

# Gezielte Nutzung umformtechnisch induzierter Eigenspannungen bei der Kaltmassivumformung

Prof. Dr.-Ing. Wolfram Volk

Technische Universität München

TUM School of Engineering and Design

Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen

Sächsische Fachtagung Umformtechnik, 28.11.2023

# Agenda

1

**Einleitung: Eigenspannungen in der Massivumformung**

2

**Motivation**

3

**Strategien zur gezielten Einstellung von Eigenspannungen beim:**

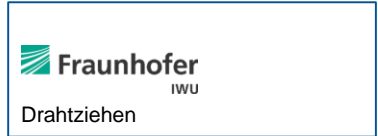
- Kaltfließpressen
- Drahtziehen
- Near-Net-Shape-Blanking

4

**Fazit**

5

**Ausblick: Erkenntnistransfer in das industrielle Umfeld**



# Definition von Massivumformung

## Umformung

### Blechumformung

- Umformung von Blechen
- Zweiachsige Spannungszustände

### Massivumformung

- Umformung von massiven Körpern
- Dreiachsige Spannungszustände



### Kaltumformung:

- Fließpressen
- Drahtziehen
- Near-Net-Shape-Blanking



### Vorteile der Massivumformung:

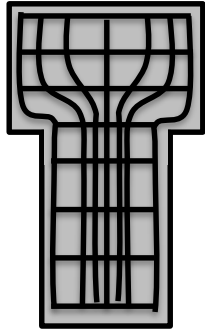
- Geringe Stückkosten
- Hohe Produktionsraten
- Gute Produkteigenschaften
- Hohe Material- und Energieeffizienz

### Nachteile der Massivumformung:

- Hohe Prozesskräfte
- Hohe Investitionskosten
- Geringe Flexibilität

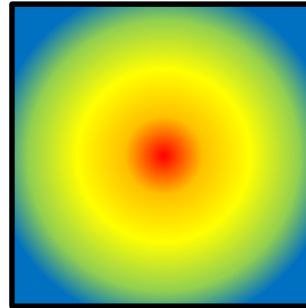
# Mechanismen für die Eigenspannungsentstehung

Inhomogene  
Spannungszustände



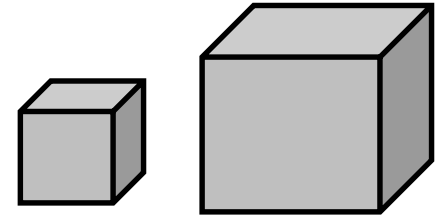
Kaltmassivumformung

Thermische Gradienten  
während der Abkühlung



Warmmassivumformung

Phasenumwandlung



Kalt- und  
Warmmassivumformung

Eigenspannungen können in der Massivumformung durch drei verschiedene Mechanismen entstehen.

# Motivation

**Lastspannungen und Eigenspannungen überlagern sich im Betrieb der Bauteile**

**Auswirkungen von Eigenspannungen:**

Zugeigenspannungen auf der Oberfläche:

- Verringerung der Ermüdungslebensdauer
- Erhöhte Korrosionsneigung
- Gegebenenfalls Verzug von Werkstücken möglich

**Aktueller Umgang mit Eigenspannungen:**

- Reduzierung der Zugeigenspannungen durch zusätzliche Wärmebehandlung
- Einstellen von Druckeigenspannungen durch zusätzliche Mechanische Verfahren

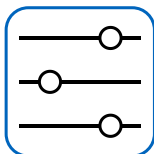


**Die Folgen sind:**

- Verringerung der Wirtschaftlichkeit
- Verlängerung der Prozesskette
- Erhöhter Ressourcenverbrauch

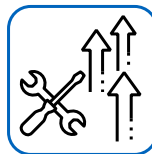
# Strategien zur gezielten Eigenspannungseinstellung

## Prozessparameter



- Geeignete Prozessparameterwahl
- Beeinflussung des Eigenspannungszustandes des Werkstücks
- Bauartbedingte Grenzen der Beeinflussung

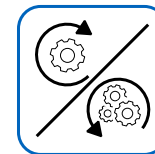
## Werkzeugoptimierung



- Verbesserung der Geometrie
- Veränderung des Materialflusses

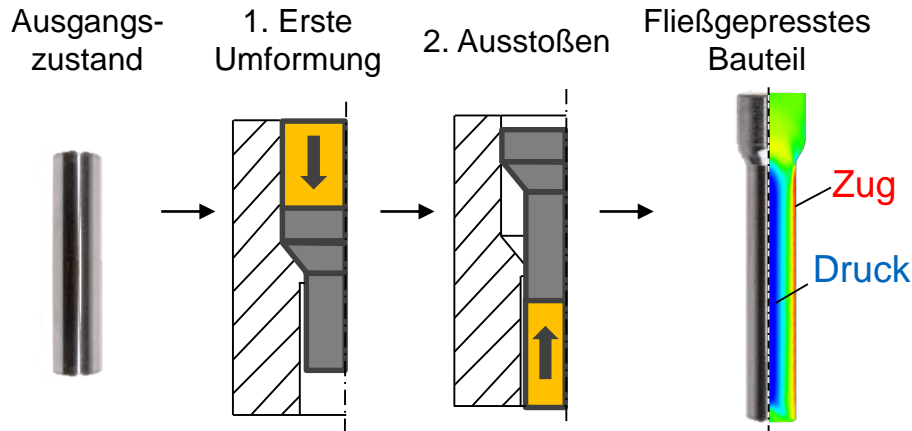
- Erweiterung der Grenzen und damit gezieltes Einstellen von (Druck-) Eigenspannungen

## Alternative Prozessführung



- Aktive Steuerung von Werkzeugaktivelementen
- Hinzufügen von Werkzeugaktivelementen

# Kaltfließpressen

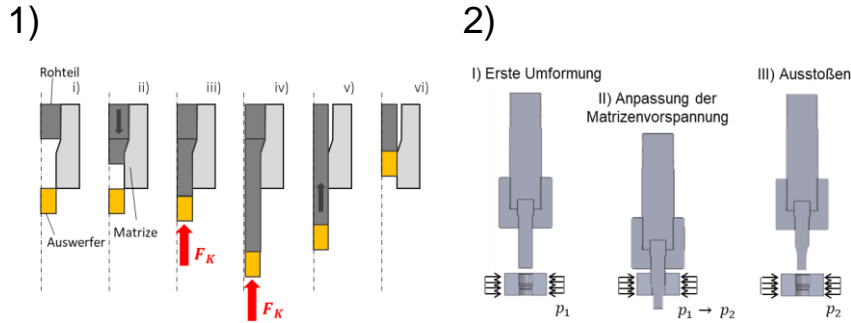


## Voll-Vorwärts-Fließpressen:

- Zweistufiger Herstellprozess
- Mehrachsiger Druckspannungszustand
- Kaltverfestigung & hohe Oberflächengüte
- Hohe Reproduzierbarkeit
- Inhomogener Materialfluss führt zu oberflächennahen Zugeigenspannungen
- Hohe tribologische Belastungen für Bauteil und Werkzeug

Verfahrensbeschreibung

# Kaltfließpressen



## Beeinflussung des Eigenspannungszustandes:

1) Erzeugung einer Gegenkraft in der Hauptumformung

- Vollplastische Umformung
- Materialhomogenisierung

2) Vorspannungserhöhung beim Auswerfen des Fließpressteils

- Teilplastische Umformung
- Feinkalibrierung des Umformgrades

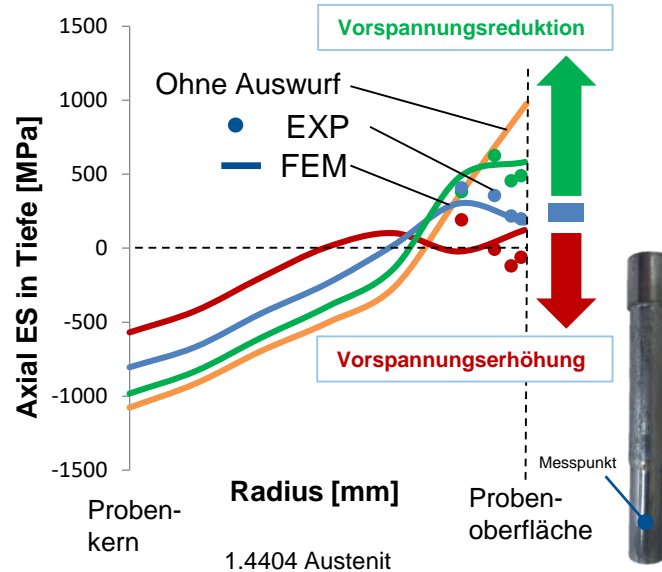
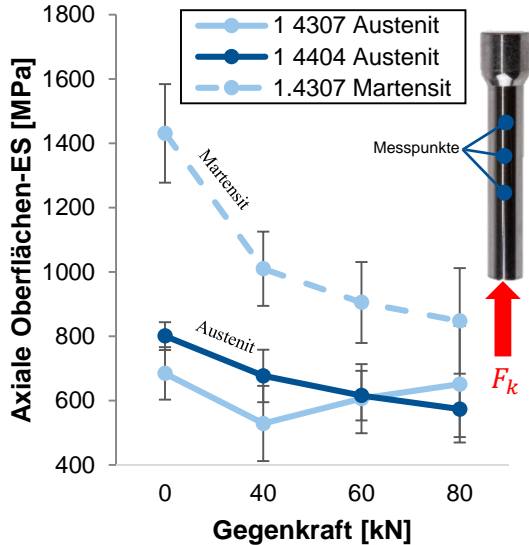
## Ziel:

Prozessintegrierte Einstellung von günstigen Eigenspannungszuständen zur verzugsarmen Gestaltung und Steigerung der Ermüdungslebensdauer sowie Korrosionsresistenz der Fließpressteile

Beeinflussung des Eigenspannungszustandes



# Kaltfließpressen

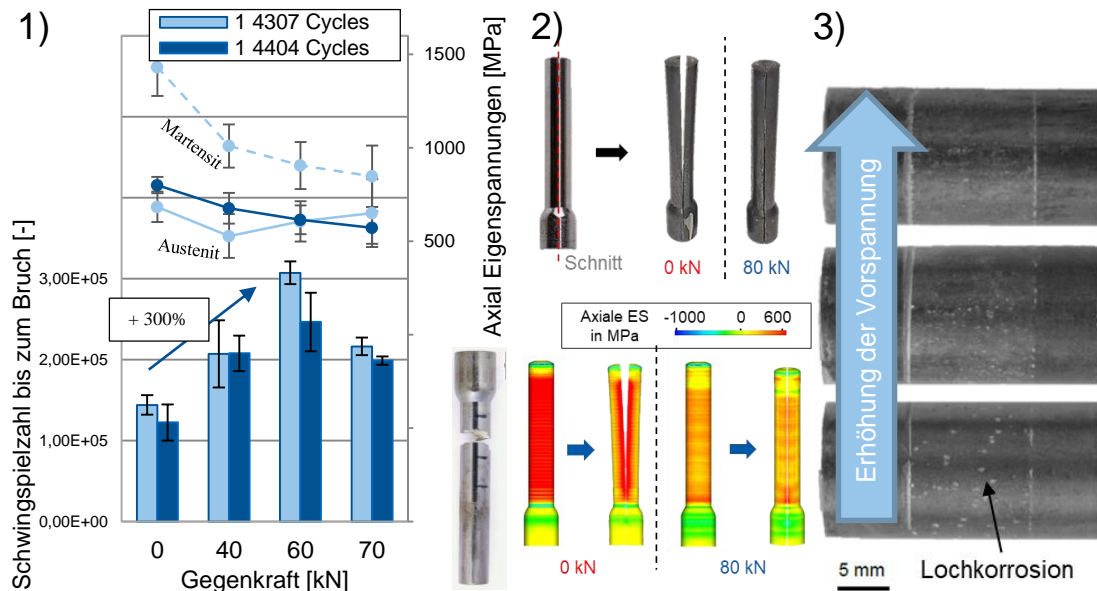


## Resultat:

- Mit höheren Gegenkräften werden Zugspannungen an der Oberfläche abgebaut
- Die Verbesserung ist abhängig von der Materialphase
- Mit der Erhöhung der Vorspannung beim Auswurf können oberflächennahe Druckspannungen induziert werden

Ausgewählte Ergebnisse

# Kaltfließpressen

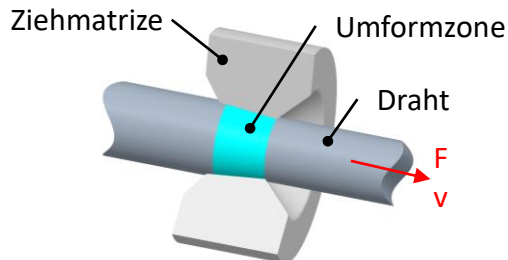


**Ein günstiger Eigenspannungszustand führt zur Steigerung der Produktqualität:**

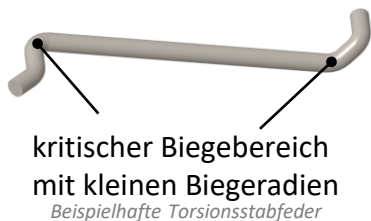
- 1) Steigerung der maximal ertragbaren Schwingspielzahlen bis zu einem bestimmten Kraftniveau
- 2) Reduktion des mechanischen Verzugs
- 3) Steigerung der Korrosionsresistenz durch die Einbringung von Druckspannungen beim Ausstoßen mit erhöhter Matrizenvorspannung

Verbesserung der Bauteileigenschaften durch prozessinduzierte Druckeigenspannungen

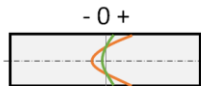
# Drahtziehen



Prinzipdarstellung Drahtziehen



Beispielhafte Torsionsstabfeder

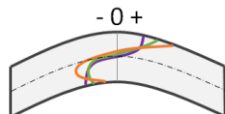


Konventioneller Prozess

— hohe Zugeigenspannungen

Prozessoptimierung

— reduzierte Zugeigenspannungen

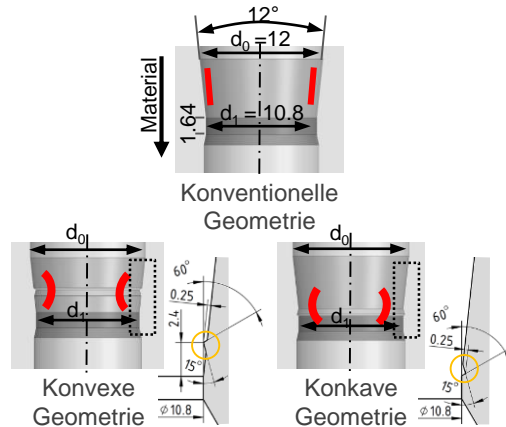


— Biegespannung

## Ausgangssituation:

- hohe Zugeigenspannung an der Drahtoberfläche nach dem Ziehprozess
- ungünstiger Spannungszustand für Weiterverarbeitung und Gebrauch
- weitere Fertigungsprozesse (Wärmebehandlung, Kugelstrahlen,...) erforderlich

# Drahtziehen



## Beeinflussung des Eigenspannungszustandes durch:

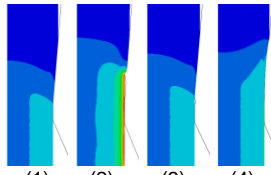
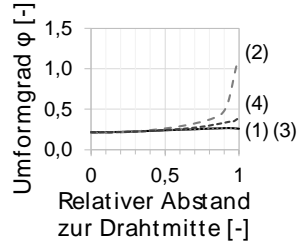
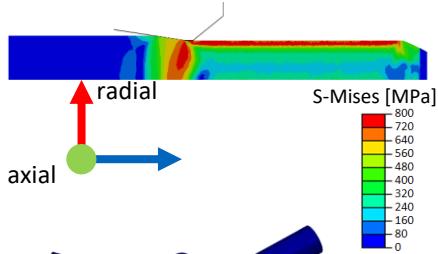
- Eine modifizierte Werkzeuggeometrie
  - Zusätzliche Geometrielemente in der Umformzone
  - Kombination von Geometrielementen bei mehrstufigen Prozessen
- Die Prozess- und Prozessparameterwahl
  - Ziehgeschwindigkeit
  - Schmierung

## Ziel:

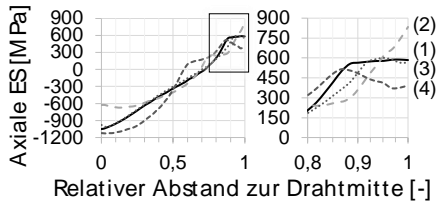
Einstellung von reproduzierbaren Eigenspannungszuständen über den Drahtquerschnitt und Verbesserung des Fertigungsprozesses von Torsionsstabfedern mit kleinem Biegeradien

Beeinflussung des Eigenspannungszustandes

# Drahtziehen



- (1) Konventionell
- (2) Konvex
- (3) Konkav
- (4) Traktrix

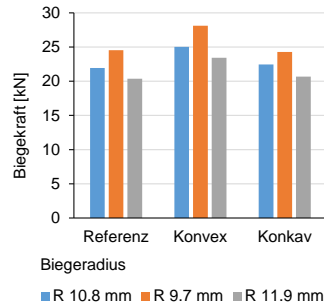
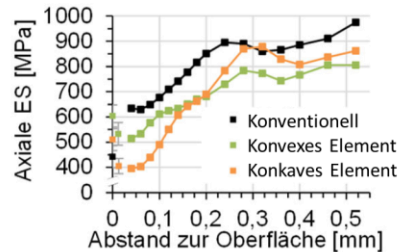
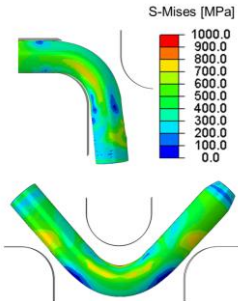


## Methodisches Vorgehen:

- FE-Simulationen zum Drahtziehen sowie -biegen und Ableitung von geeigneten Geometrieelementen in der Matrize
- Drahtziehvorrichtung mit wechselbaren Matrizen
- Biegevorrichtung (Abkanten & 3-Punkt-Biegen)
- Demonstrators mit charakteristischen Bauteilbereichen einer Torsionsstabfeder
- Qualifizierung der phasenspezifische Eigenspannungsanalyse mittels Röntgenographie und Bestimmung der Makro eigenspannungen mit Bohrloch-Methode für Draht mit  $\varnothing=10,8\text{mm}$ .

Vorgehen

# Drahtziehen

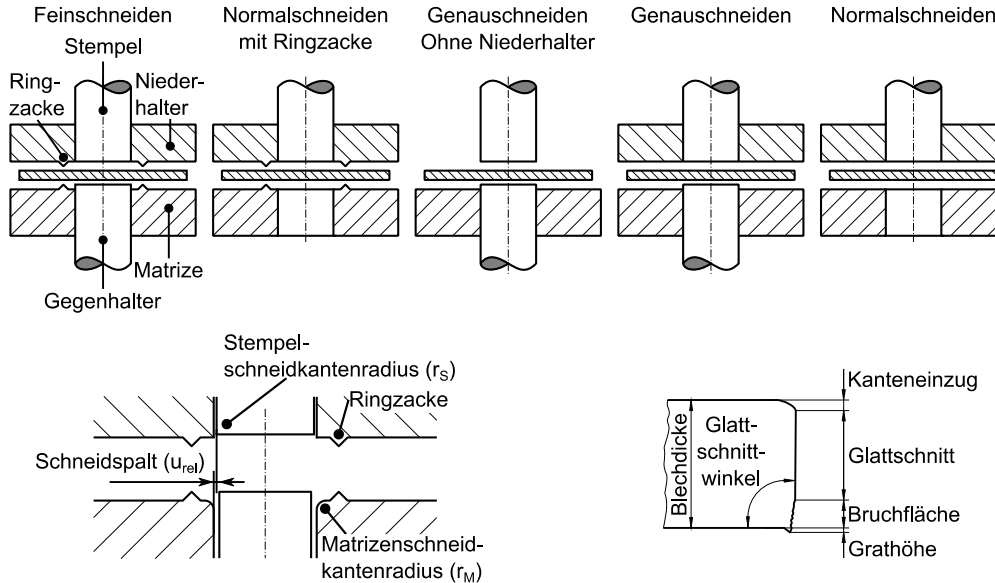


## Ergebnisse:

- numerischer und experimenteller Nachweis, dass mit den Geometrielementen in den Matrizen die Eigenspannungen über den Drahtquerschnitt reproduzierbar eingestellt werden
- Zugeigenspannungen im Randbereich des Drahtes konnten um bis zu 28 % reduziert werden
- Nachweis der Korrelation zwischen eingestellten Eigenspannungen und Biegeverhalten des Drahtes

Ausgewählte Ergebnisse

# Near-Net-Shape-Blanking



## Near-Net-Shape-Blanking-Verfahren:

- Einstufige Verfahren
- Komplexe Funktionsflächengeometrien wirtschaftlich fertigbar
- Gute Kombinierbarkeit mit anderen Umformverfahren
- Hohe Glattschnittanteile auf der Funktionsfläche
- Glattschnittwinkel nahe am Ideal
- Geringe Kanteneinzüge
- Geringe Grathöhen

Verfahrensbeschreibung

# Near-Net-Shape-Blanking

**Ziel:**

Hohe Druckeigenstressungen für eine Erhöhung der Ermüdungslebensdauer beim Lochern und Ausschneiden

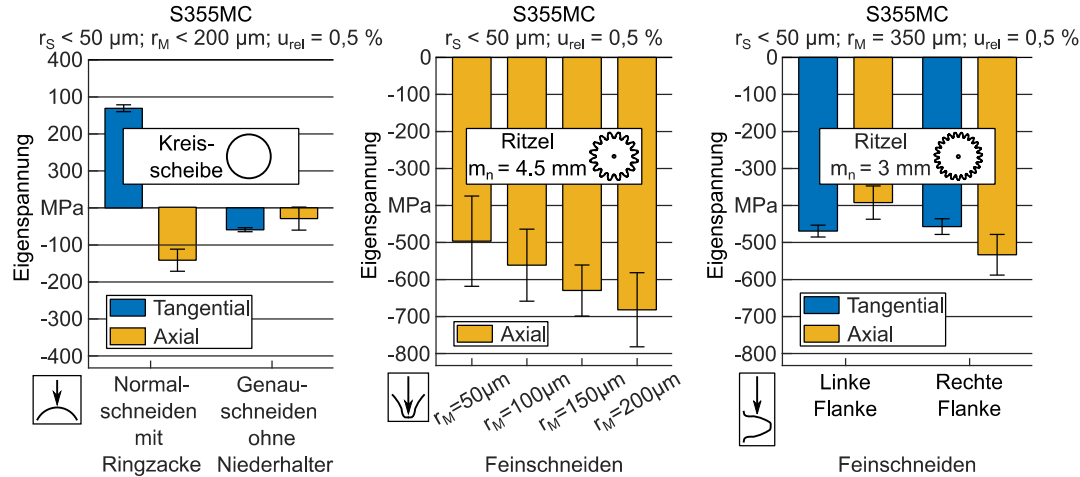
**Beeinflussung des Eigenspannungszustandes durch:**

- Die Prozess- und Prozessparameterwahl
  - Auswahl der Aktivelemente
  - Ringzackenkraft und Gegenhalterkraft
  - Schneidspalt
- Die Werkzeugparameterwahl bzw. die Werkzeuggeometrie
  - Ringzacke(n) und Ringzackenposition
  - Gegenhalter
  - Matrizen- und Stempelschneidkantenpräparation

Beeinflussung des Eigenspannungszustandes



# Near-Net-Shape-Blanking

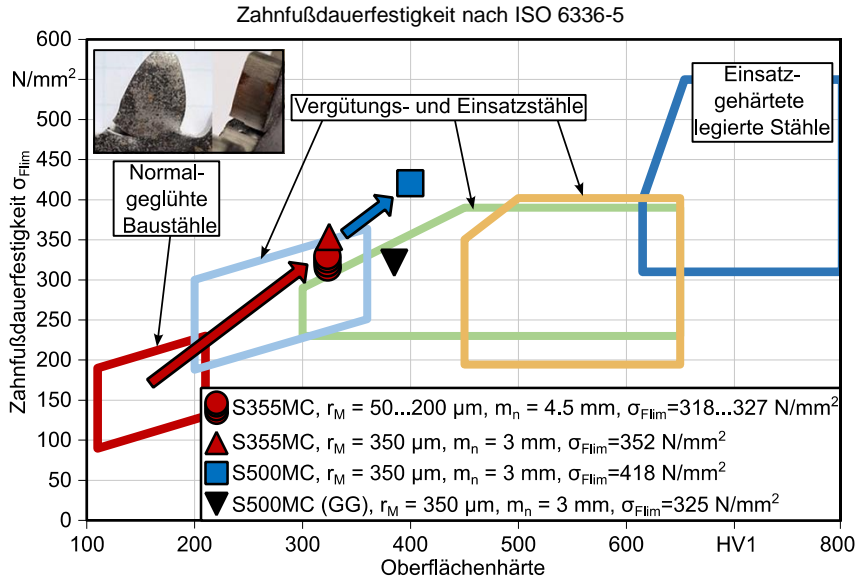


**Je nach Wahl des Prozesses und der Prozessparameter sowie der Gestaltung der Werkzeuge finden sich am Bauteil:**

- Hohe Druckeigenstressungen auf der Funktionsfläche (in tangentialer und axialer Richtung) an Ausschnitten
- Auch hohe Druckeigenstressungen (in tangentialer und axialer Richtung) auf Funktionsflächen in gelochten Bauteilen möglich

Ausgewählte Ergebnisse

# Near-Net-Shape-Blanking



Hohe Druckeigenstressungen auf der Oberfläche führen zu einer erhöhten Zahnfußdauerfestigkeit

## Resultat:

- Vergleichbar hohe Zahnfußdauerfestigkeit
- Hohe Verzahnungsqualitäten
- Geringe Oberflächenrauheit der Funktionsflächen mit sehr hohem Traganteil, geringem Kanteneinzug und kleiner Kanteneinzugshöhe bei Schnittflächenwinkeln nahe am Ideal

Verbesserung der Bauteileigenschaften durch prozessinduzierte Druckeigenstressungen

## Fazit

Ein tiefes Prozessverständnis ist notwendig, um den Eigenspannungszustand im Umformprozess gezielt einzustellen. Ein fundamentales Verständnis des erzielbaren Nutzens, der verantwortlichen Phänomene und von Gestaltungsmöglichkeiten bei Massivumformprozessen sind im SPP 2013 erarbeitet worden.

### **Fließpressen:**

Einstellung von gezielten Eigenspannungszuständen durch eine aktive Prozess-führung, um inline eine Produkt- und Leistungssteigerung von Fließpressteilen zu ermöglichen

### **Drahtziehen:**

Reduzierung der oberflächennahen Zugeigenspannungen, Einflussnahme auf die Spannungsverteilung über den Drahtquerschnitt durch geometrische Zusatzelemente in der Umformzone direkt im Prozess

### **Near-Net-Shape-Blanking:**

Hohe Druckeigenspannungen auf der Funktionsfläche bei Ausschnitten und gelochten Bauteilen durch gezielte Prozess-, Prozessparameter- und Werkzeugparameterwahl

# Ausblick: Erkenntnistransfer in das industrielle Umfeld

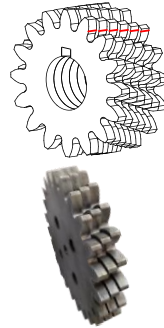
Near-Net-Shape-Blanking

Fließpressen

DFG-Erkentnistransferprojekt

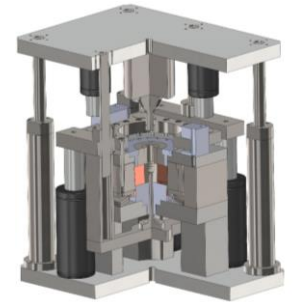
**Ziel:**

Feingeschnittene leistungsübertragende Verzahnungen für die industrielle Anwendung, um die Potentiale hinsichtlich Kosten, Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion zu nutzen



**Ziel:**

Umsetzung der Fertigungsstrategien durch die Entwicklung von innovativen Werkzeugsystemen, um die Produkt- und Leistungssteigerung für die industrielle Anwendung zu nutzen



DFG-Erkentnistransferprojekt ab 01.01.2024

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

