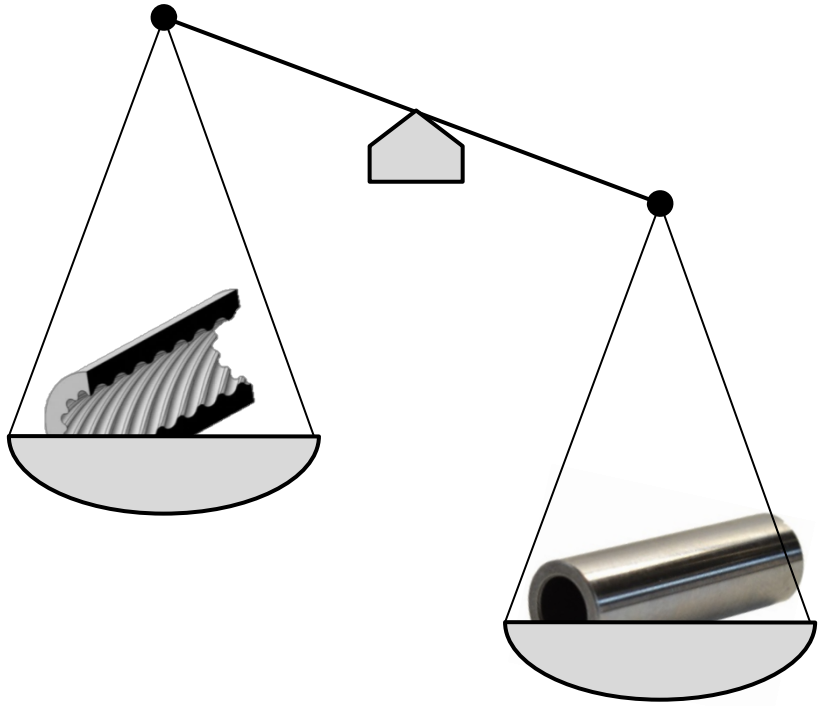
Leichtbau am Beispiel Kolbenbolzen

Ziel → Optimierung und Gewichtsreduzierung eines Kolbenbolzens



Forschungsinstitute

Universität Stuttgart IFU

Nadja Missal

Forschungsvereinigungen

FOSTA Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V.

AWT

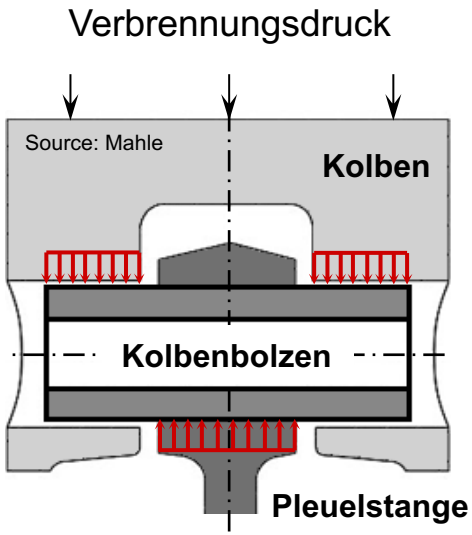
FSV

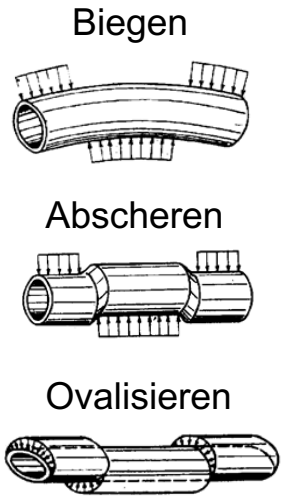
FVA

Im Folgenden werden Ergebnisse aus den Forschungsprojekten *Leichtbau durch gezielte Einstellung lokaler Bauteileigenschaften mit optimierten Umform- und Zerspanprozessen* (IGF-Nr. Nr. 18225N) und *Erweiterung technologischer Grenzen bei der Massivumformung in unterschiedlichen Temperaturbereichen* (IGF-Nr. 18229 N) präsentiert.

Ziel und Motivation

- Optimierung und Gewichtsreduzierung eines Kolbenbolzens
- Erzeugung eines Napfes in einer komplexen Kaltfließpressverfahrenskombination
- Einbringung einer höheren Festigkeit und Steifigkeit im Kolbenbolzen mit innovativen Umformprozessen und -werkzeugen





Technische Anforderungen

ausreichende **Festigkeit**

ausreichende **Zähigkeit**

ausreichende **Steifigkeit**

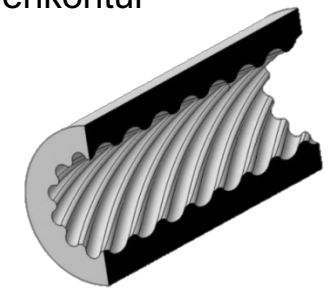
hohe **Oberflächenhärte**

hohe **Oberflächengüte**

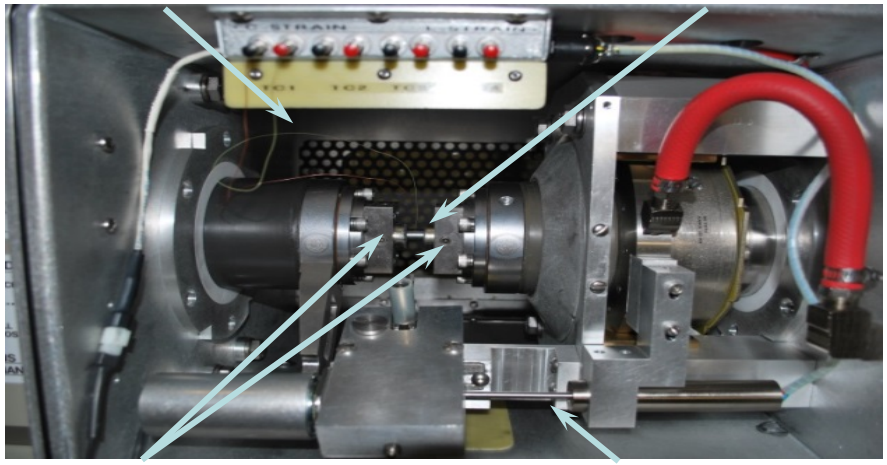
hohe **Formgenauigkeit**

geringes **Gewicht**

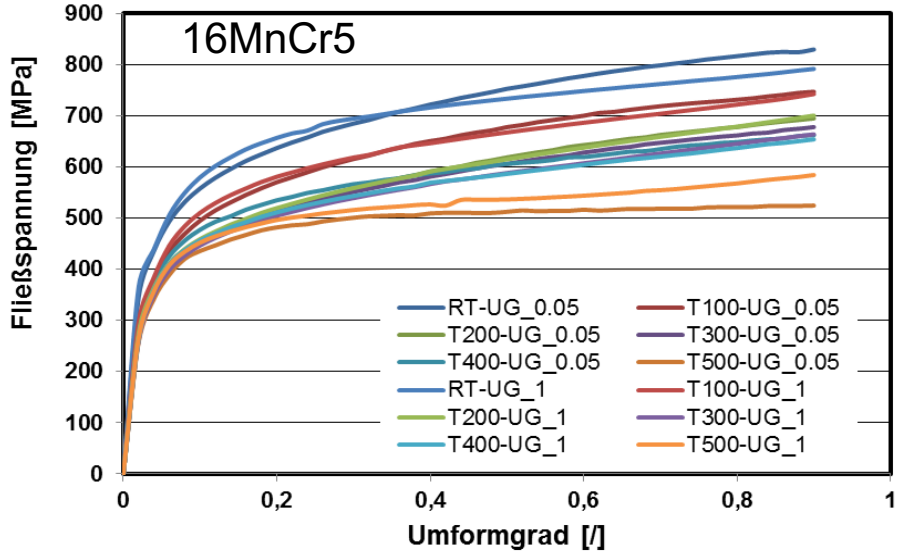
Lösung:
Kolbenbolzendesign mit einer ungleichmäßigen Innenkontur



Werkstoffcharakterisierung

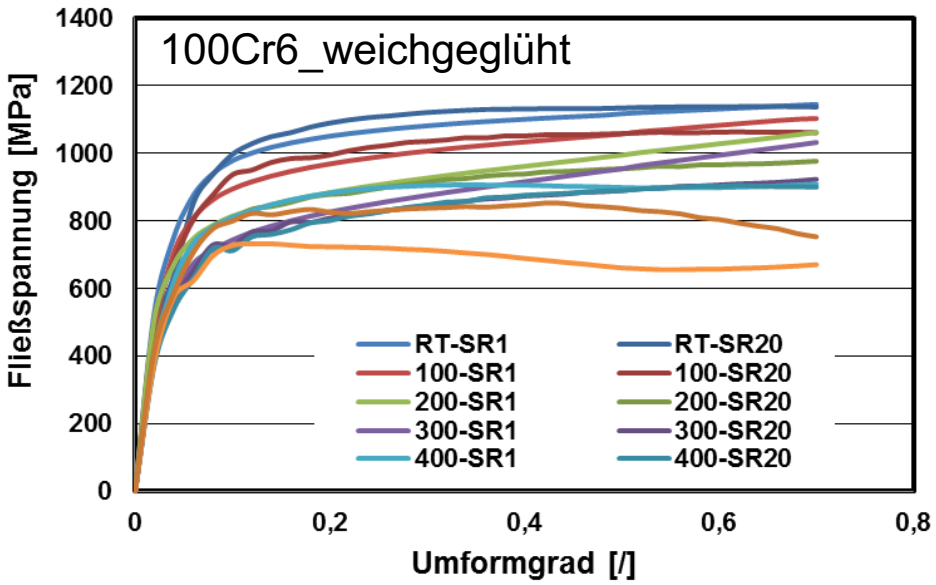


Werkstoff	T [°C]	UG $\dot{\varphi}$	Wdh.
16MnCr5	RT – 500	0,05	3
100Cr6		1	
Mittel-Mn-Stahl		20	

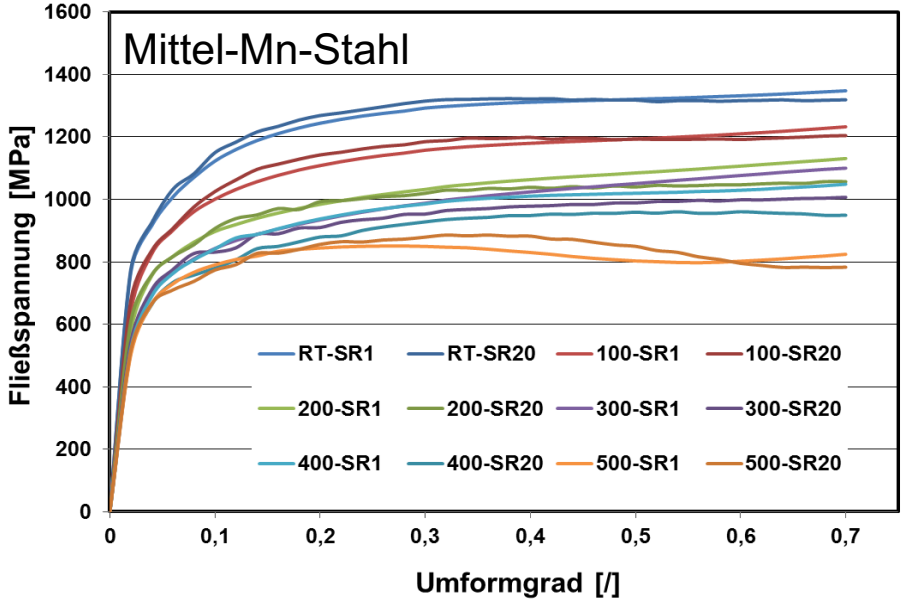


- Max. Fließspannung von Werkstoff 16MnCr5 ca. 810 MPa;
- Verwendung des Werkstoffs 16MnCr5 für numerische Simulationen

Werkstoffcharakterisierung



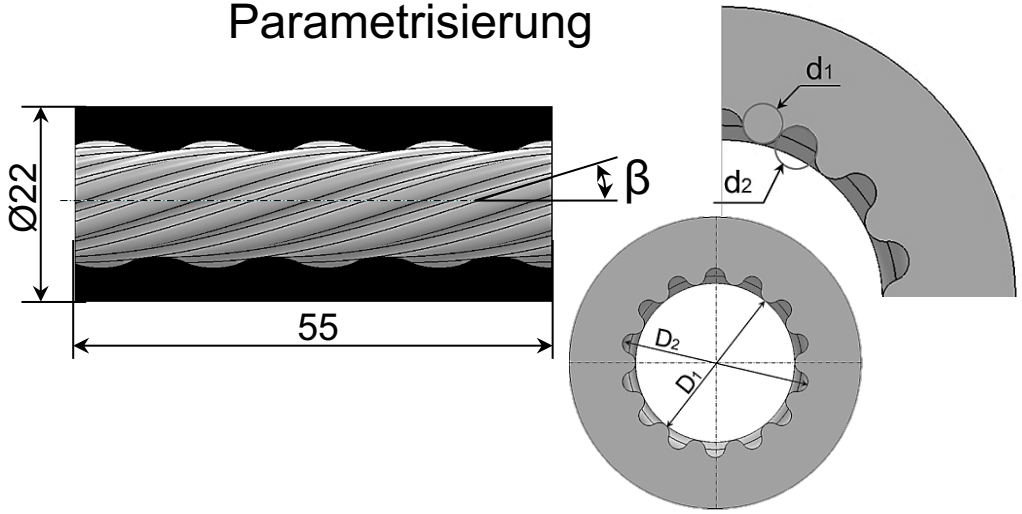
- Weichglühen: bei 850 °C für 45 min austenitisieren, bei 620 °C für 60 min halten und im Ofen abkühlen
- Max. Fließspannung ca. 1.140 MPa bei RT → für Kaltfließpressen ist nicht geeignet



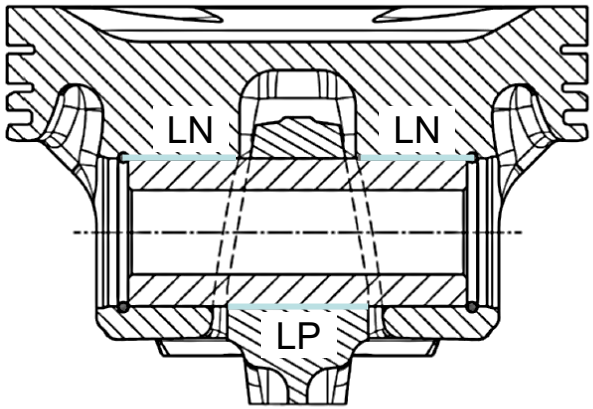
- Weichglühen: 670 °C für 1 h halten, an Raumluft „unkontrolliert“ abkühlen lassen
- Max. Fließspannung ca. 1.317 MPa bei RT, ungeeignet für das Kaltfließpressen

Optimierung der geometrischen Bauteilgestaltung

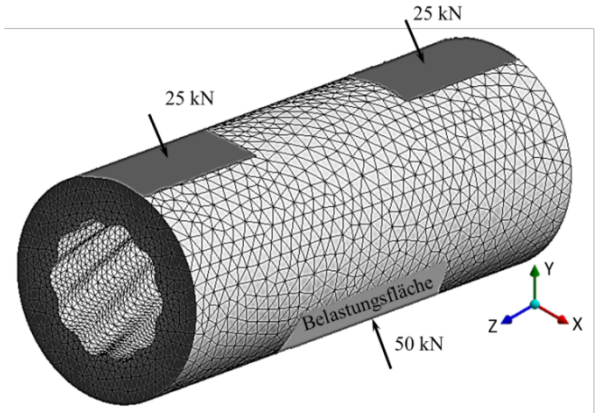
Parametrisierung

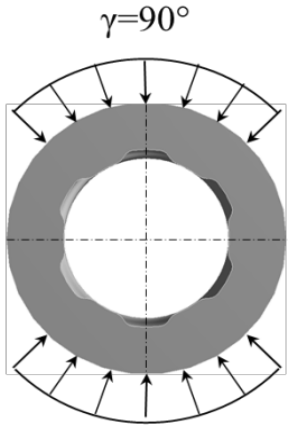


Kolbenbolzenbelastung

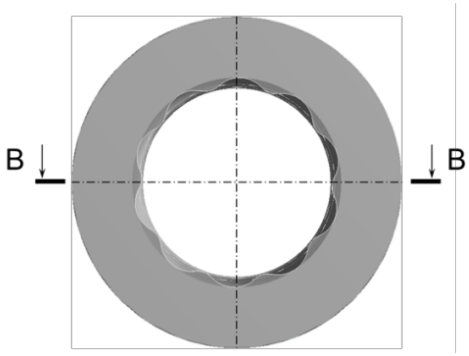


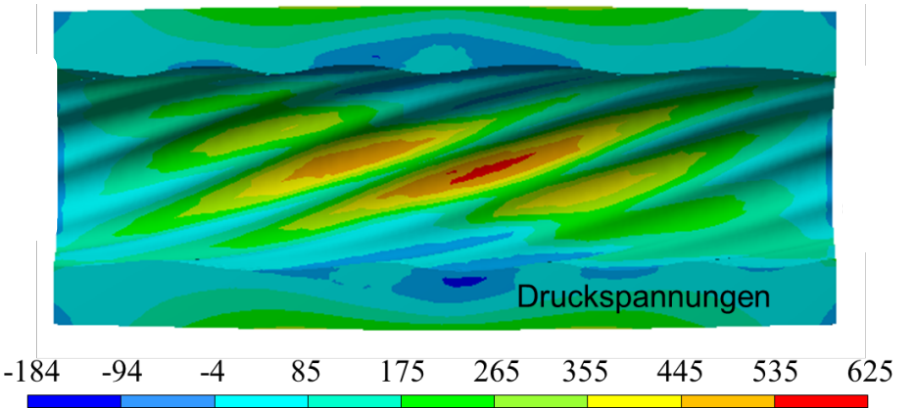
Parameter	Wert
Rippenanzahl n	10; 12; 14
Schrägungswinkel β	10°; 15°; 20°
Verhältnis D_2/D_1	1,1; 1,2
Verhältnis d_1/d_2	1; 0,67



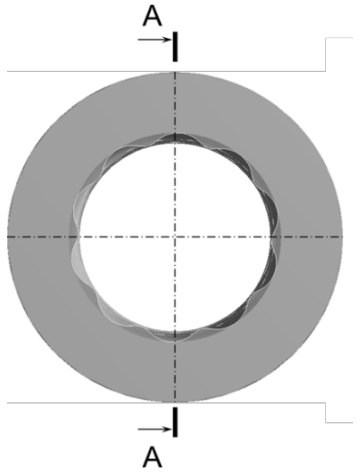


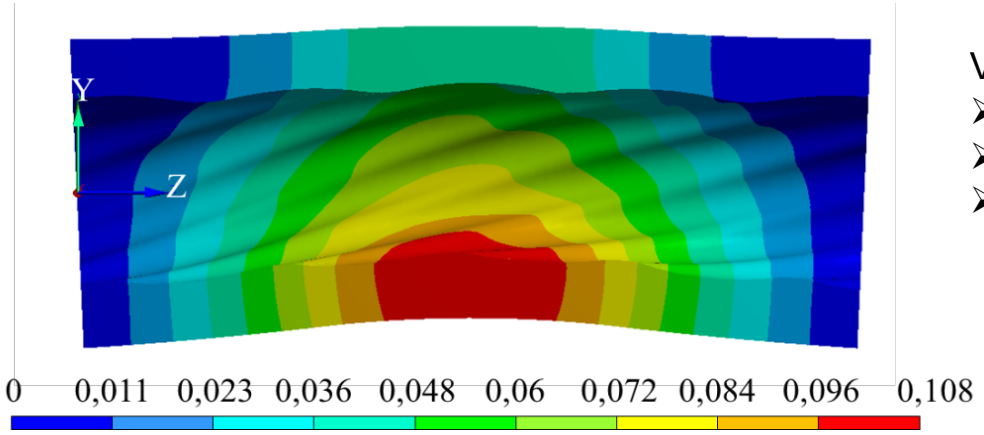
Optimierung der geometrischen Bauteilgestaltung





max. Hauptspannung:
- max. 625 MPa
- min. -184 MPa
- **< 1.200 MPa**

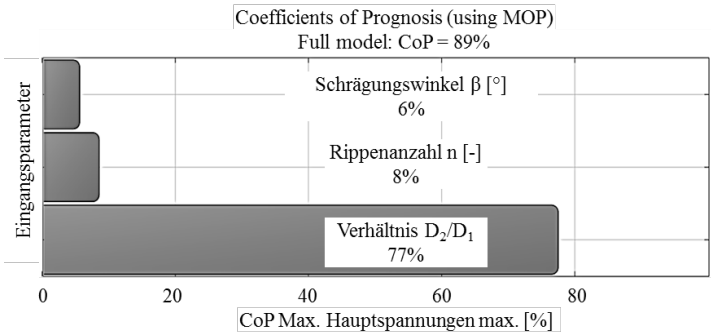


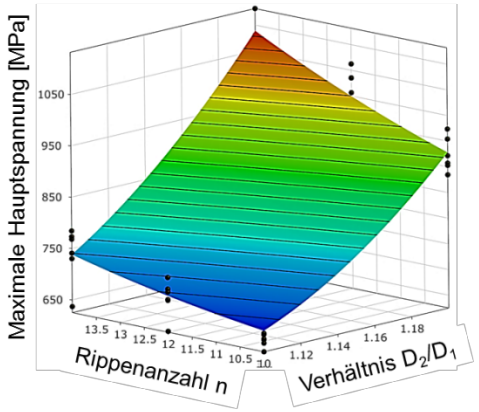


Verschiebung in Y-Richtung:
- max. 0,108 mm
- min. 0 mm
- **< 0,125 mm**

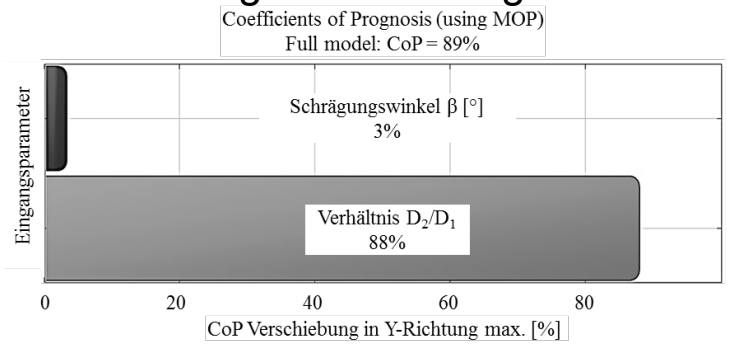
Optimierung der geometrischen Bauteilgestaltung

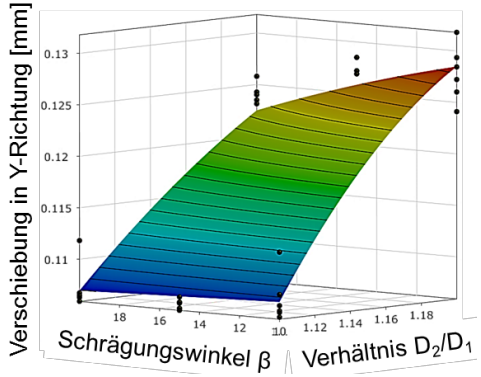
Maximale Spannungen



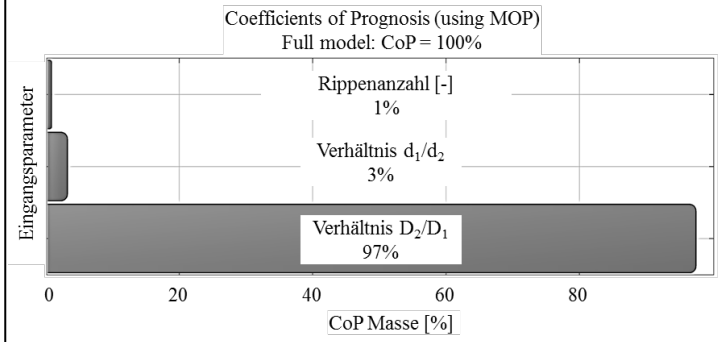


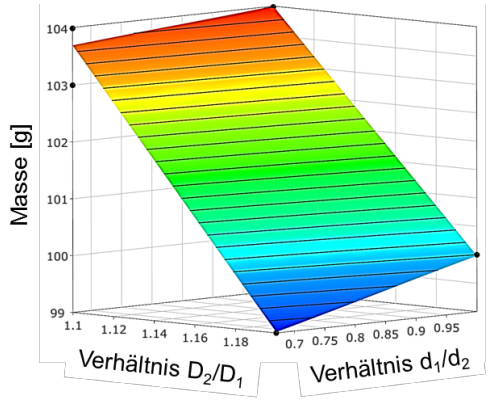
Verschiebung in Y-Richtung





Masse

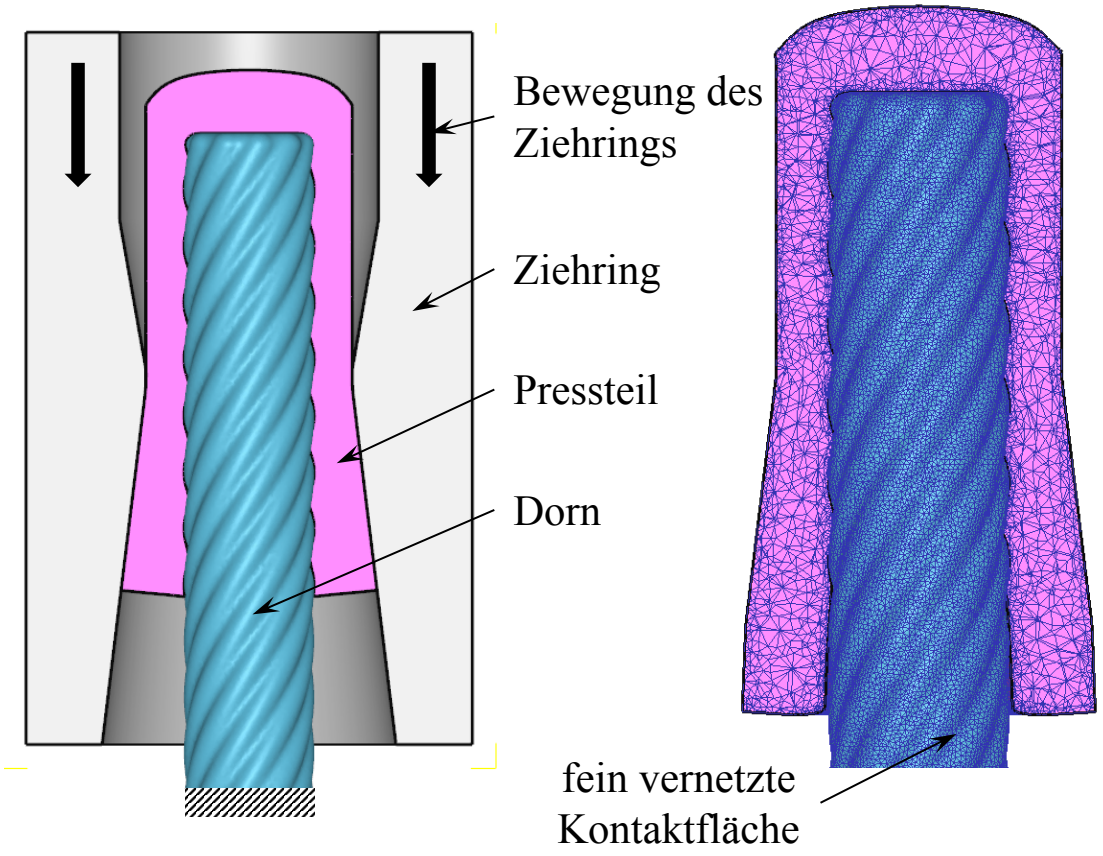




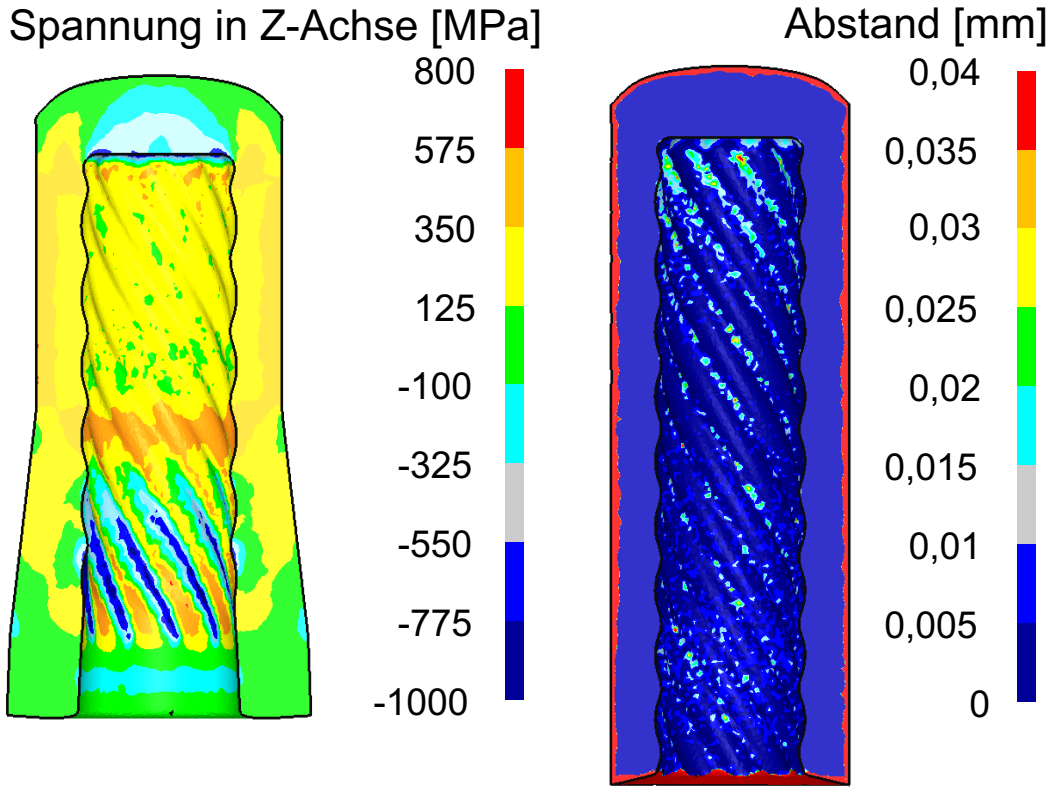
- ***Nutanzahl und Verhältnis D_2/D_1*** haben einen ***größeren Einfluss*** auf Verformung und max. Hauptspannung
- Eine ***Vergrößerung des Verhältnisses D_2/D_1*** führen zu einer ***Erhöhung*** der Verformung und max. Hauptspannung

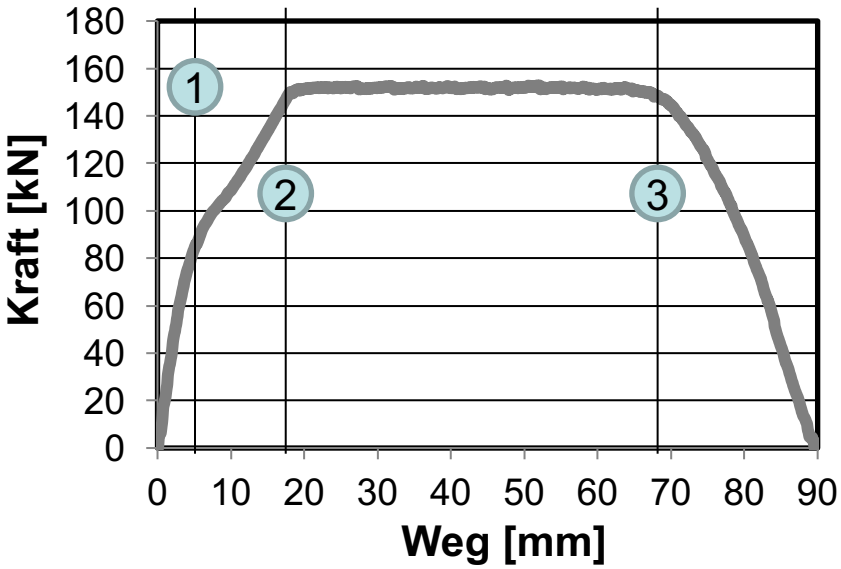
Simulation des Abstreckgleitziehens in DEFORM™

Simulationsparameter	
Rippenanzahl n	10
Schrägungswinkel β	20°
Verhältnis D_2/D_1	1,1
Verhältnis d_1/d_2	0,67
Halbzeug	elasto-plastisch
Ziehring	starr
Dorn	elastisch
Vernetzung des Halbzeuges	300.000
Vernetzung des Dorns	400.000
Werkstoff	16MnCr5
Reibung	Coulomb 0,07
Stößelgeschwindigkeit	50 mm/s
Öffnungswinkel α	7°



Simulationsergebnisse: Abstreckgleitziehen



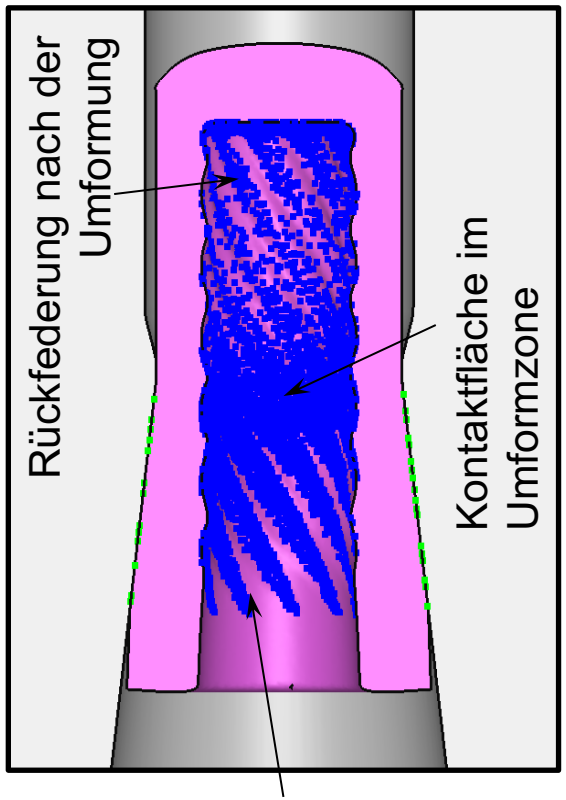


Zugfestigkeit: ca. 900 MPa
Zugspannung: ca. 800 MPa

Max. Unterfüllung: 0,04 mm
Ursache: Temperaturverteilung

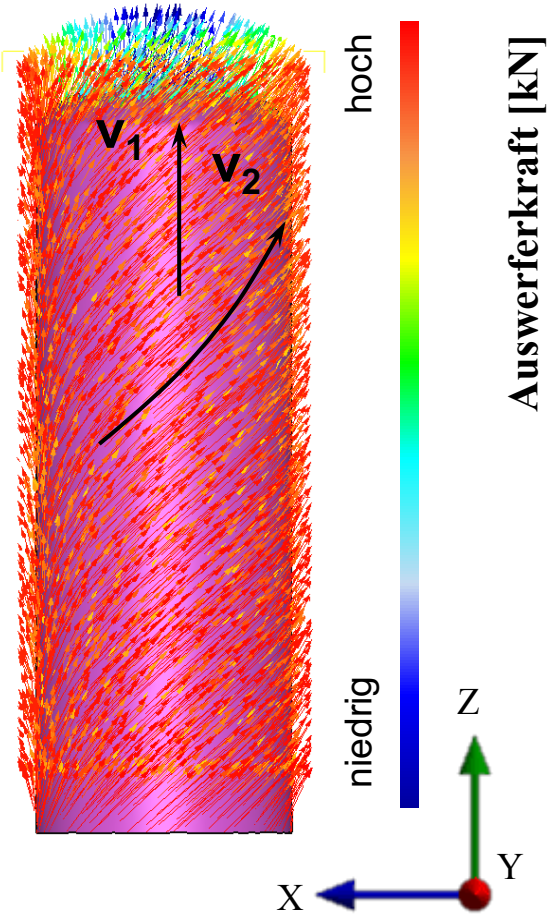
1. Instationäre Phase: Werkstoff beginnt in radialer Richtung zu fließen
2. Stationäre Phase: Durchmesser des Ziehrings von D_2=22 mm ist erreicht
3. Instationäre Phase: Reduzierung der Reibungsfläche

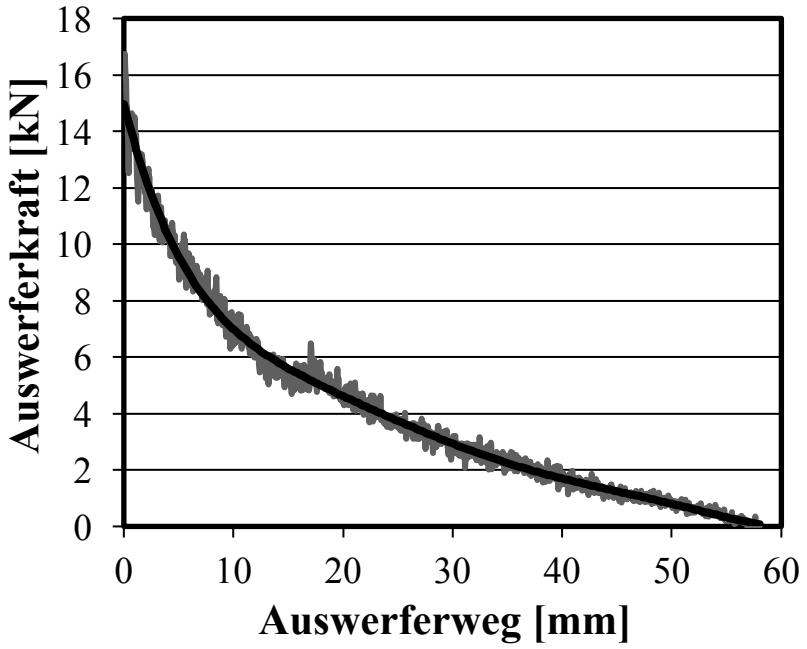
Simulationsergebnisse: Abstreckgleitziehen und Auswerfen



Kontakt mit dem Dorn im Bereich des Öffnungswinkels

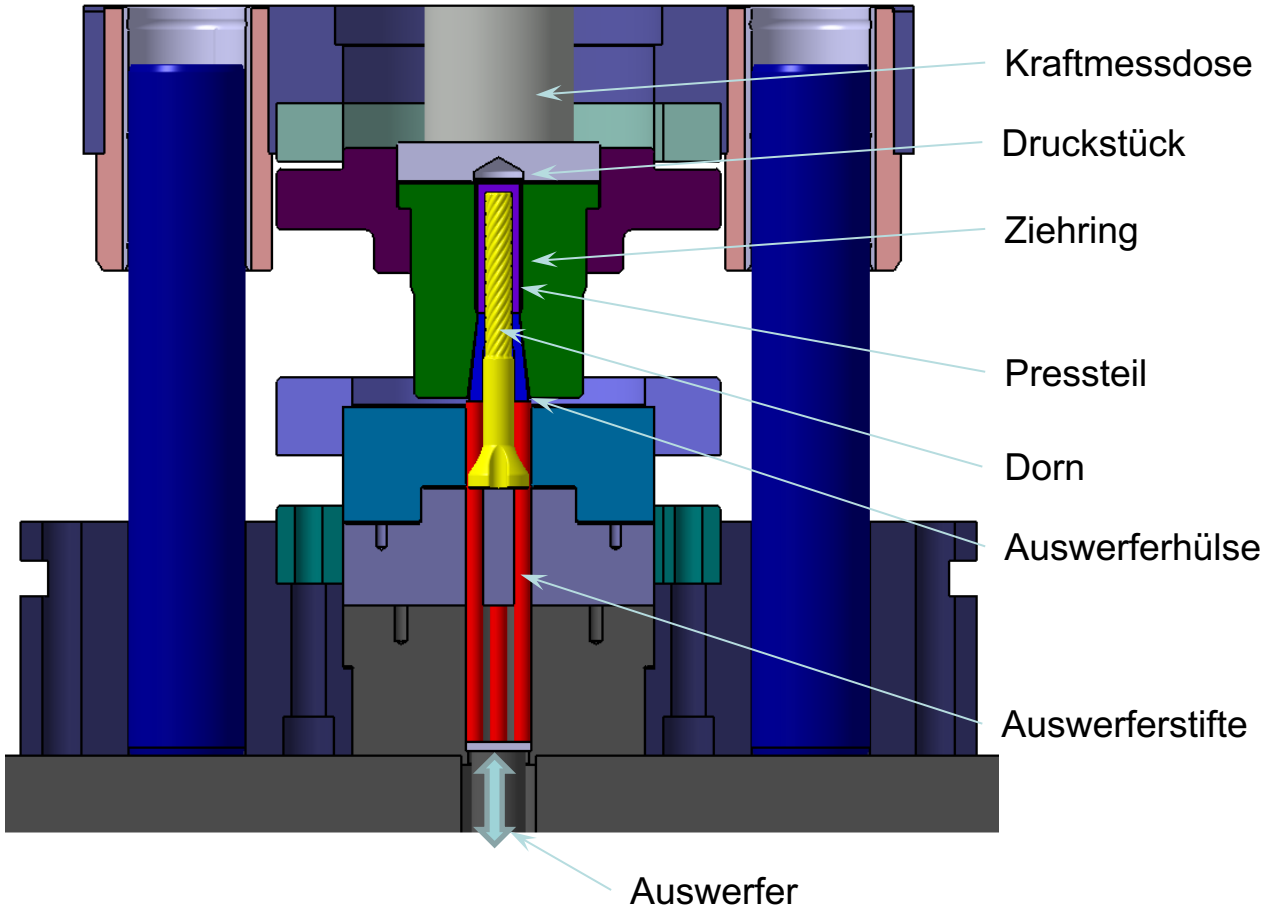
Pressteilgeschwindigkeit





- Kolbenbolzen wird in axialer Richtung verschoben (v_1) und dreht sich um die Z-Achse (v_2)
- Max. Auswerferkraft ca. 16,5 kN

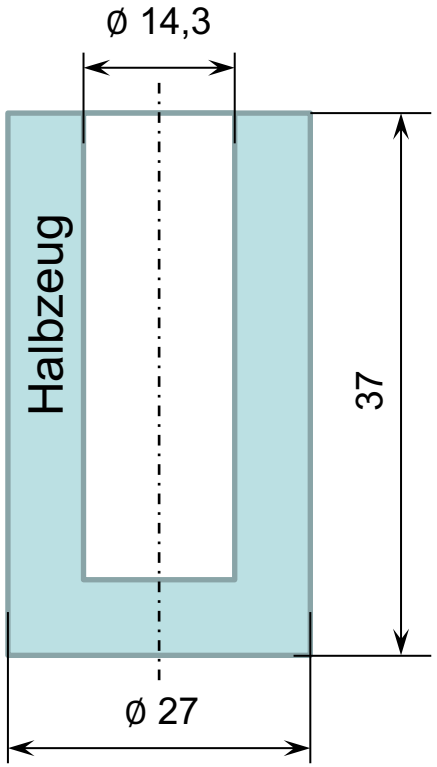
Versuchswerkzeug



Technische Daten der Versuchspresse	
Maschinenbezeichung	Servopresse
Nennkraft	5.000 kN
Nennhub	500 mm
Hubzahl	3-45 min^{-1}
Einbauhöhe max.	1410 mm
Tischgröße	600 x 600 mm
Max. Werkzeuggewicht	2.000 kg
Anhaltezeit	2,5 s
Max. Auswerferkraft	500 kN
Max. Auswerferweg	125 mm

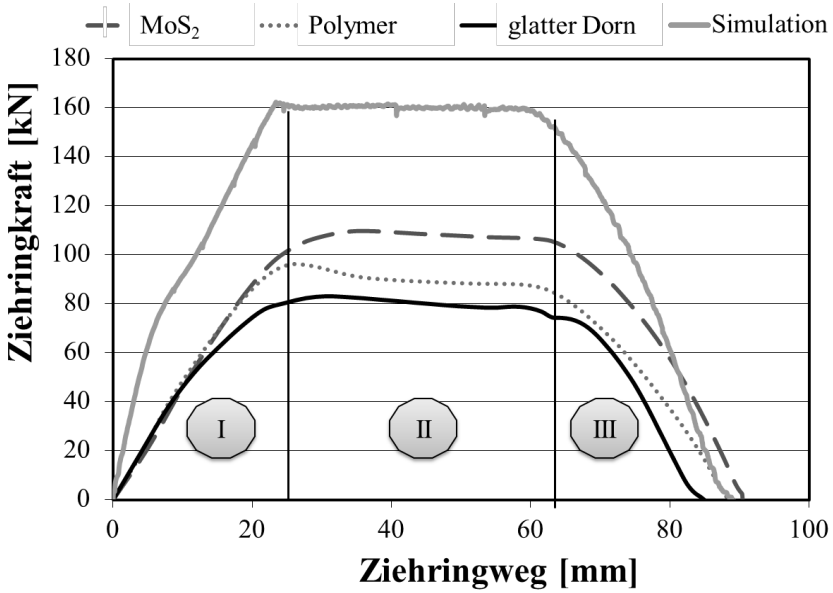
Versuchsplan

Parameter	Wert
Schrägungswinkel β	10°
	20°
Werkstoffzustand	weichgeglüht
	kaltverfestigt
Schmierstoff	MoS_2
	Polymer
Hubzahl	3, 12, 20 [U/min]

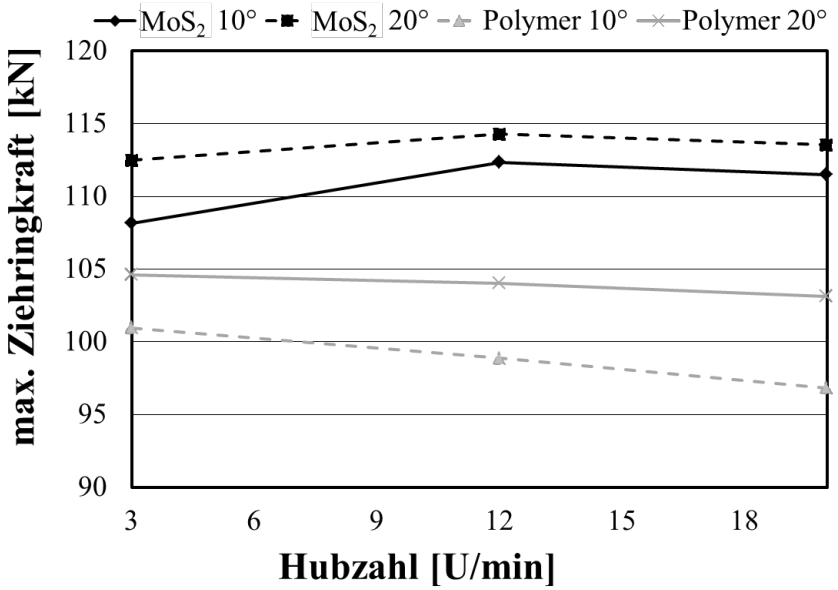


Versuchsergebnisse

Halbzeug: weichgeglüht



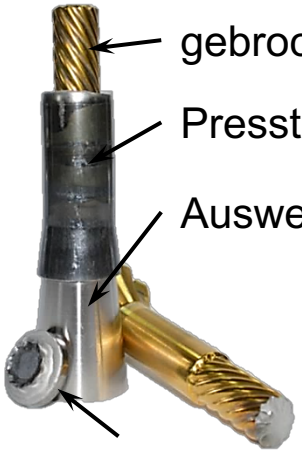
- Max. Stempelkraft beträgt 110 kN bei MoS_2-basierenden Schmierstoffen bzw. 88,7 kN beim Polymerschmierstoffen
- Kraftbedarf bei der Umformung mit den Polymerschmierstoffen ist ca. 20 % geringer gegenüber MoS_2-Schmierstoffen

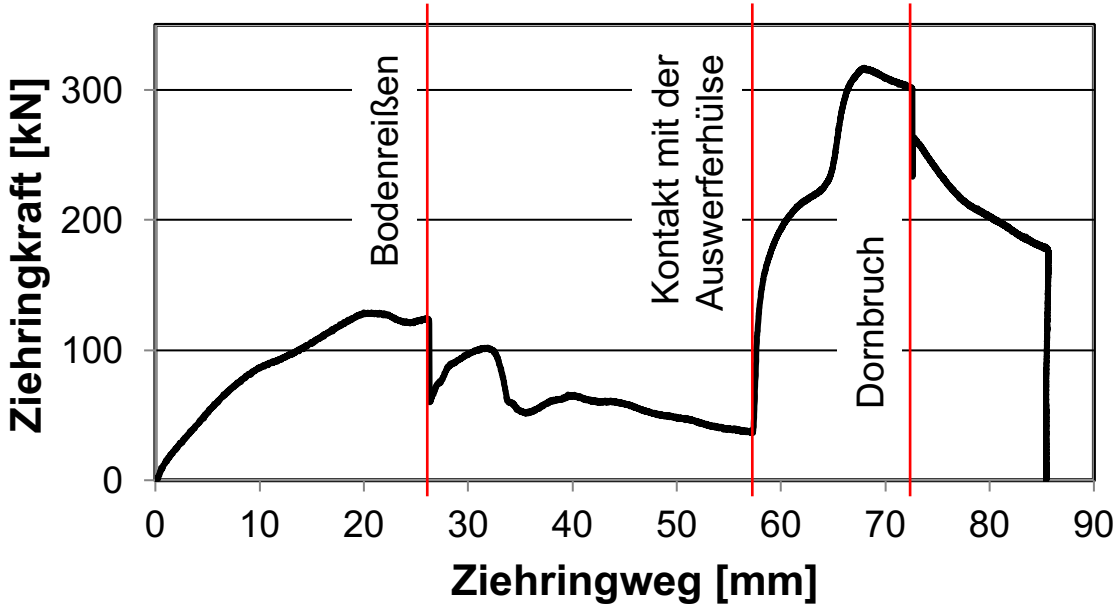


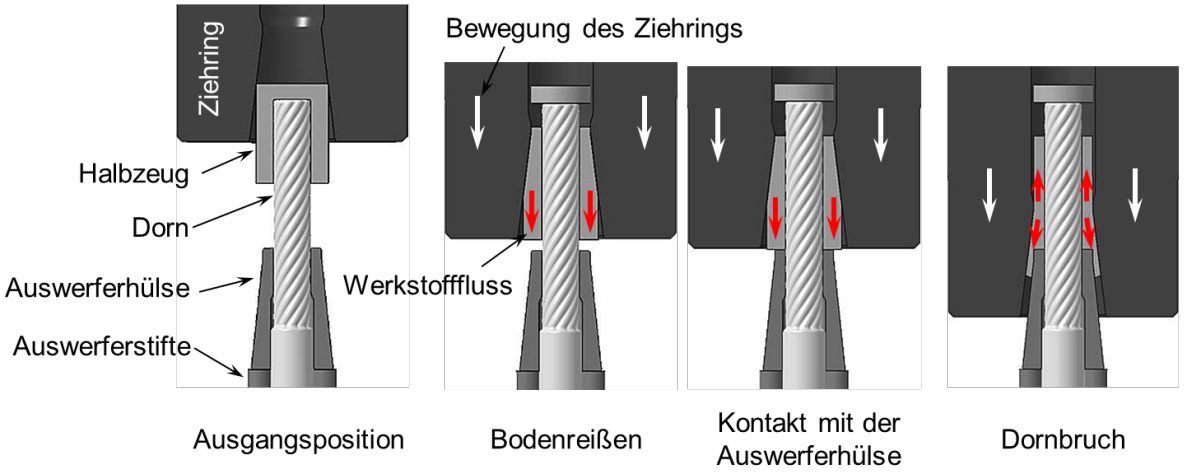
- Der Einfluss der Hubzahl auf die Ziehringkraft bei MoS_2 ist kaum bemerkbar
- Eine Erhöhung der Hubzahl sowie Reduzierung des Schrägungswinkels β bei Polymerschmierstoff führt zu einem geringfügigen Abfall der maximalen Ziehringkraft

Versuchsergebnisse

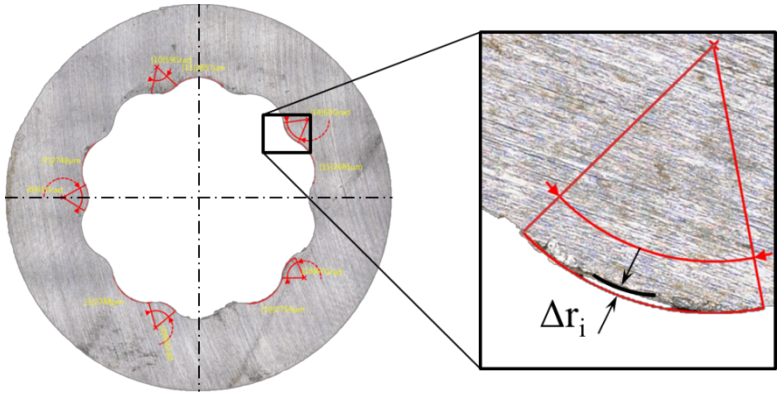
Halbzeug: kaltverfestigt



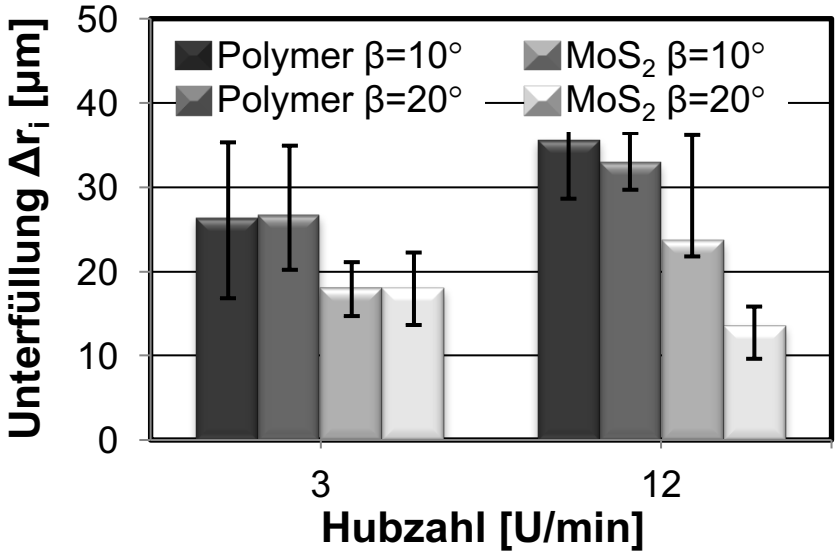


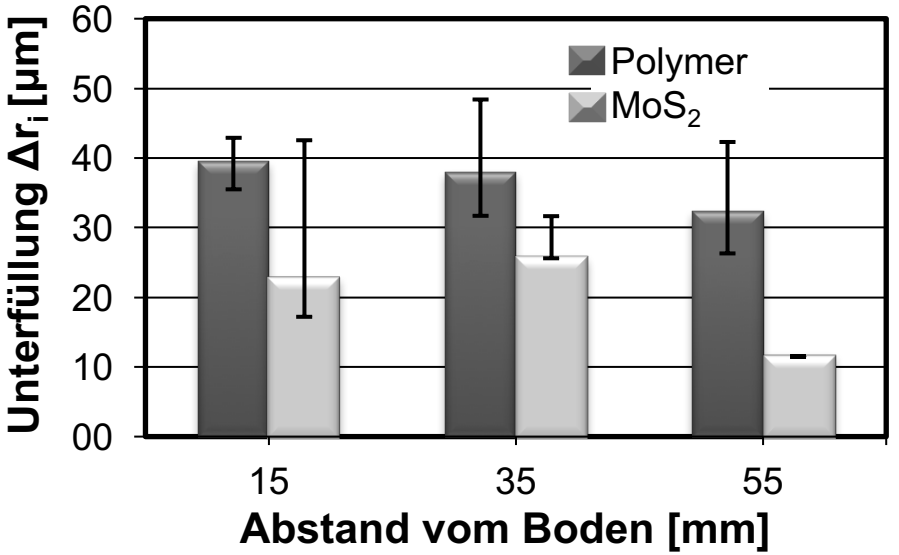


Ergebnisse: Analyse der Formfüllung der Innengeometrie

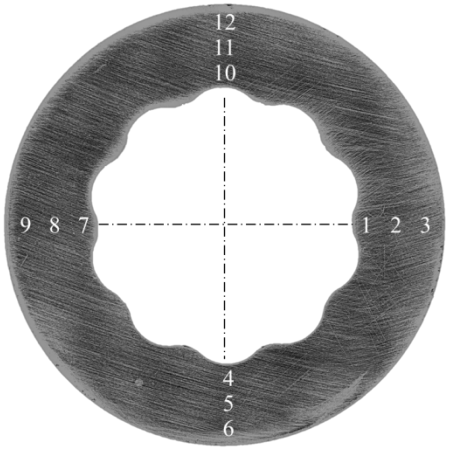


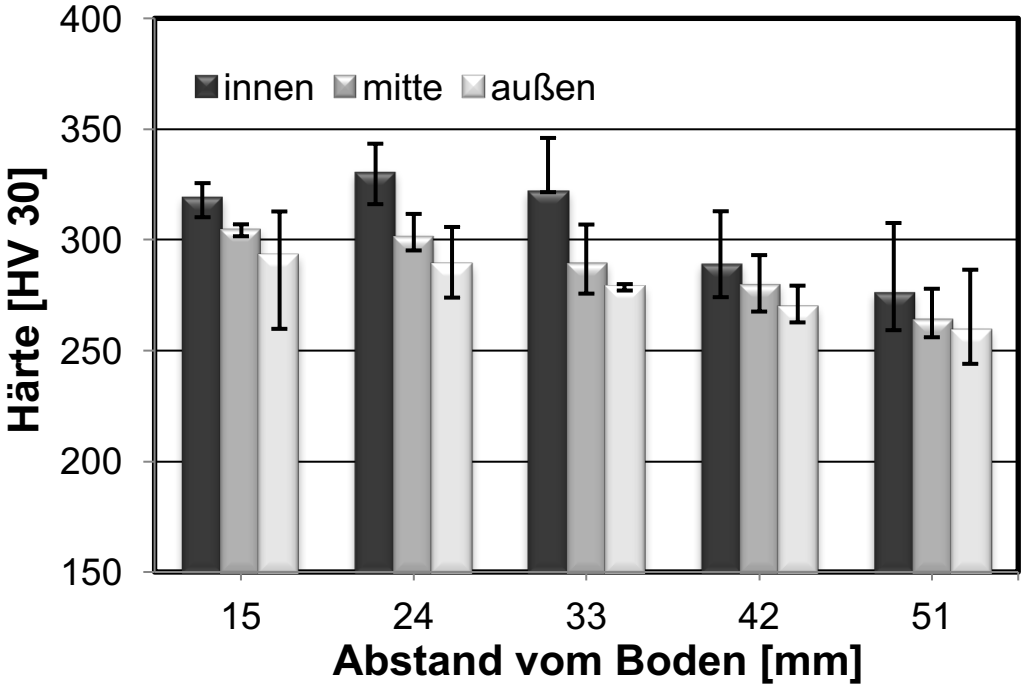
- Das Schmiermittel auf Polymerbasis verursacht aufgrund seiner Schmiereigenschaften eine um ca. 70 % ausgeprägtere Unterfüllung bei β=20° im Vergleich zum Schmierstoff MoS_2
- Die Unterfüllung der Innenkontur nimmt mit zunehmender Entfernung vom Bodenbereich des Pressteil ab

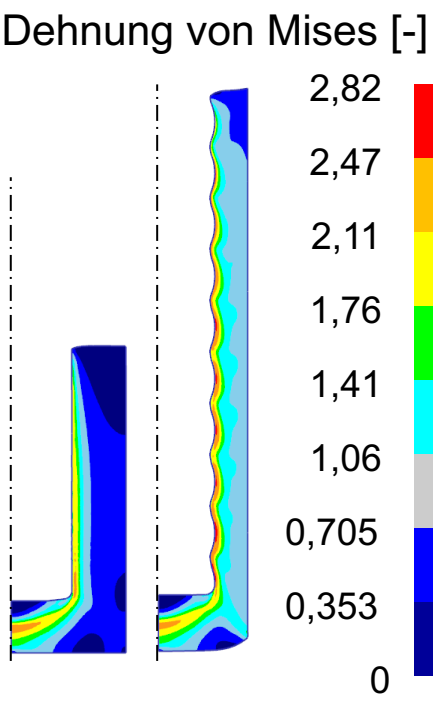




Ergebnisse: Analyse der Härteverteilung

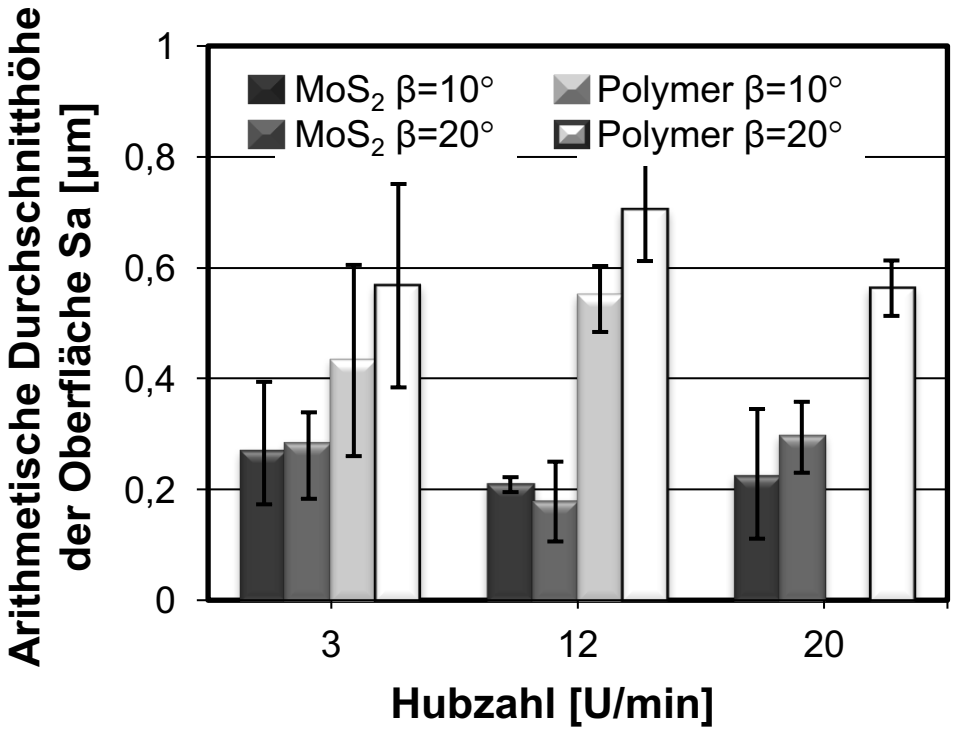


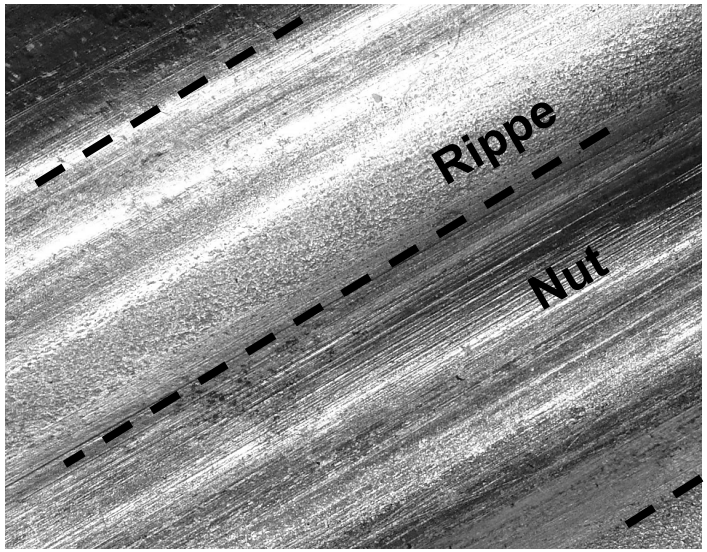


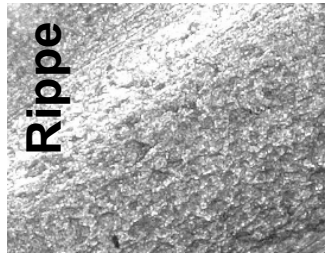


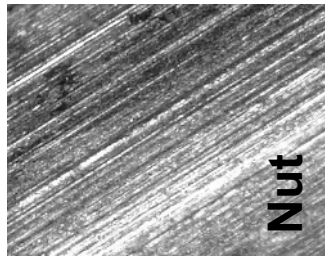
- Die Härte nimmt von außen nach innen um ca. 15 % zu
- Ab einer Entfernung von 42 mm vom Bodenbereich des Pressteils wurde eine um ca. 45 HV geringere Härte gemessen, was mit der Dehnungsverteilung im Pressteil nach dem Umformen korreliert

Ergebnisse: Ermittlung der Oberflächenqualität





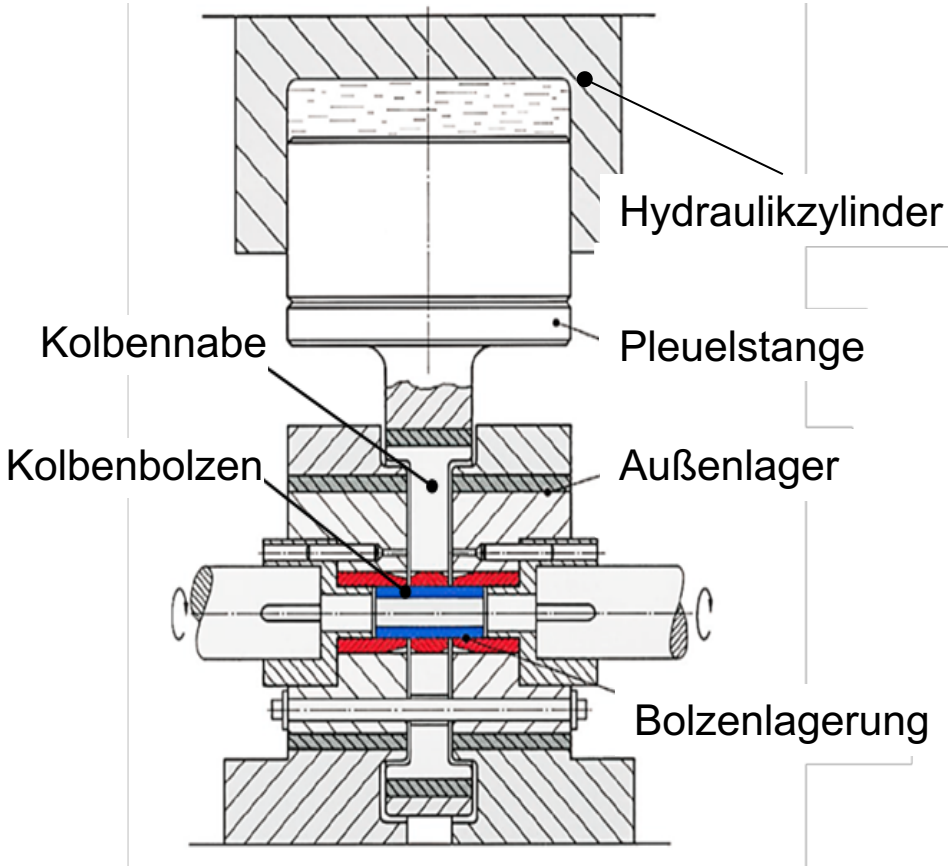




- Das Schmiermittel MoS_2 ermöglicht eine wesentlich höhere Oberflächenqualität sowohl der Außen- als auch Innenoberfläche unabhängig von der Pressgeschwindigkeit
- Die unterfüllten Rippenbereiche weisen eine nicht umgeformte, gestrahlte Oberfläche auf

Dauerfestigkeitsuntersuchung

Kolbenbolzenprüfstand bei Fa. Mahle



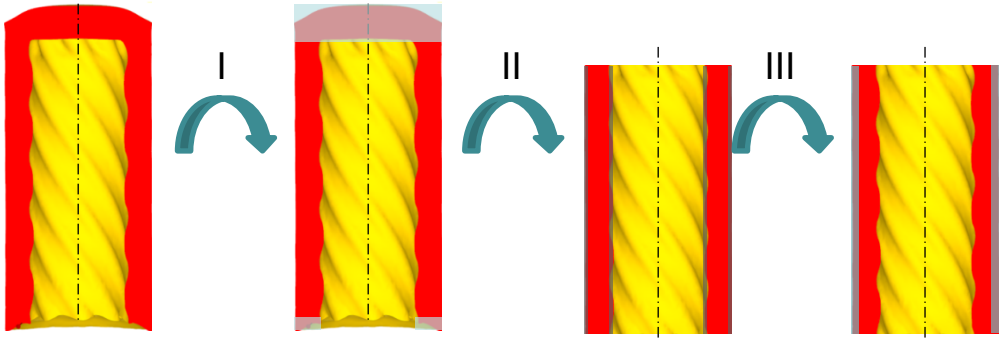
Testprinzip

- Nachbildung der Wechselbeanspruchung eines rotierenden Kolbenbolzens unter Biegung und Ovalisierung
- Drehung des Kolbenbolzens unter Last mit konstanter Winkelgeschwindigkeit
- Nachbildung der realen Betriebsbelastung
- Überwachung der Kolbenbolzenbelastung, Durchbiegung, Lagertemperaturen und Absenkung der Pleuelstange

Prüfstandsparameter	
Durchmesser der Kolbenbolzen:	18 - 26 (30) mm
Prüflast:	max. 100 kN
Flächenpressung:	> 200 N/mm^2
Testfrequenz:	max. 10 Hz
Temperatur der Kolbenbolzen:	~ 100 °C

Dauerfestigkeitsuntersuchung

Ergebnisse



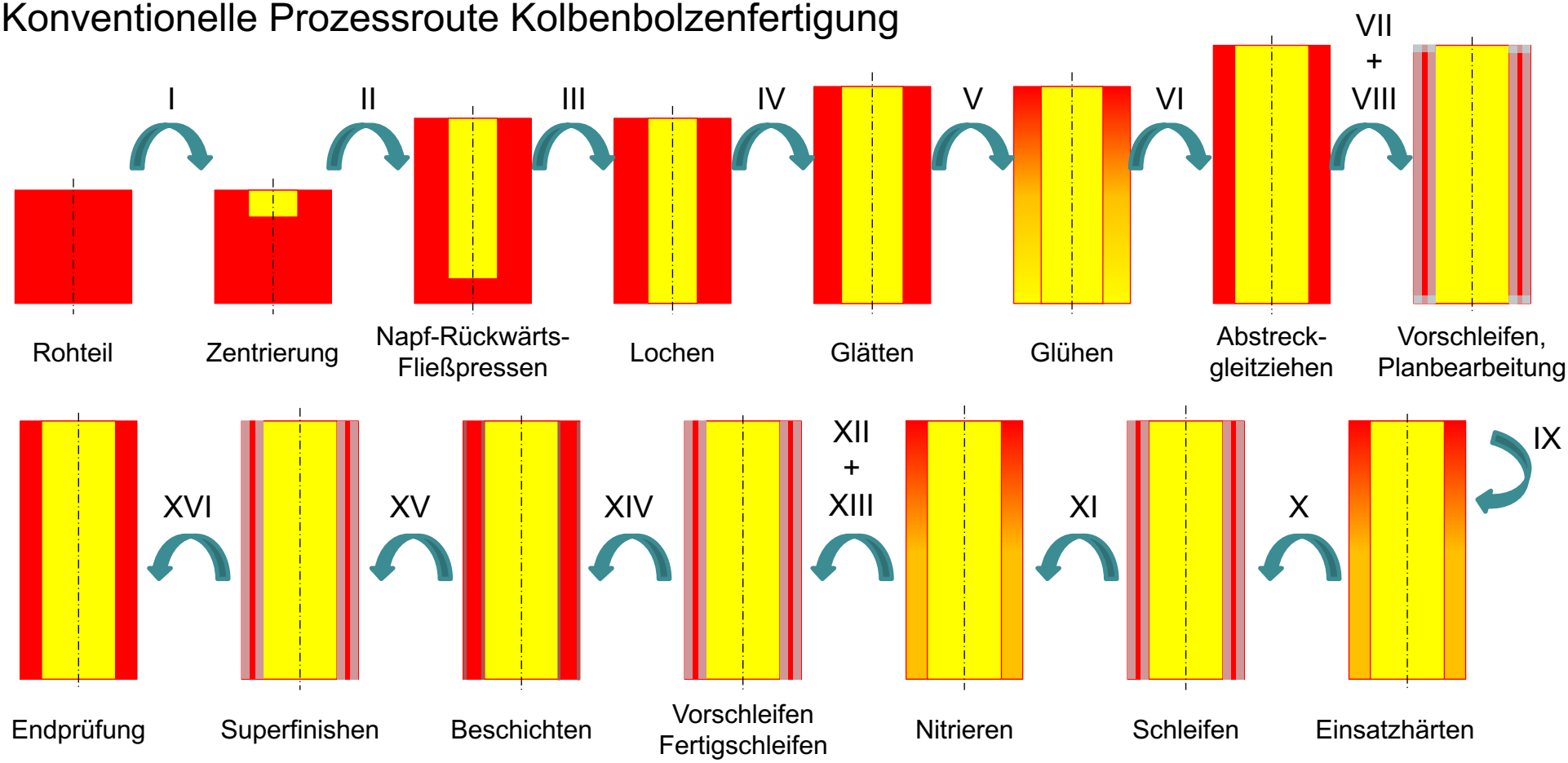
- Der geprüfte Kolbenbolzen mit Innenprofilierung wies im Vergleich zum konventionellen Kolbenbolzen ein um 4 % geringeres Gewicht, gleiche Steifigkeit und eine um 25 % reduzierte Dauerfestigkeit auf
- Die Ergebnisse können als positiv betrachtet werden, da die Anforderungen an Kolbenbolzen immer noch erfüllt werden

Potenzial zur Erhöhung der Dauerfestigkeit:

- Anpassung von Prozessparametern der Wärmebehandlung (Einsatzhärten)
- Erhöhung der Ausfüllung der Innengeometrie durch technologische Maßnahmen

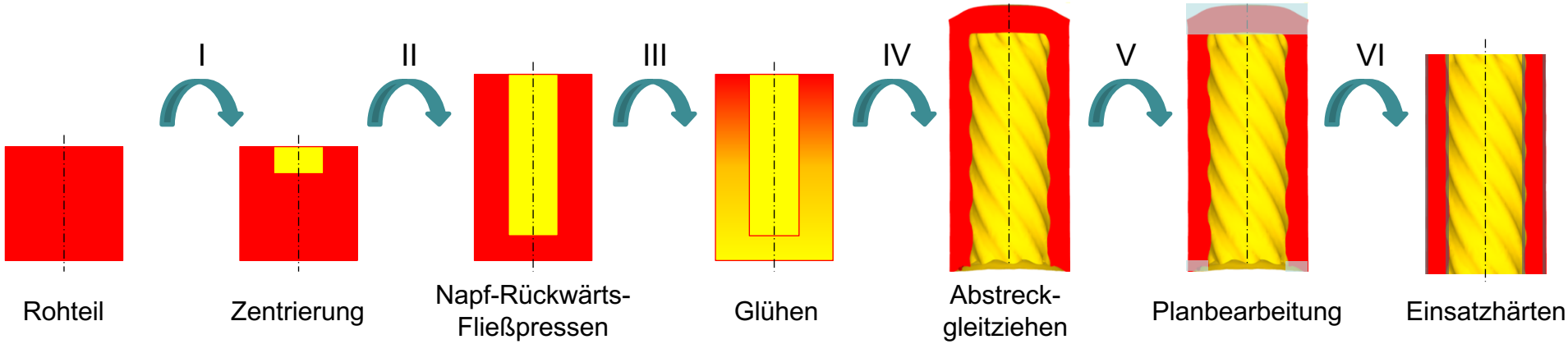
Technische und wirtschaftliche Bewertung

Konventionelle Prozessroute Kolbenbolzenfertigung

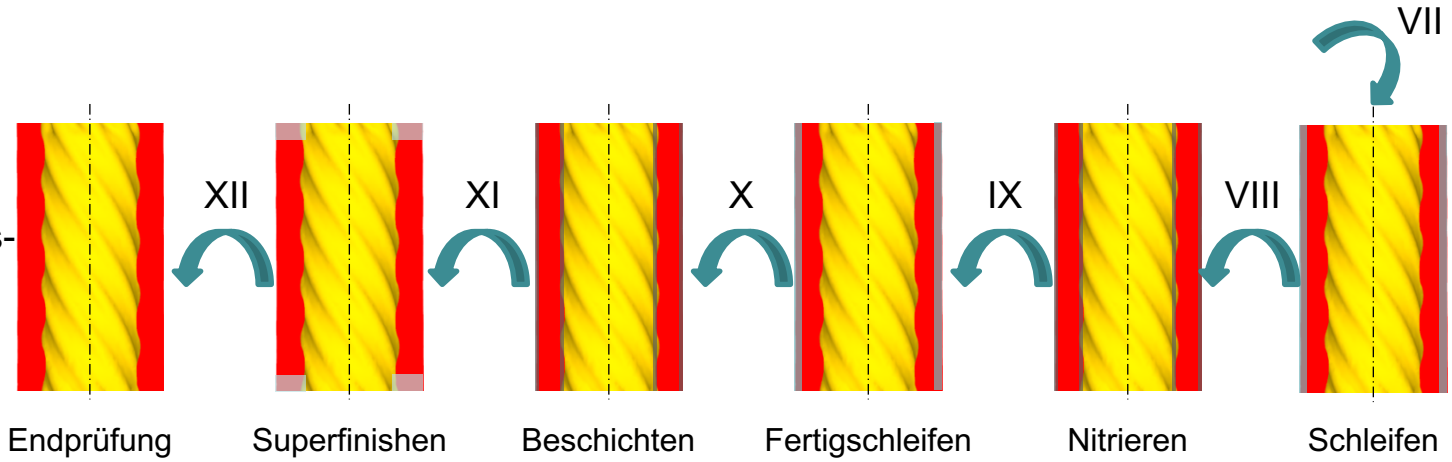


Technische und wirtschaftliche Bewertung

Innovative Prozessroute Kolbenbolzenfertigung



- Reduzierung der Fertigungsstufen bei der Herstellung von Kolbenbolzen in der innovativen Prozessroute von 16 auf 12
- Reduzierung der Fertigungszeit um ca. 20 %



Zusammenfassung

- Bei Herstellung von Kolbenbolzen mit Innenkonturierung kann das Bauteilgewicht bis zu 8% ohne Verlust der Bauteilsteifigkeit reduziert werden

- Für die Erzeugung der Innenkontur wurde eine Prozesstechnik in Anlehnung an das Verfahren Abstreckgleitziehen entwickelt und untersucht

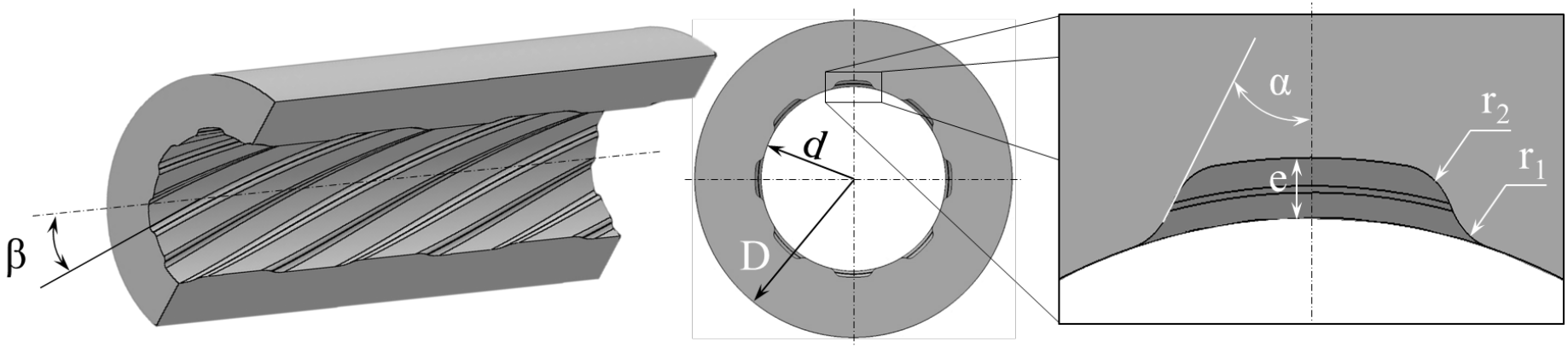
- Das schädigungsfreie Auswerfen des Pressteils ist mit dem Schrägungswinkel β von 20° und allen getesteten Schmierstoffen möglich

- Die Fertigung vom Kolbenbolzen mithilfe innovativer Prozessroute kann im Vergleich zur konventionellen Herstellung von 16 auf 12 Fertigungsstufen und somit die Fertigungszeit um ca. 20 % reduziert werden

Ausblick

Weitere Optimierung der Innenkontur zur Verbesserung der Dauerfestigkeit erfolgt im Rahmen des AiF-ZiM-Projektes „Entwicklung eines Werkzeug- und Schmiersystems zur Herstellung von Hohlbauteilen mit komplexer Innengeometrie bei der Massivumformung“ in Zusammenarbeit mit Fa. ZWEZ-CHEMIE GmbH

<u>Ziel des Projektes:</u>
Ermittlung der Verfahrensgrenzen sowie max. Schrägungswinkel und Einflussfaktoren beim Ausstoßen von Hohlbauteilen mit komplexen Innengeometrien nach dem Umformvorgang



Danksagung

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Forschungsnetzwerk
Mittelstand

Industrielle
Gemeinschaftsforschung

FOSTA Forschungsvereinigung
Stahlanwendung e. V.

AWT

FSV

FVA