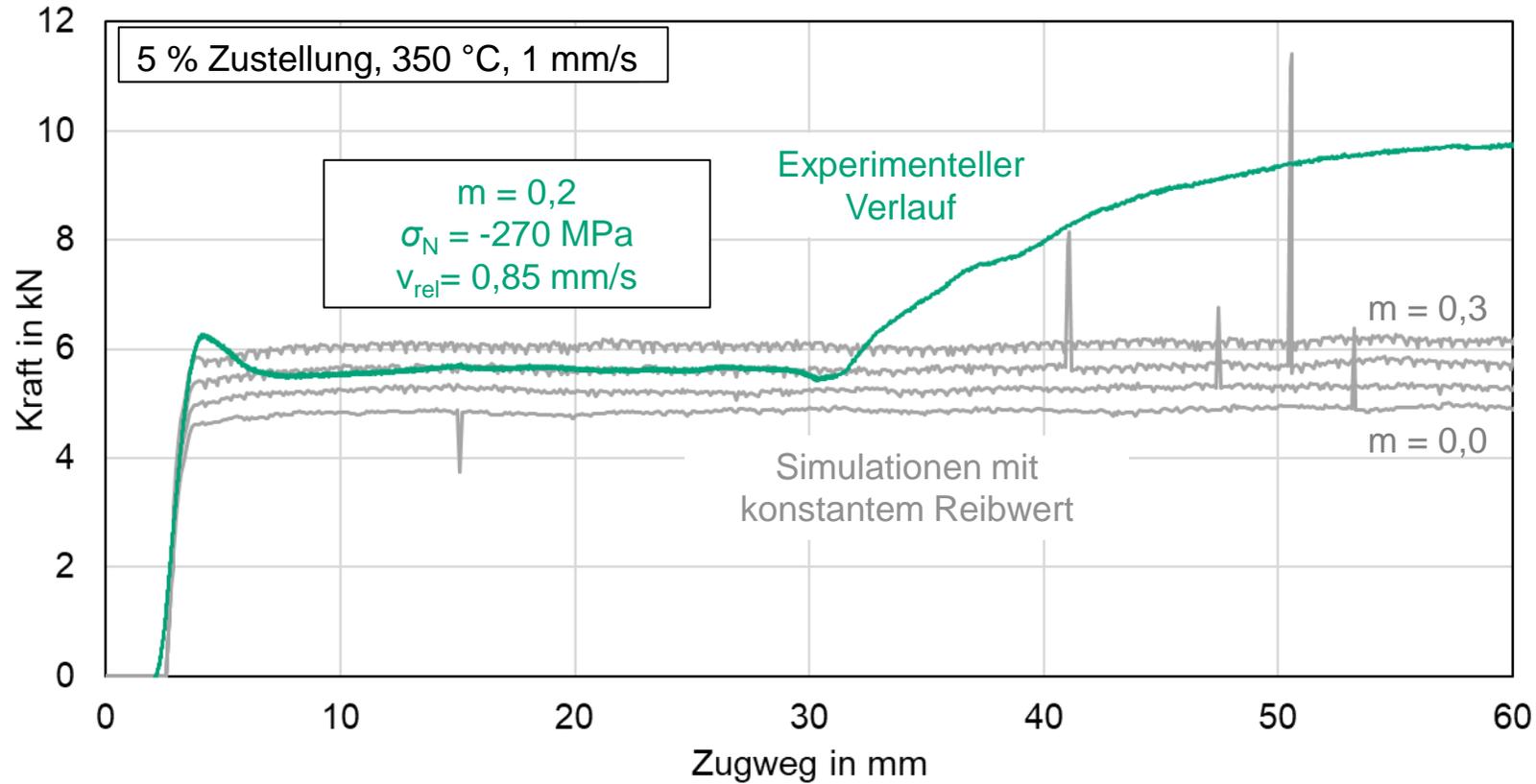
Ansätze:

- „LUBRODAL F 3670“ aufgetragen per Schwamm
- Al AW7022
- Betrachtung der Kontakttemperaturen
- Werkzeuge aus Stahl: 1.2343 (52 HRC)

Aussagen über die Idealschmierung, den schmierfreien Zustand sowie über den Übergang dazwischen möglich

Ermittlung Reibwertmodell

Zustand I – Geschmiert stationär

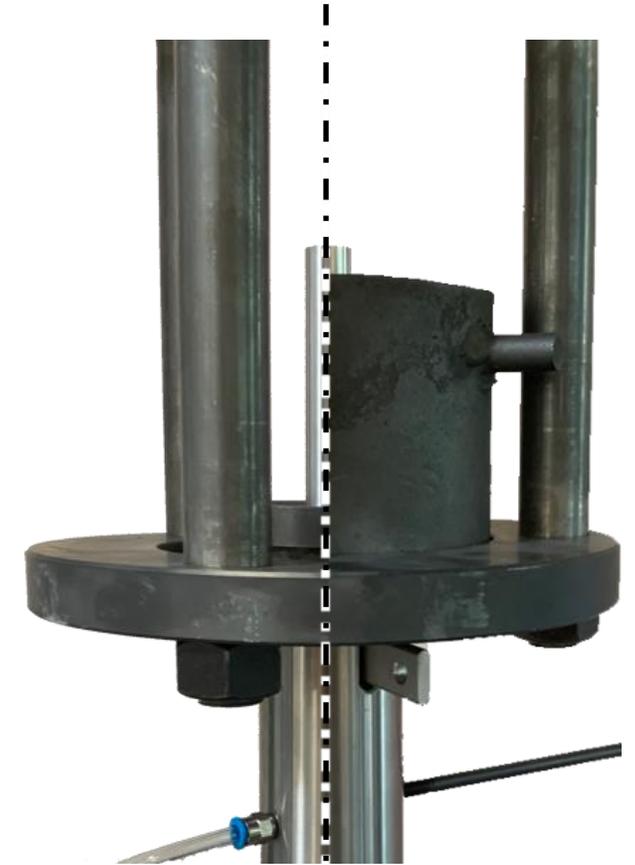
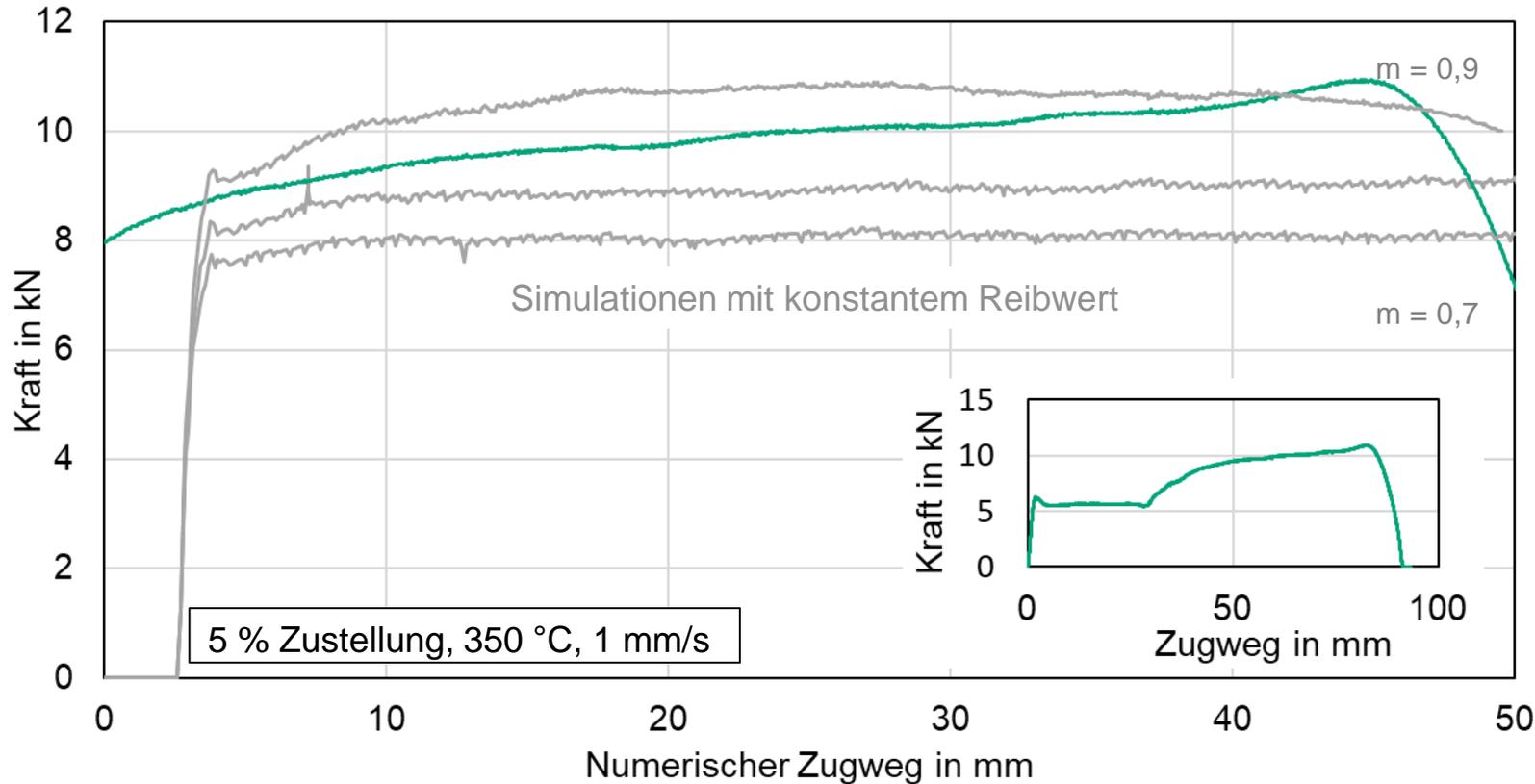


Verwendeter Versuchsaufbau V3

Reibwert von $m = 0,2$ im geschmierten Zustand

Ermittlung Reibwertmodell

Zustand III – Endzustand des Stabzugversuches

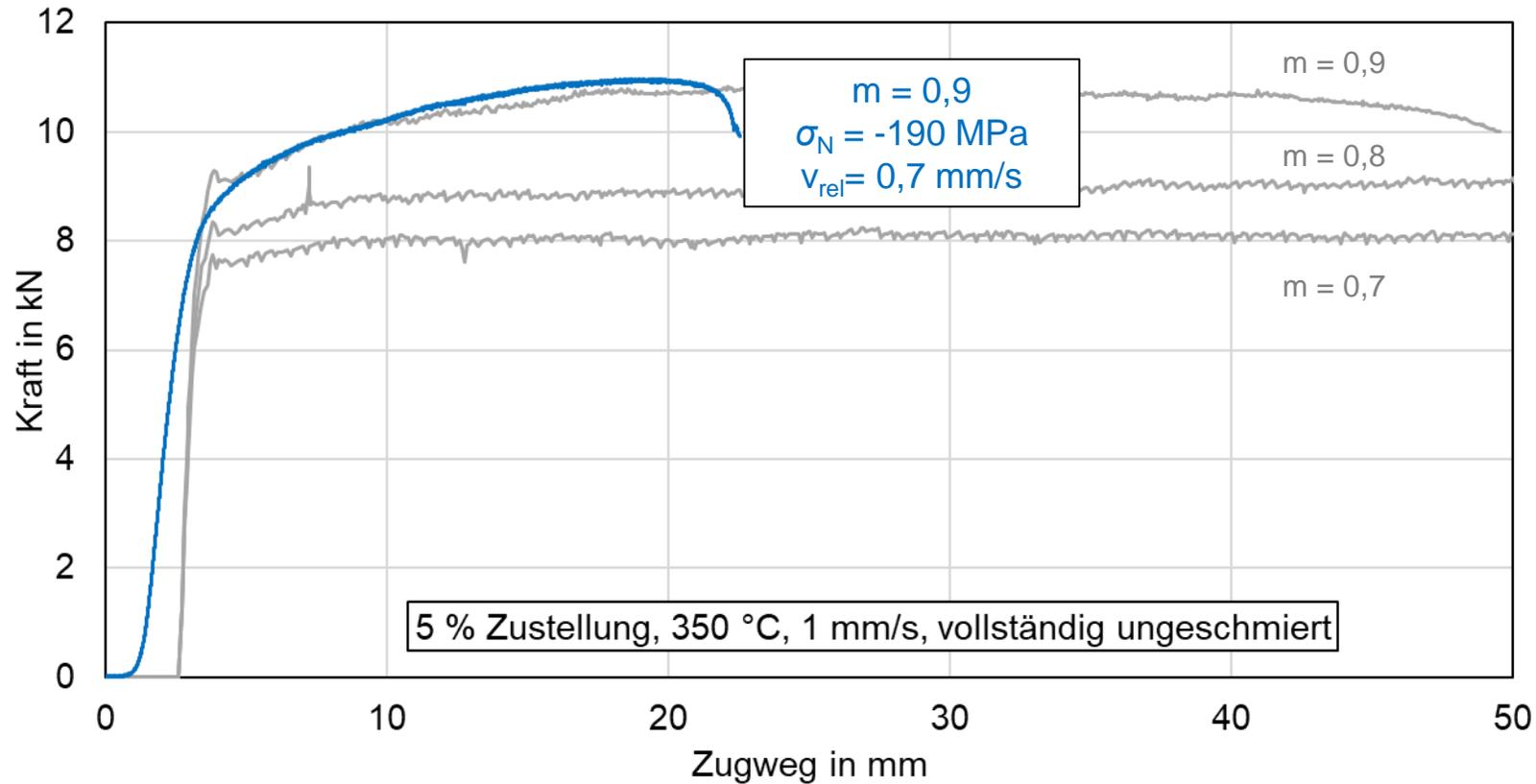


Verwendeter Versuchsaufbau V3

Reibwert von $m = 0,85$ bis $m = 0,9$ im ungeschmierten Zustand

Ermittlung Reibwertmodell

Referenz – Vollständig ungeschmiert, stationär

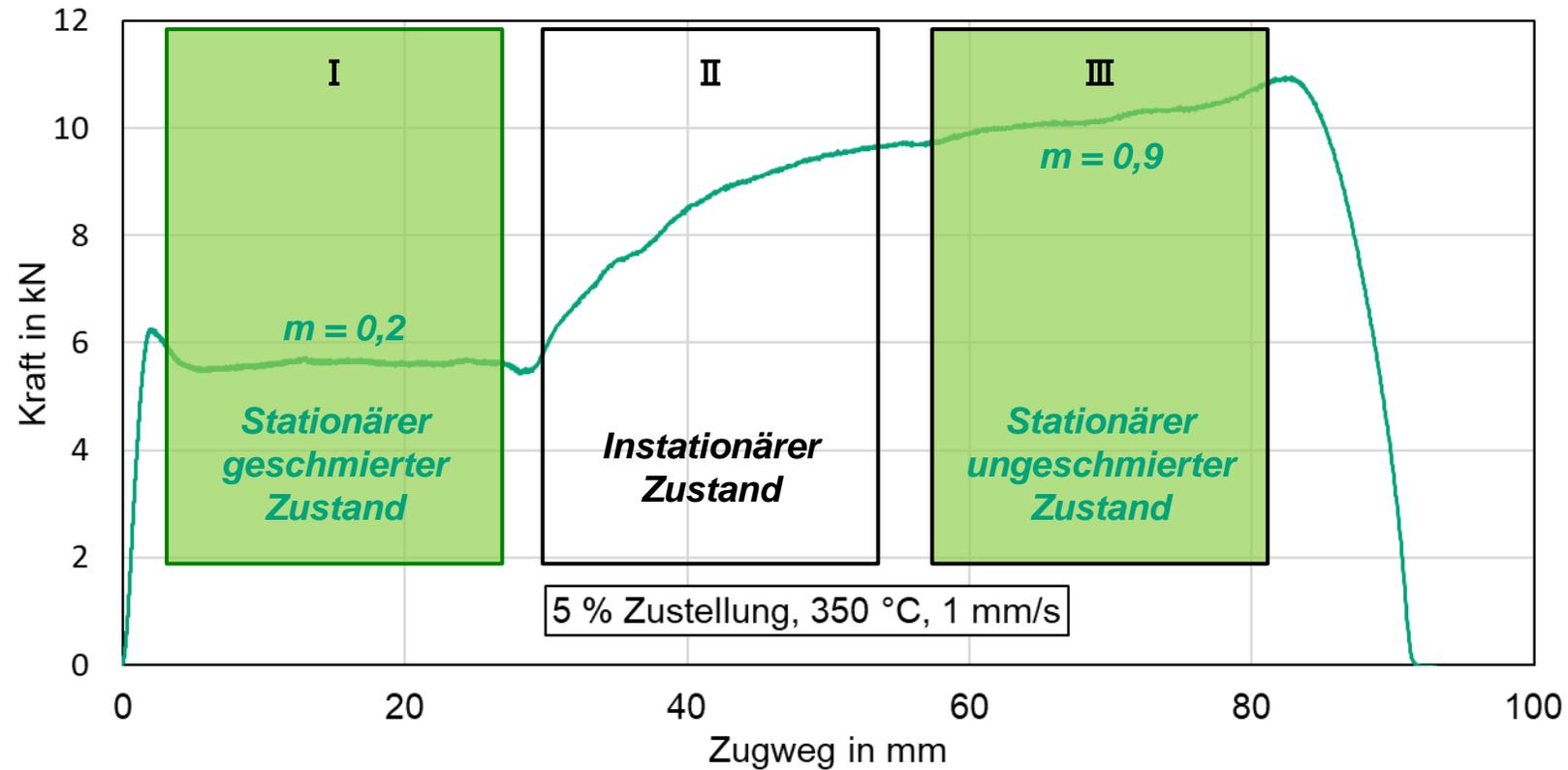


Verwendeter Versuchsaufbau V3

Bestätigt: Reibwert von 0,9 im ungeschmierten Zustand

Ermittlung Reibwertmodell

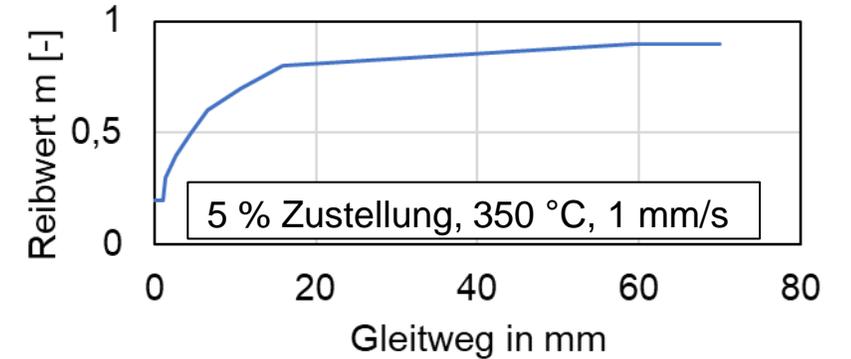
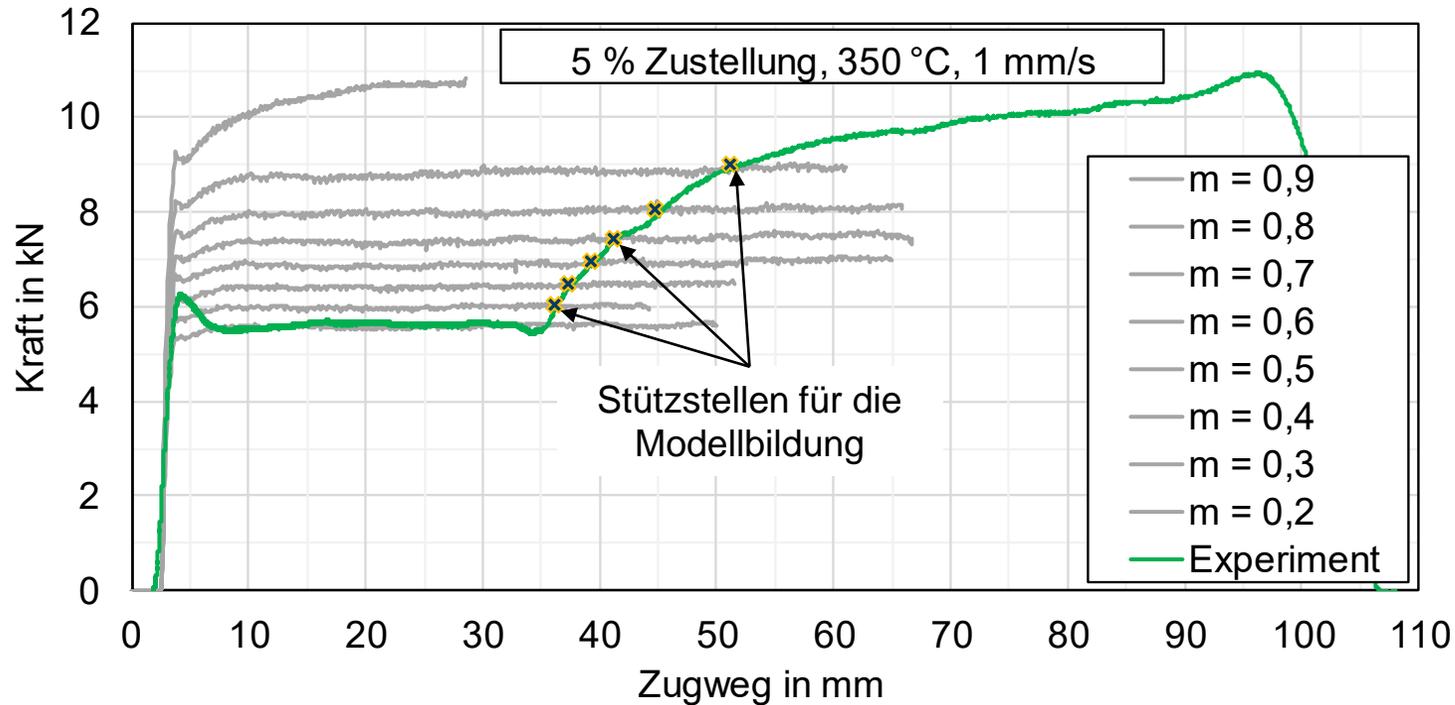
Versuche der Hauptmessreihe – Reibwertermittlung



Aussagen über die Idealschmierung, den schmierfreien Zustand sowie über den Übergang dazwischen möglich

Ermittlung Reibwertmodell

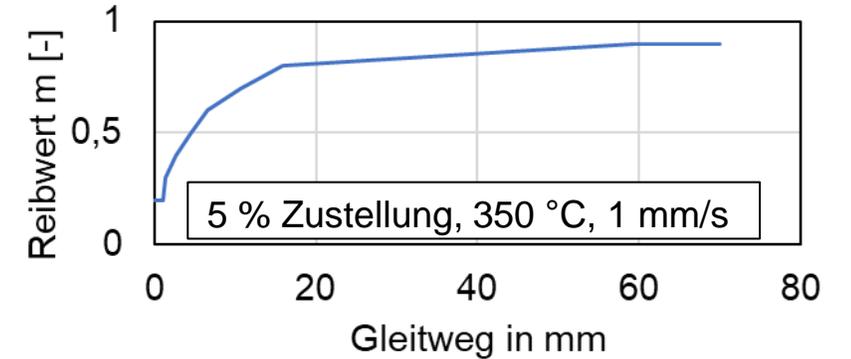
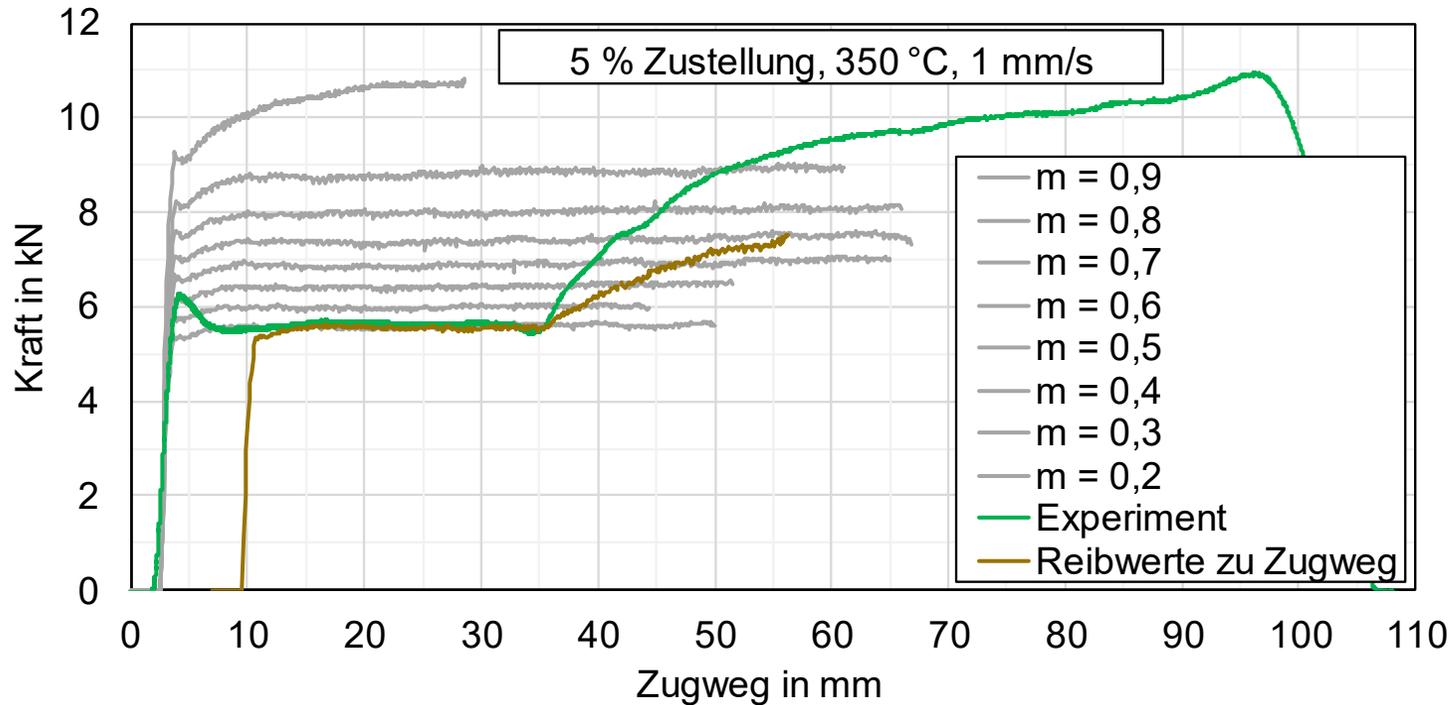
Ansatz: Bestimmung von Reibwerten in Abhängigkeit des Zugweges durch Abgleich mit Simulationen bei konstantem Reibwert



Reibwert m in -	Gleitweg in mm
0,2	0,0
0,2	1,0
0,3	1,4
0,4	2,6
0,5	4,5
0,6	6,6
0,7	10,6
0,8	15,9
0,9	59,3
0,9	70,0

Ermittlung Reibwertmodell

Validierung der Reibwerte und Datenpunkte aus Versuchen

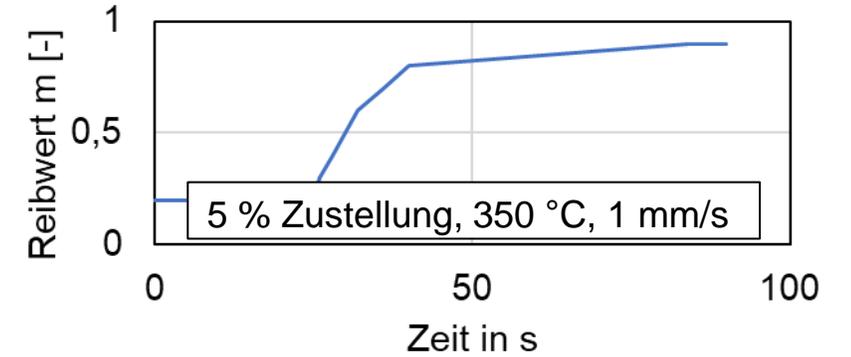
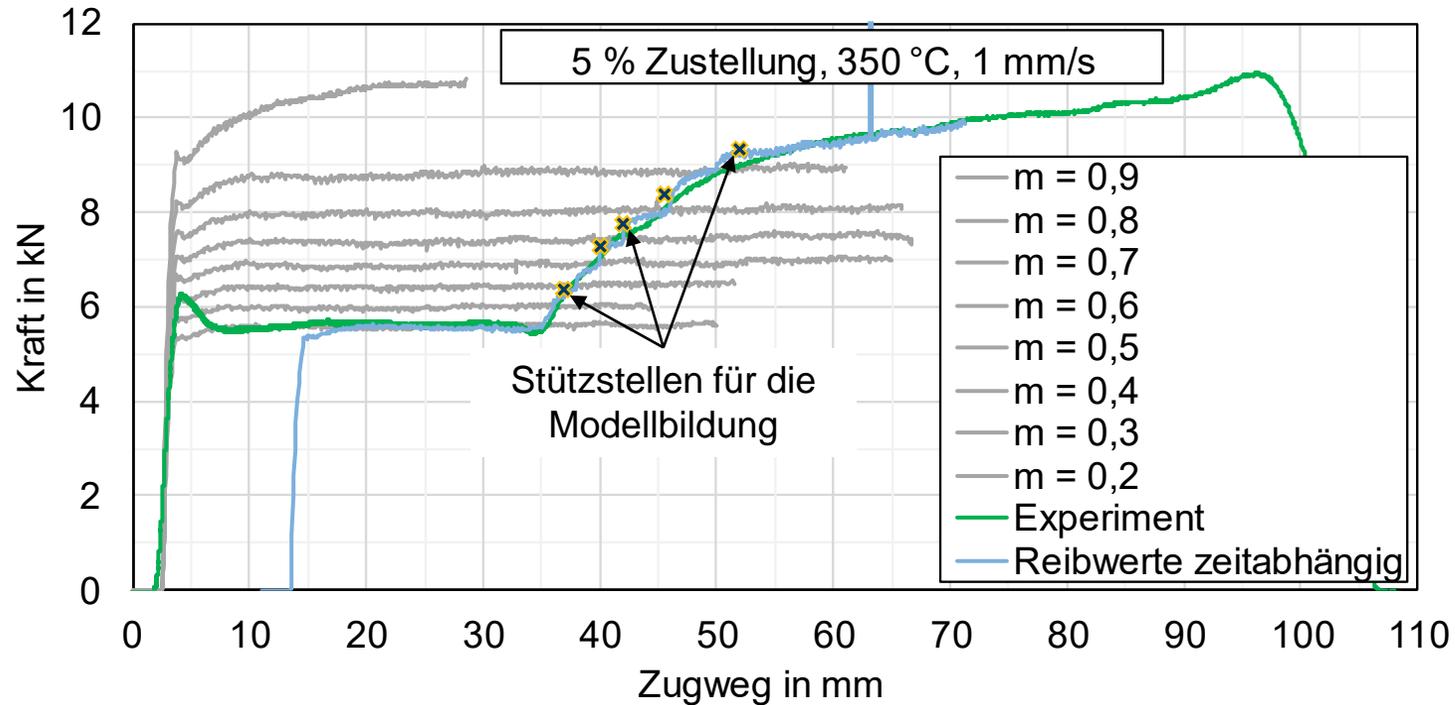


Reibwert m in -	Gleitweg in mm
0,2	0,0
0,2	1,0
0,3	1,4
0,4	2,6
0,5	4,5
0,6	6,6
0,7	10,6
0,8	15,9
0,9	59,3
0,9	70,0

Ergebnis: Die direkte Implementierung der Reibwerte in Relation zum Gleitweg führt zu geringeren Kräften

Ermittlung Reibwertmodell

Ansatz: Zeitabhängiges globales Reibwertmodell



Reibwert m [-]	Zeit in s
0,2	0
0,2	25
0,3	26
0,4	28
0,5	30
0,6	32
0,7	36
0,8	40
0,9	84
0,9	90

Ergebnis: Die direkte Implementierung der Reibwerte in Relation zur Zeit führt zu einer hohen Übereinstimmung der Kräfte

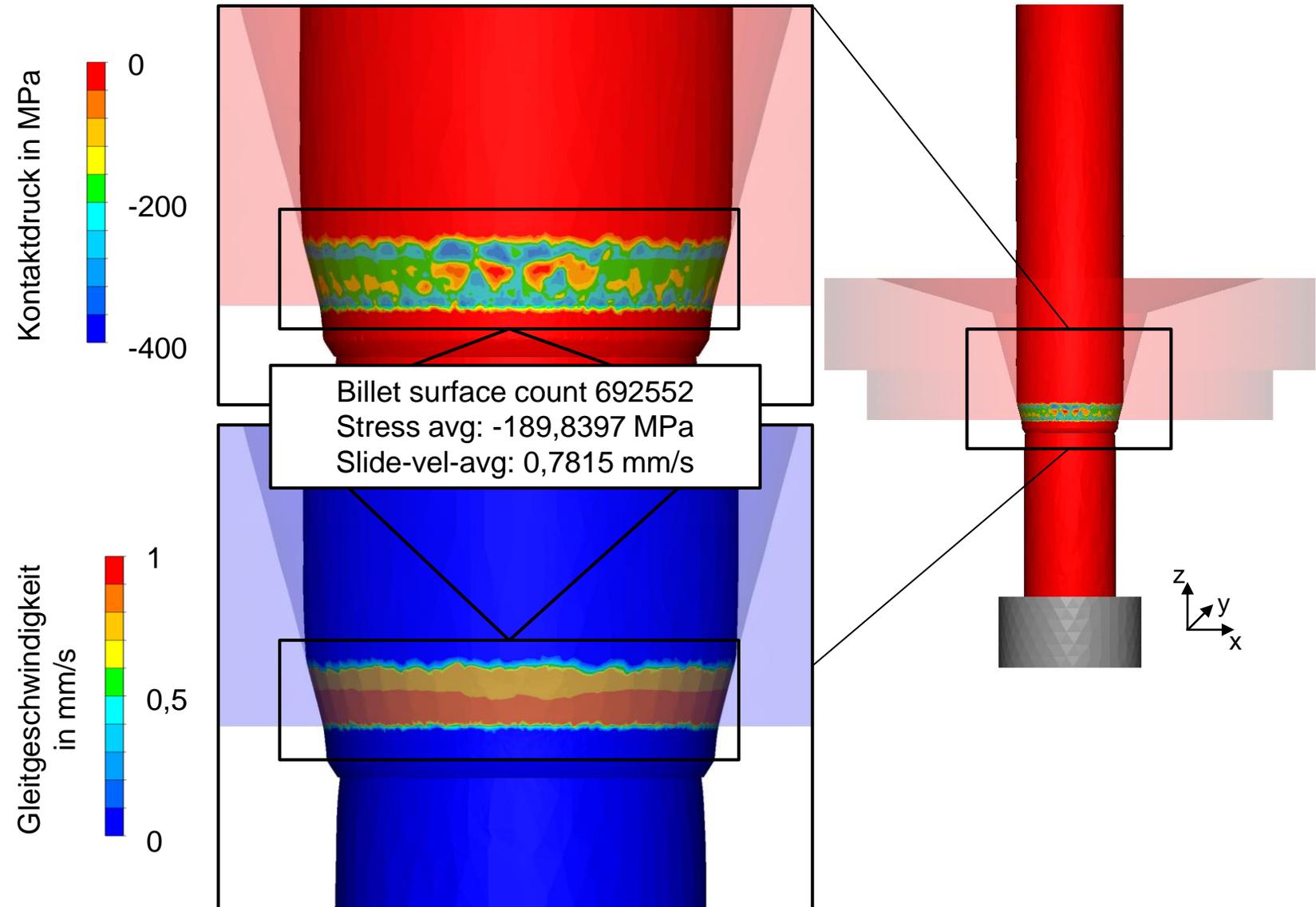
Ermittlung Reibwertmodell

Ziel: Zusammenführung mit
simulativ ermittelten lokalen
Prozessgrößen

Herausforderung: Inhomogene
Ergebnisfelder der Prozessgrößen

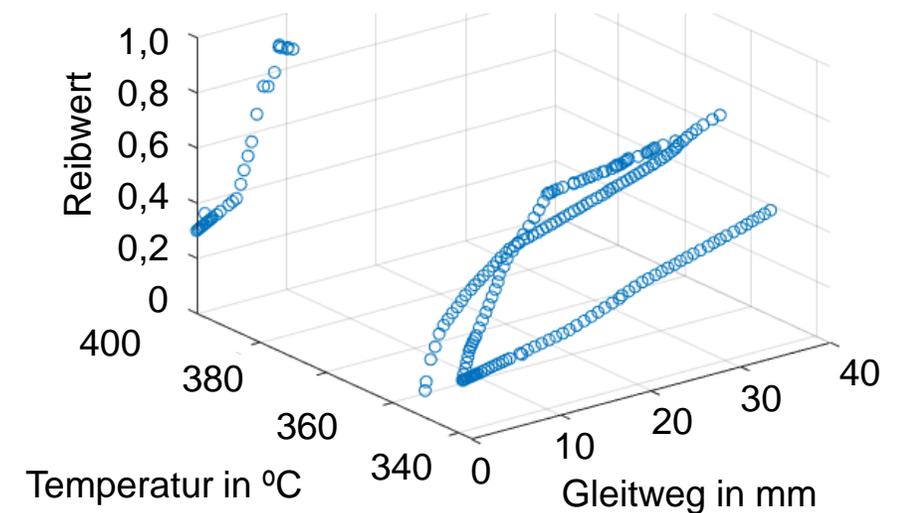
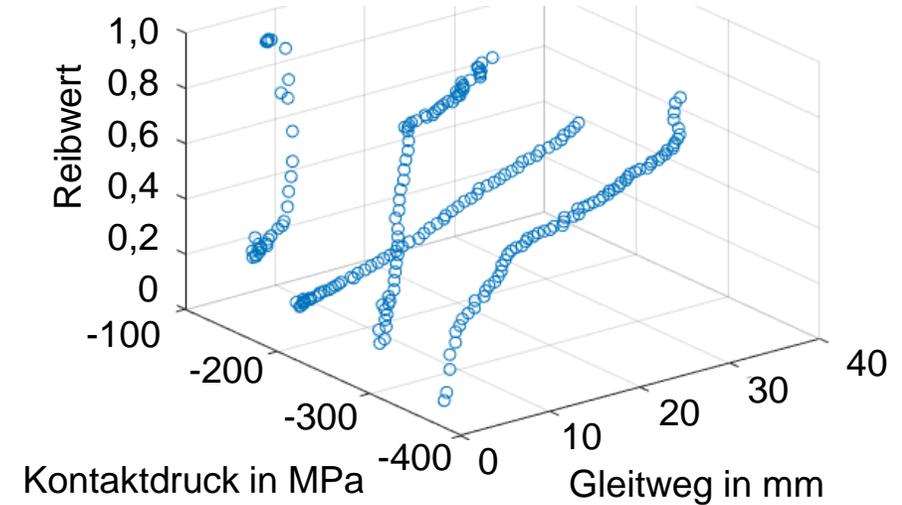
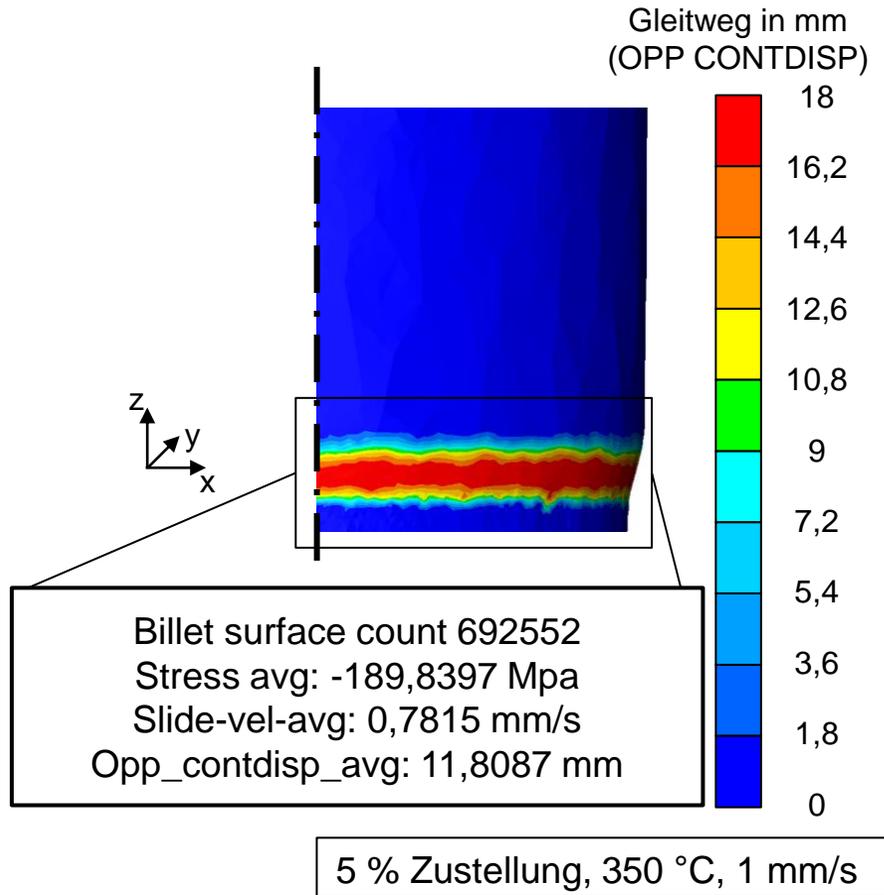
Ansatz: Bildung des Mittelwertes
der Kontaktzone

→ **Wechsel zu Forge 4.0**



Ermittlung Reibwertmodell

Ansatz: Bildung eines Reibwertmodells anhand der lokalen Kontaktgrößen aus zeitabhängiger Simulation



Ermittlung Reibwertmodell

Ziel: Bildung eines Reibmodells anhand der bestimmten Kontaktgrößen

$$\text{Reibwert } m = \theta_1 + ((\theta_2 * \ln(\text{Gleitweg} + 1,01)) * \left(\frac{\text{Temperatur}}{\theta_3}\right)^{\theta_4} * \left(\frac{\text{Normalspannung}}{\theta_5}\right)^{\theta_6} * \left(\frac{\text{Gleitgeschwindigkeit}}{\theta_7}\right)^{\theta_8}$$

Koeffizient in -	Wert in -
θ_1	0,15
θ_2	0,18
θ_3	330
θ_4	1,3
θ_5	-360
θ_6	0,2
θ_7	4,0
θ_8	-0,25

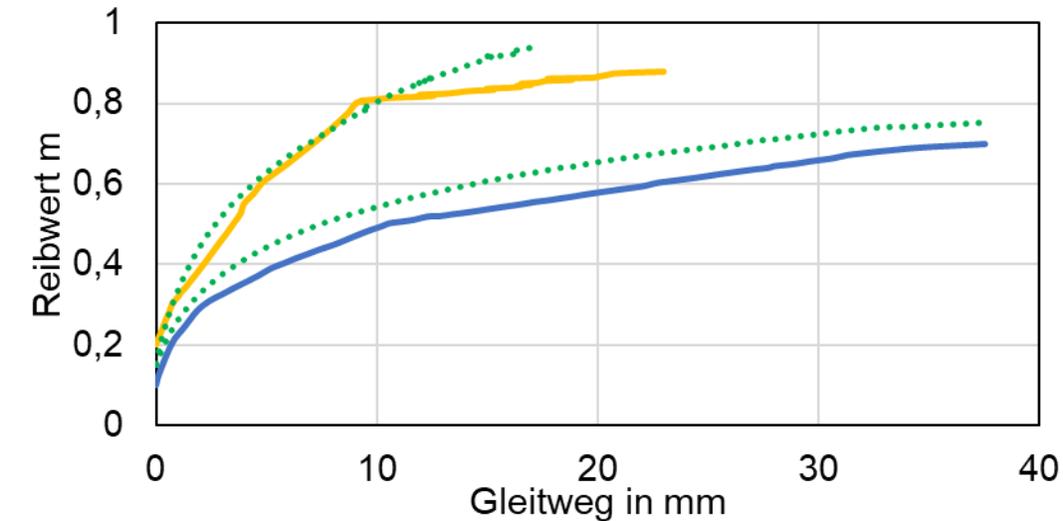
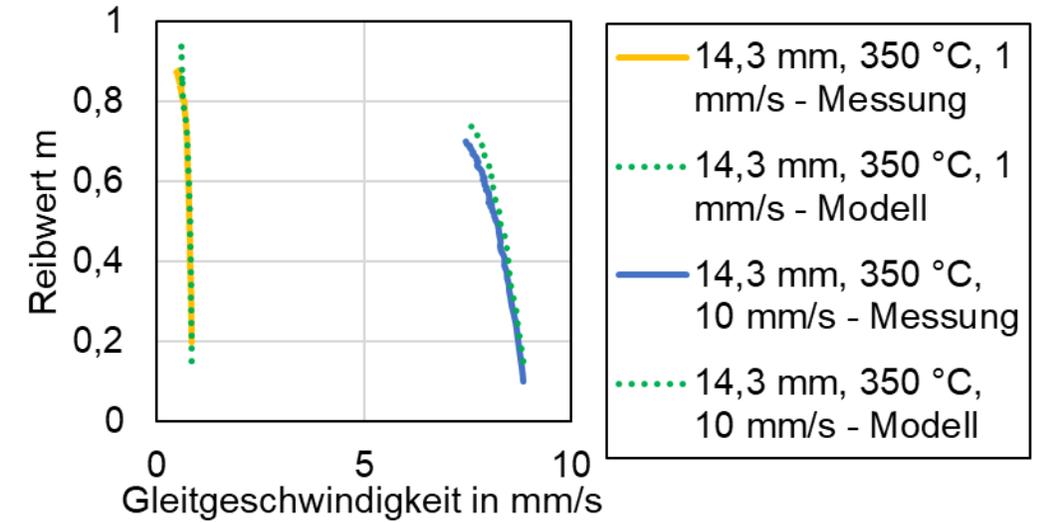


Abbildung der lokalen Datenpunkte sowie qualitativer Zusammenhänge möglich

Ermittlung Reibwertmodell

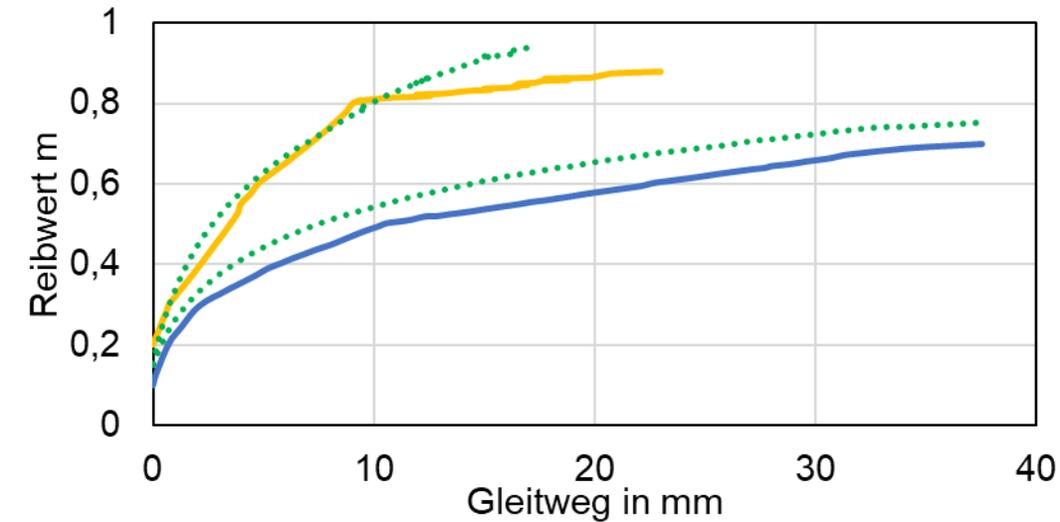
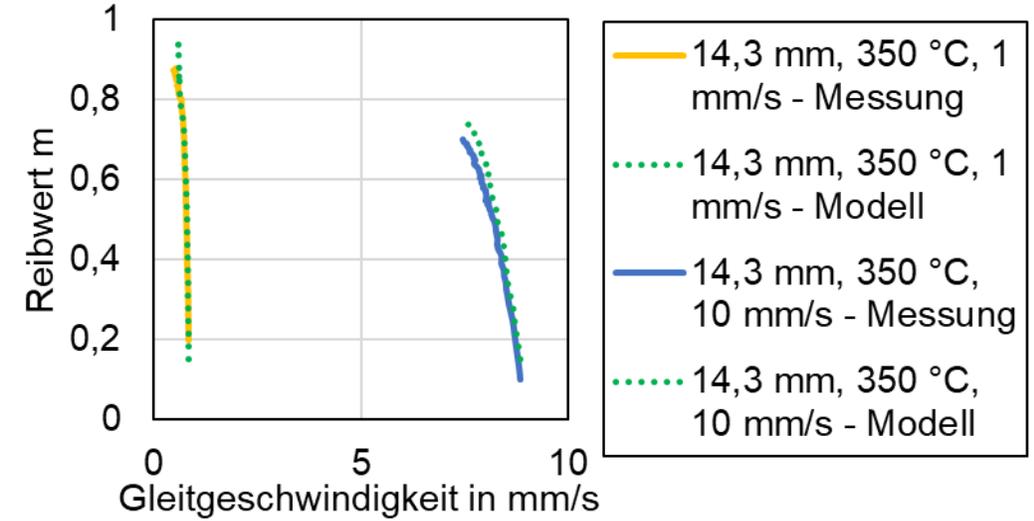
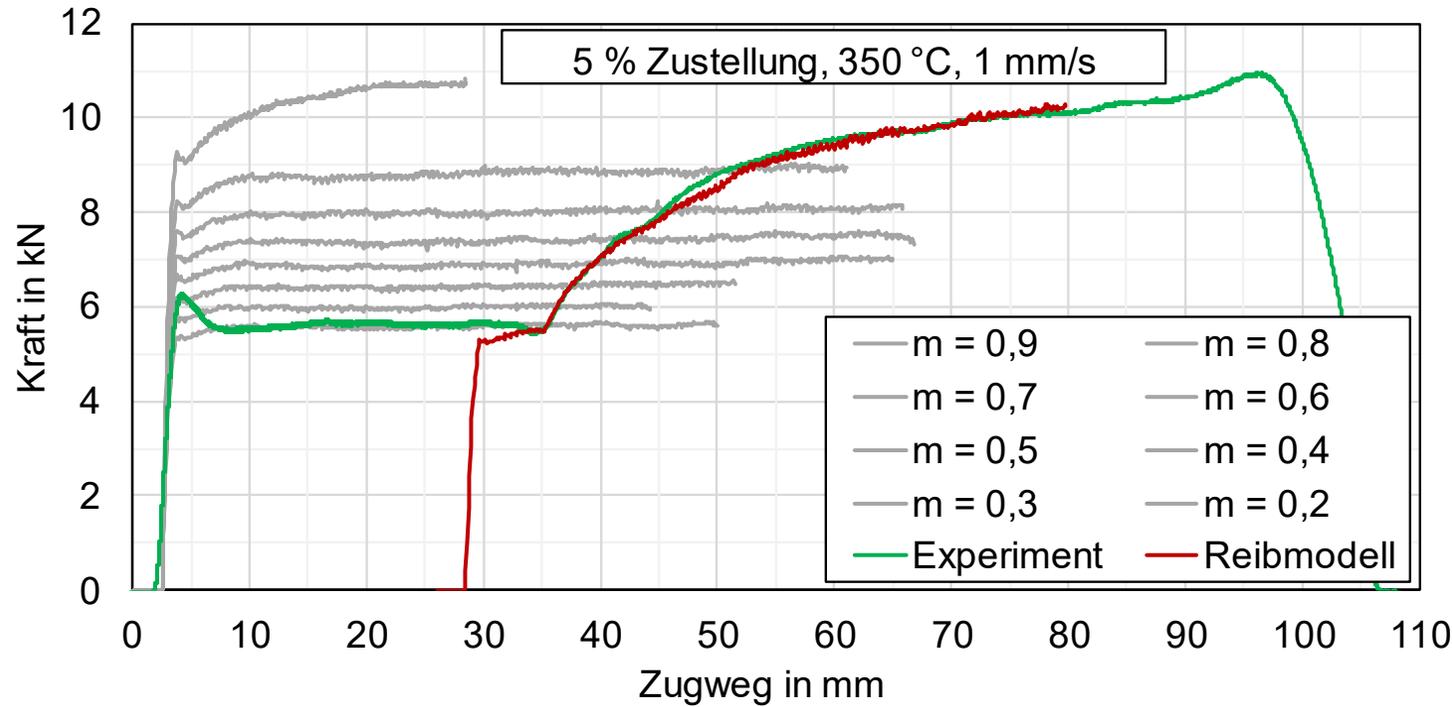


Abbildung der experimenteller Verläufe möglich

IFUM

Institut für Umformtechnik
und Umformmaschinen

Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens

Faktoren

	Festwert	Minimum	Maximum
Temperatur (X1)	<input checked="" type="checkbox"/>	Festwert: <input type="text" value="400"/>	
Kontaktdruck (X2)	<input checked="" type="checkbox"/>	Festwert: <input type="text" value="-360"/>	
Gleitweg (X3)	<input type="checkbox"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="40"/>
Gleitgeschwindigkeit (X4)	<input type="checkbox"/>	<input type="text" value="0.5"/>	<input type="text" value="10"/>

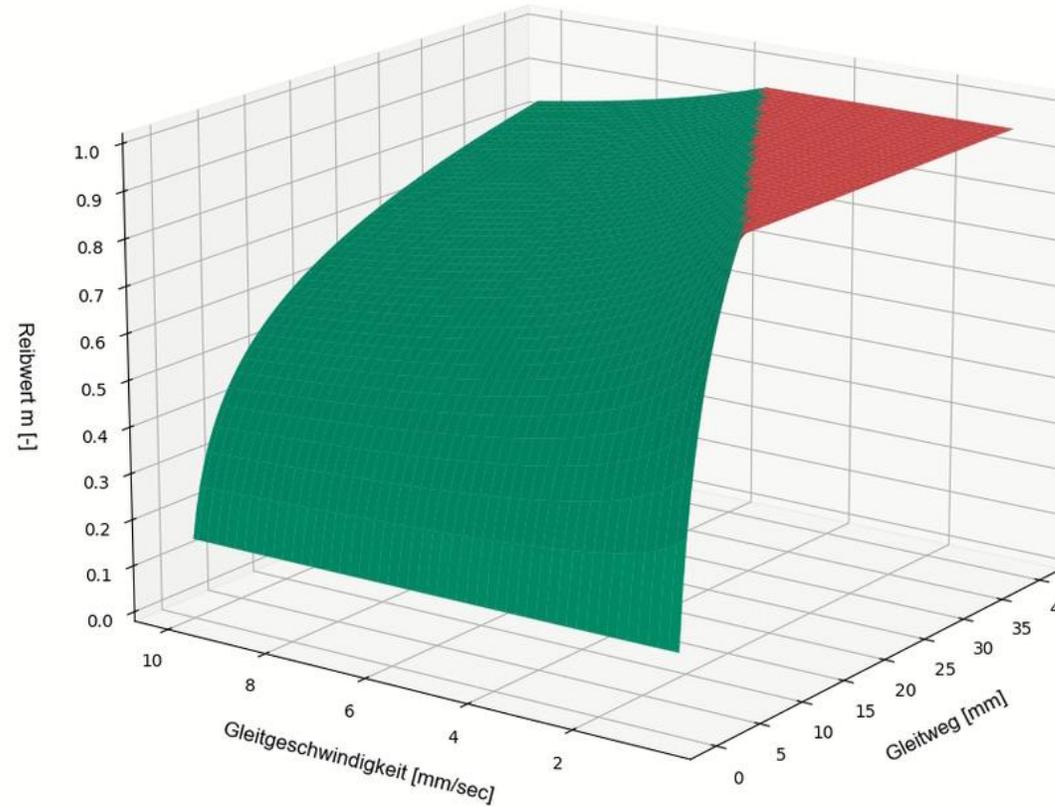
Exponentiell **Polynomisch**

Faktorstufe

$$\text{Reibwert} = Z + (A \cdot \ln(X_3 + 1,01)) \cdot ((X_1 / B)^M) \cdot ((X_2 / C)^K) \cdot ((X_4 / D)^W)$$

Parameter

Reibwert - Limit :	<input type="text" value="0,95"/>		
Z	<input type="text" value="0,15"/>	C	<input type="text" value="-360"/>
A	<input type="text" value="0,18"/>	K	<input type="text" value="0,2"/>
B	<input type="text" value="330"/>	D	<input type="text" value="4"/>
M	<input type="text" value="1,3"/>	W	<input type="text" value="-0,25"/>



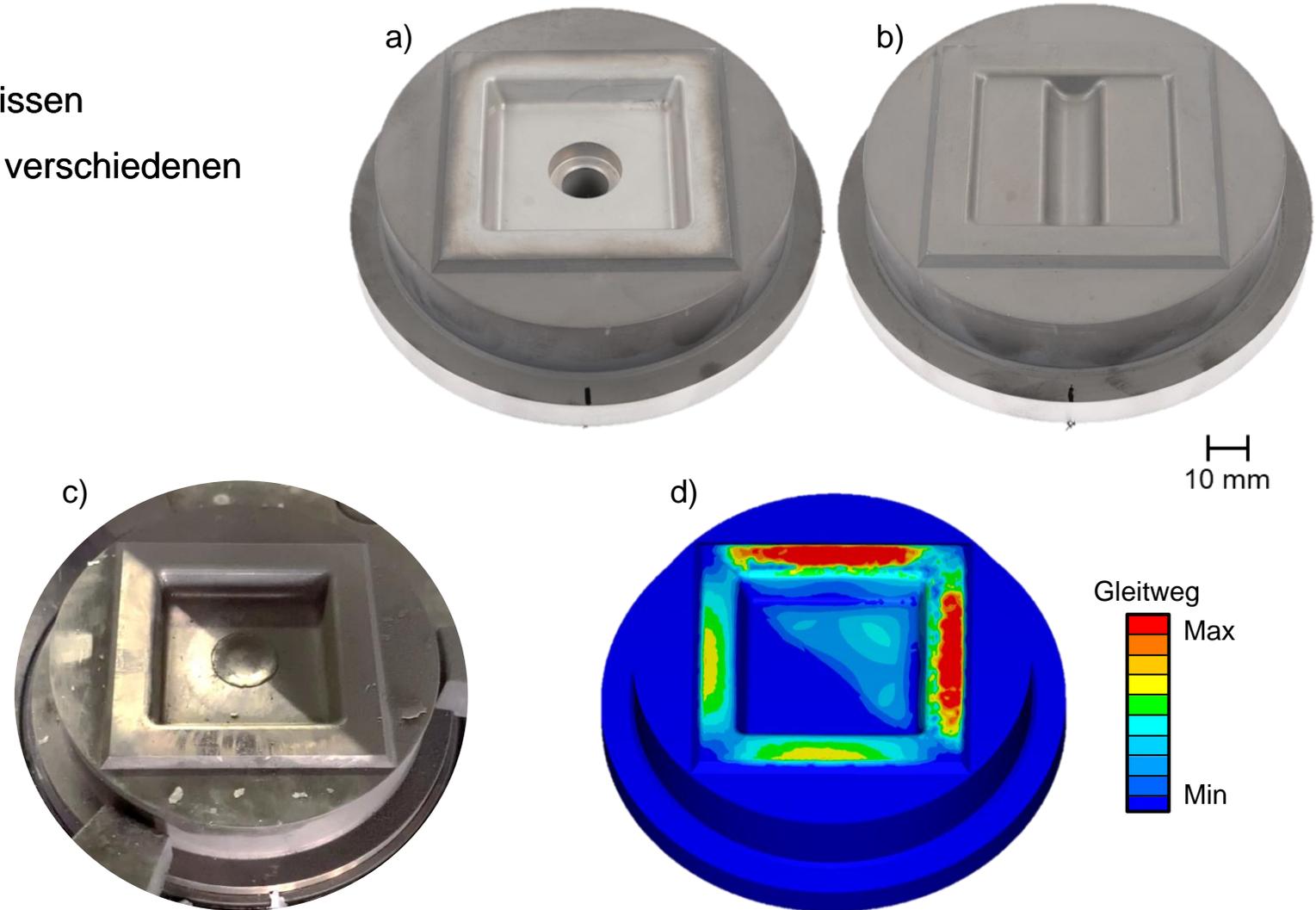
Define Friction	
	Probe
zugmatrix	Auswertungstool_v-test.tff
Zugplatte	Bilateral_Sticking.tff
halter wkz	No_Contact.tff

Implementierung in Forge 4.0 GUI

Validierung in Laborumgebung

Ziel:

- Gezieltes Erzeugen von Schmierfilmabrissen
- Untersuchung von Bauteilmerkmalen in verschiedenen Fließrichtungen



Validierungsprozess: Untergesenk (a) und Obergesenk (b) mit partieller Schmierung: experimentell (c) und simuliert (d)

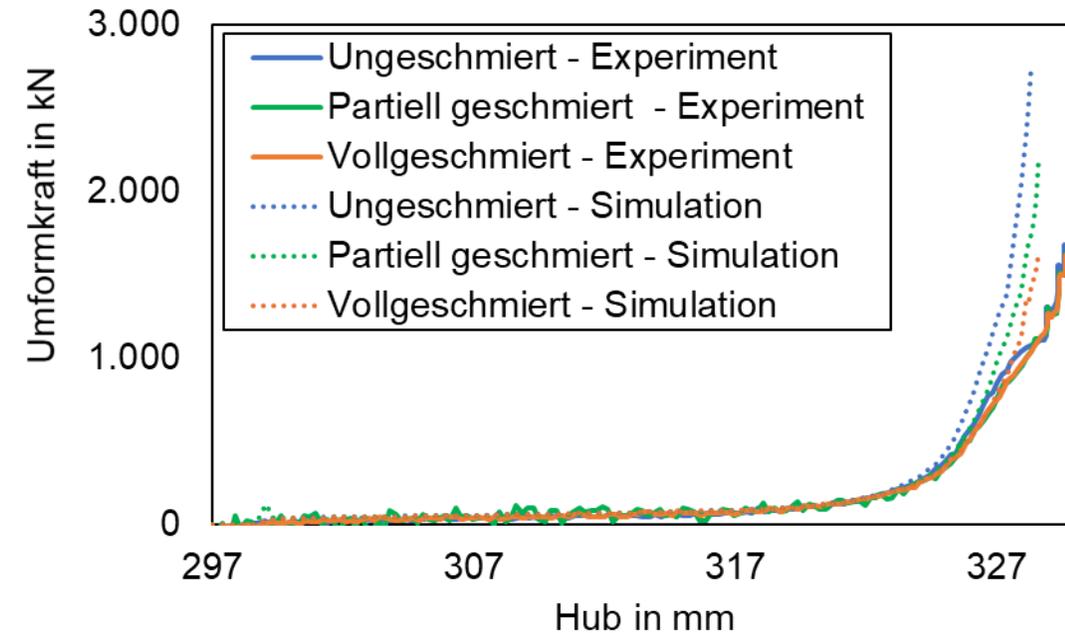
Validierung in Laborumgebung

Ergebnis Aluminium:

- Geringe Sensitivität der Kraft/Weg Verläufe und Gratbildung
- Schmierfilmabriss setzt unmittelbar nach Beginn der Umformung ein

Mögliche Ursachen für Abweichungen:

- Keine Abbildung der Schädigung
- Elastisches Pressenverhalten vernachlässigt
- Schmierstoffverteilung über Trennebene bei Aluminium

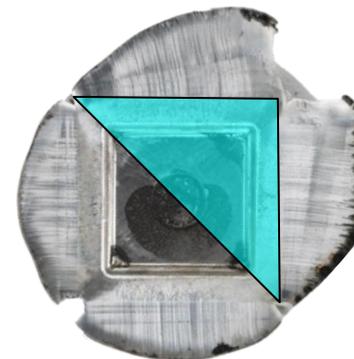


Ungeschmiert

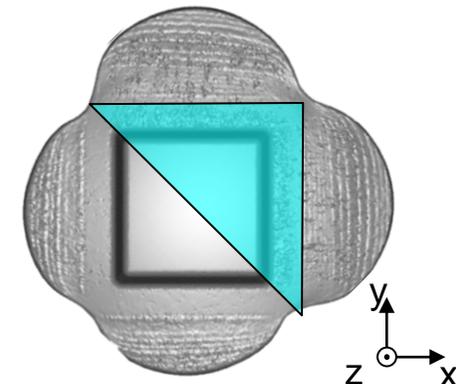


Vollgeschmiert

10 mm



Partiiell geschmiert
Experiment



Partiiell geschmiert
Simulation

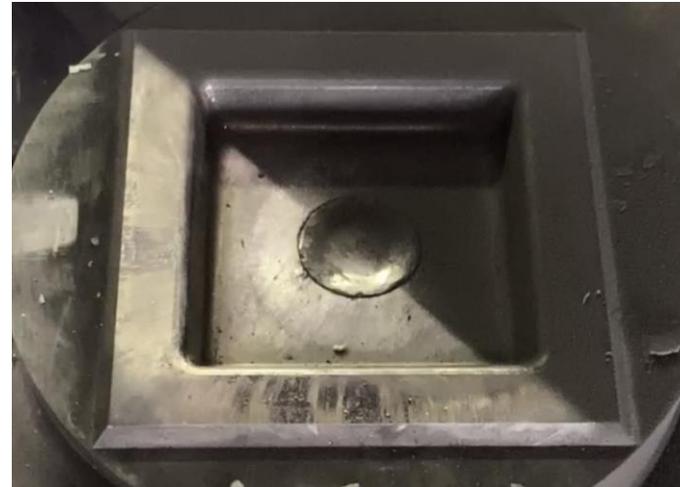
Validierung in Laborumgebung

Ergebnis Stahl:

- Gratbildung sensibel auf Schmierung
- Erkennbare Einflüsse auf Kraft-Weg Verläufe

Mögliche Ursachen für Abweichungen:

- Keine Abbildung der Schädigung
- Elastisches Pressenverhalten vernachlässigt

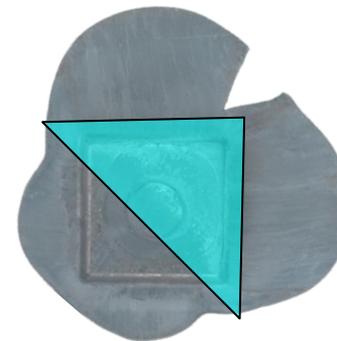


Ungeschmiert

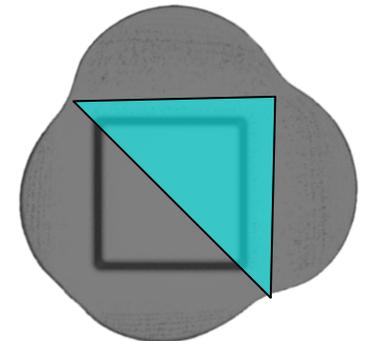


Vollgeschmiert

10 mm



Partiell geschmiert
Experiment



Partiell geschmiert
Simulation

Zusammenfassende Erkenntnisse

Stabauszug nach Pawelski:

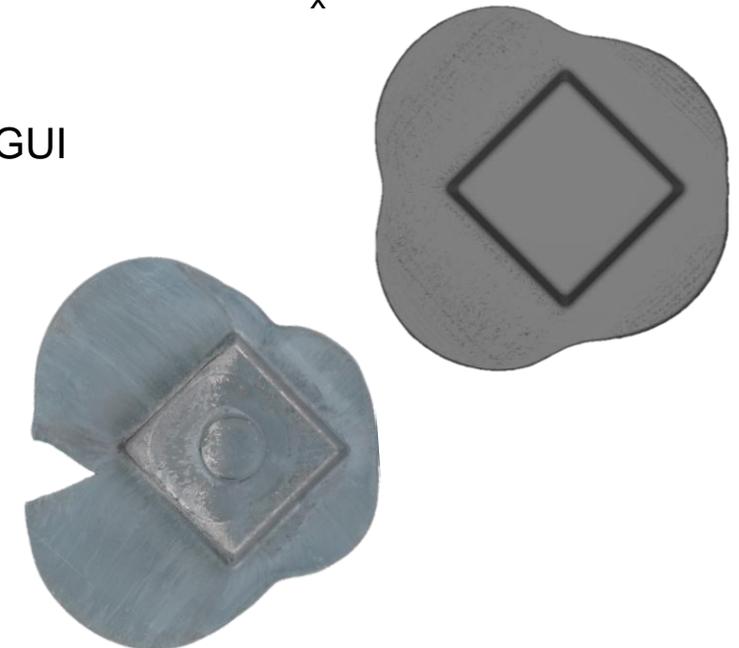
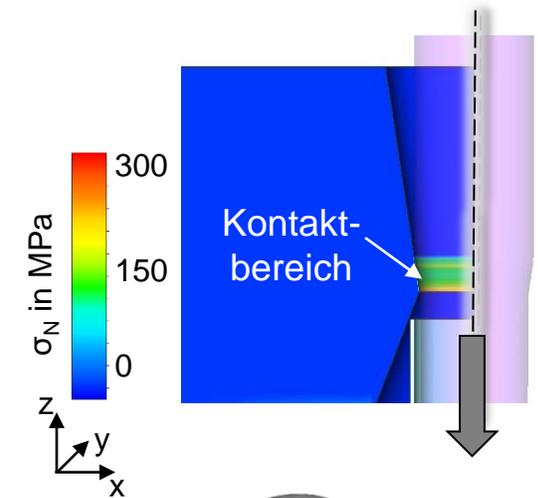
- Kontrollierte Nachbildung von Schmierfilmabrissen experimentell möglich
- Kontrollierte Kontaktbedingungen mit numerisch bestimmaren Prozessgrößen
- Hoher Mehrwert im Vergleich zu Ringstauchversuchen selbst mit modifizierter Geometrie

Numerische Modellierung und Implementierung:

- Entwicklung einer Reibmodellierung in Abhängigkeit von Werkzeuggleitweg, Gleitgeschwindigkeit, Kontaktdruck und Temperatur
- Implementierung einer Schnittstelle durch User-Routine für Forge 4.0 mit Anwender-GUI

Validierung des Reibmodells:

- Lokale zeitlich verändernde Reibbedingungen abbildbar
- Qualitative Übereinstimmung mit Modellversuchen



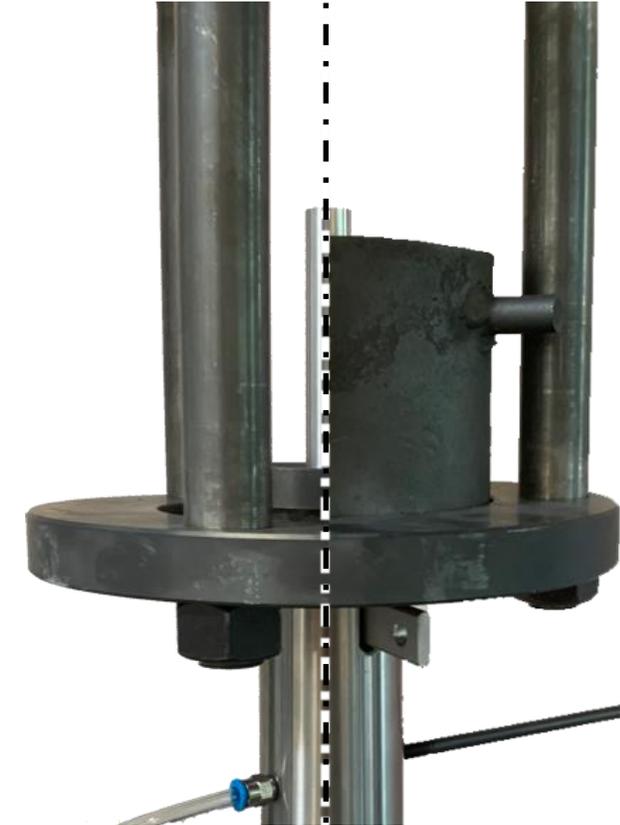
Weiterführendes Forschungspotenzial

Experimentelle Reibwertuntersuchung:

- Anwendungsnähere Schmierung durch Sprühauftrag auf Werkzeug
- Individuelle Temperierung von Probe (Werkstück) und Zugmatrix (Werkzeug)
- Optimierung der Versuchsgeometrie
- Vergleich von unterschiedlichen Schmierstoffen

Numerische Anwendung auf industrielle Prozesse:

- Parametrisierung in Kombination mit anderen Prozessgrößen: z.B. Schädigung, Pressensteifigkeit



Versuchsaufbau

IFUM

Institut für Umformtechnik
und Umformmaschinen

Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens

Das vorgestellte Projekt „Ortsabhängige Modellierung von Reibwerten in Abhängigkeit von Kontaktdruck und Gleitweg in der Massivumformung“ (IGF 21648) wurde gefördert durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) mit Unterstützung des Industrieverbandes Massivumformung (IMU)

Simon Peddinghaus, M.Sc.
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

s.peddinghaus@ifum.uni-hannover.de
Tel.: +49 (0) 511 762 3913



Forschungsgesellschaft
Stahlverformung e. V.



Leibniz
Universität
Hannover



Produktionstechnisches
Zentrum Hannover