

*Umformsimulation in der Massivumformung*  
*Anspruch, Anwendung, Potential*

*Dr. Michael Twickler, CPM GmbH, Herzogenrath*

## *Umformsimulation in der Massivumformung*

### *Anspruch, Anwendung, Potential*

#### **Umformsimulation, warum?**

- um eindrucksvolle, vielfarbige Bilder zu erzeugen? **NEIN**
- um automatisch eine vollständige Schmiedefolge zu generieren? **NEIN**
- um eine gegebene Schmiedefolge zu kontrollieren und zu optimieren? **JA**
- um den erforderlichen Kraft/Arbeitsbedarf zu ermitteln? **JA**
- um eine lastmäßige Ausgewogenheit einer Schmiedefolge zu kontrollieren? **JA**
- um die Beanspruchung des Schmiedeteils (Spannungen, Verformungen, etc.) zu kontrollieren? **JA**
- um die Werkzeugbeanspruchung zu kontrollieren und zu optimieren? **JA**
- um Anzeichen für Rissbildungen, Falten, Überschmiedungen zu finden? **JA**
- um in letzter Konsequenz die Schmiedeteileigenschaften, die Werkzeugstandzeiten und die Reproduzierbarkeit des Schmiedeprozesses zu optimieren? **JA**

# *Umformsimulation in der Massivumformung*

## *Anspruch, Anwendung, Potential*

### **Anspruch**

**Numerisches Verfahren**, das die Realität möglichst präzise wiedergibt. Es muss

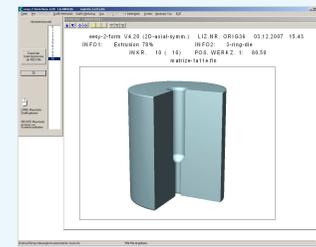
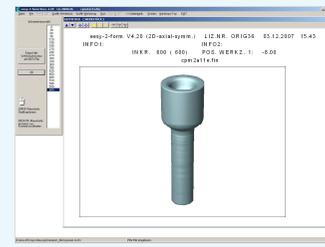
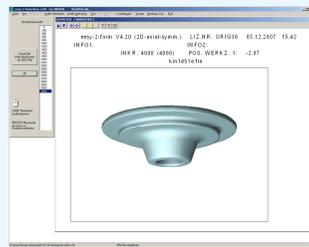
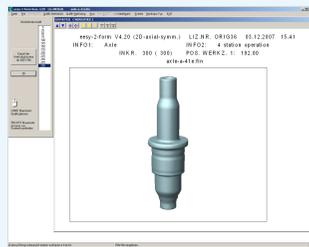
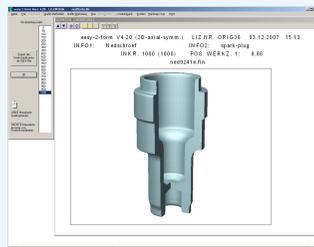
- das **Materialverhalten/Umformverhalten richtig wiedergeben**, d.h. das Zusammenspiel von (präzisen) Materialdaten und der algorithmischen Umsetzung der maßgeblichen Stoffgleichungen muss auch im numerischen Verfahren ein realistisches Verhalten beschreiben
- den Einfluss von **mechanischen/thermischen Randbedingungen** (Reibung, Wärmeübergang) **richtig wiedergeben**, d.h. es muss genügend sensibel auf Änderungen reagieren
- eine genügend **hohe lokale Auflösung erreichen**, um Aussagen zu lokalen Eigenschaften möglich zu machen
- einen **präzisen und sensiblen lokalen Stofffluss gewährleisten**, um Faltenbildungen und Überschmiedungen anzeigen zu können
- **in sich schlüssige lokale Ergebnisse liefern**, so dass weitergehende Ableitungen aus diesen Ergebnissen möglich werden (z.B. Indikatoren für Rissbildungen/Schädigungen, Gefügevorderbestimmung, Verschleiß, etc.)
- auch **auf geometrisch komplexe Fragestellungen anwendbar** sein

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Anwendungen

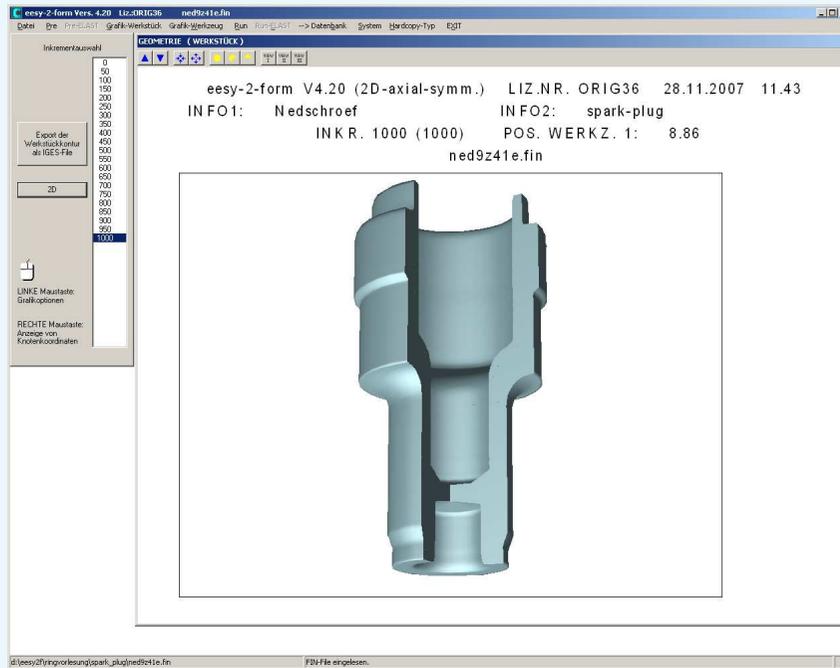
- I Zündkerzenkörper mit starker Einschnürung
- II Achse mit unzureichender Festigkeit (Härte)
- III Werkzeugversagen durch dynamische Zugbeanspruchung (o. Lösung)
- IV Abplatzung am Stempel durch ungünstige Form bzw. Belastung (m. Lösung)
- V Extrusion in mehrfach armerter Fließpressmatrize



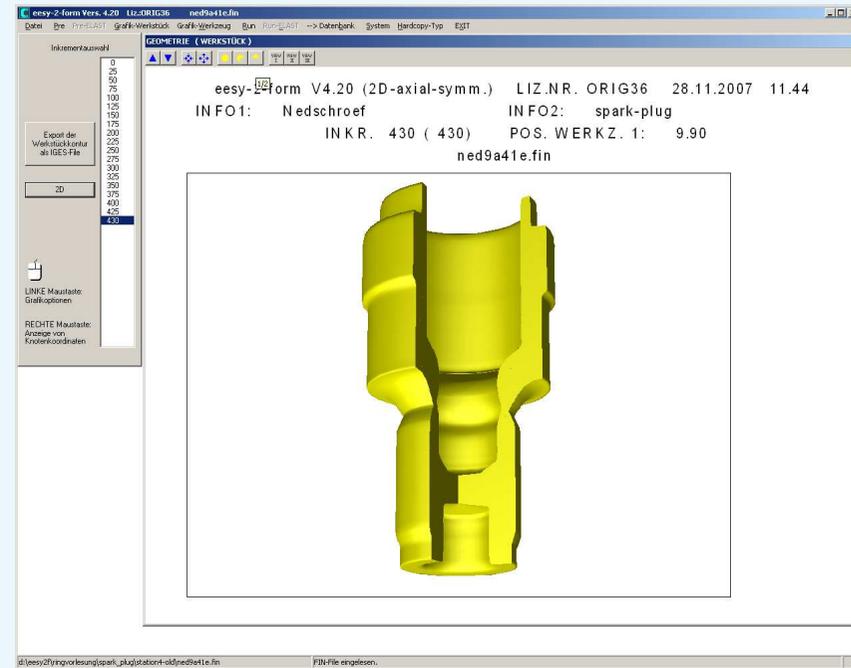
# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel I: Zündkerzenkörper mit starker Einschnürung



Gewünschte Endgeometrie

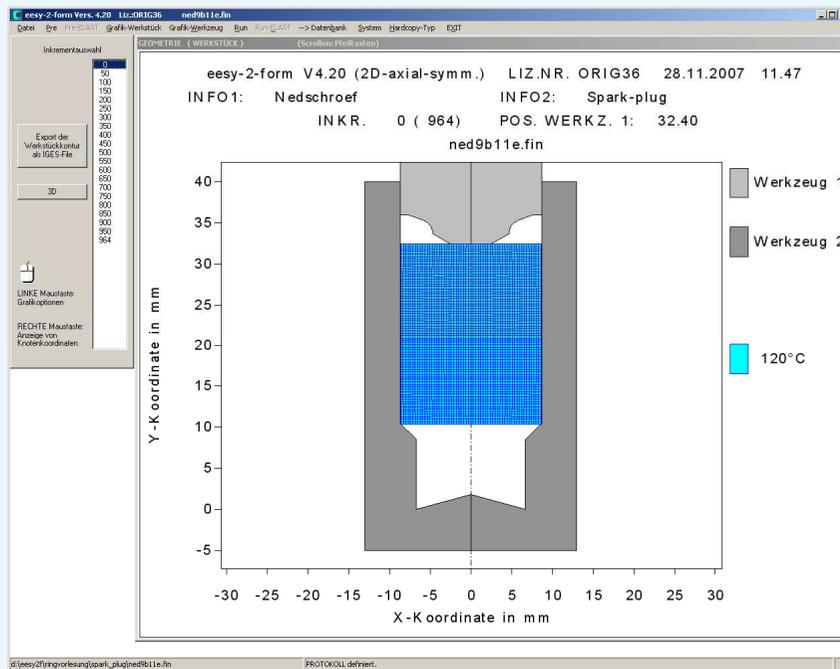


Zu erwartenden Endgeometrie

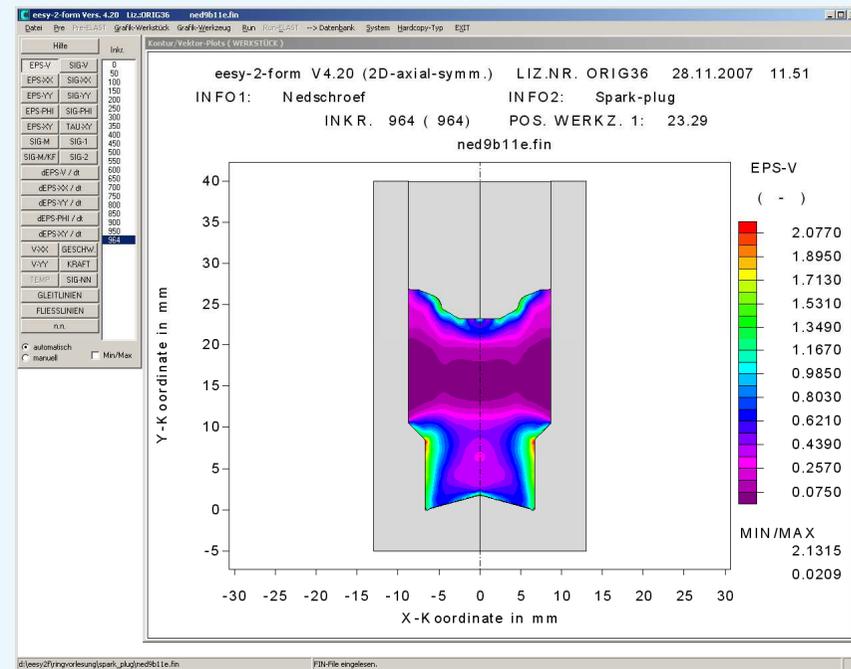
# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel I: Zündkerzenkörper mit starker Einschnürung



Ausgangsgeometrie 1. Umformstufe

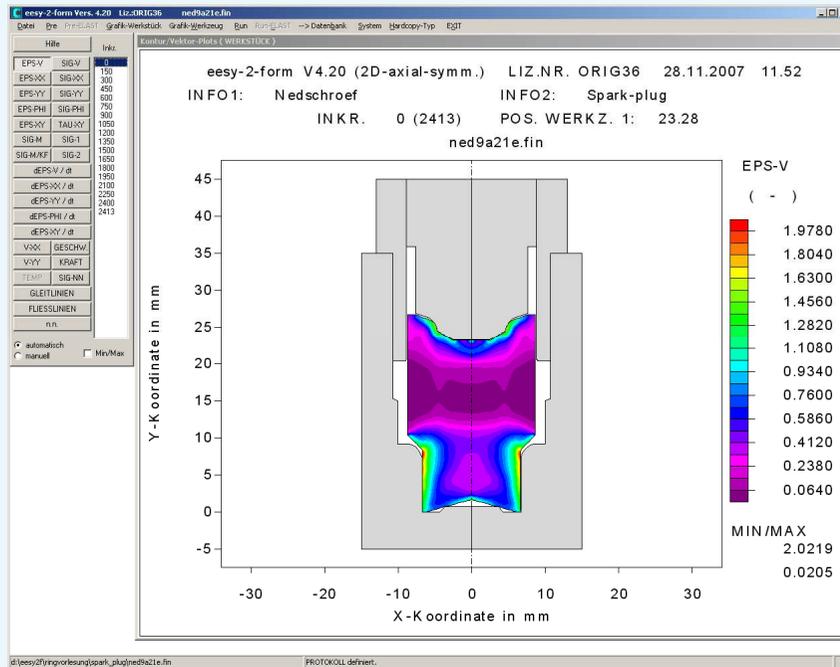


Umformgradverteilung nach 1. Umformstufe

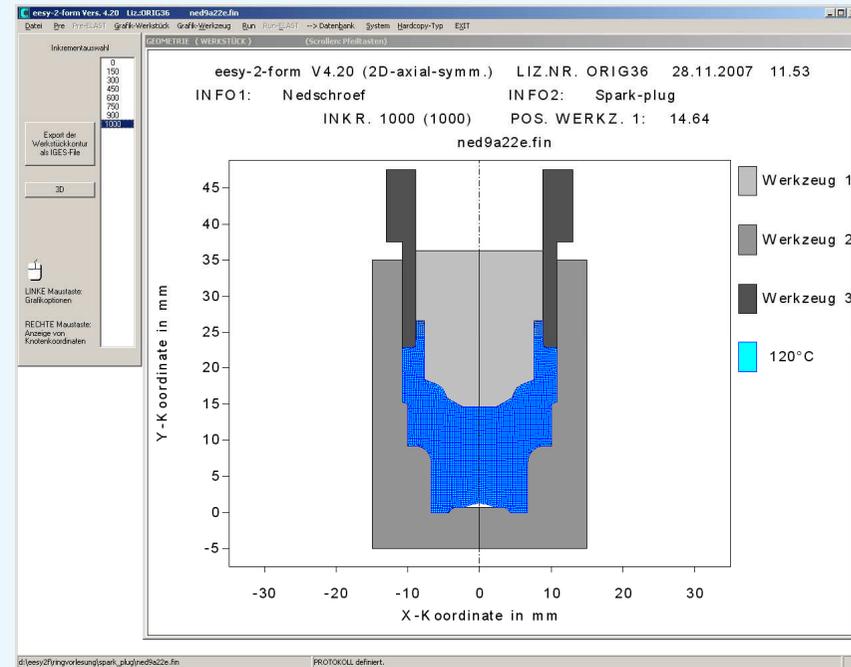
# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel I: Zündkerzenkörper mit starker Einschnürung



Umformgradverteilung vor 2. Umformstufe

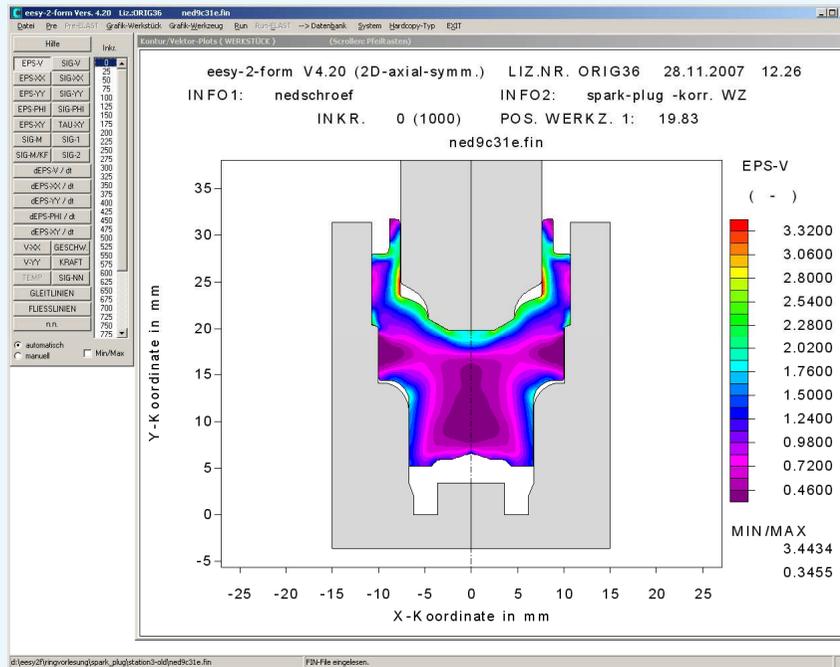


Endgeometrie nach 2. Umformstufe

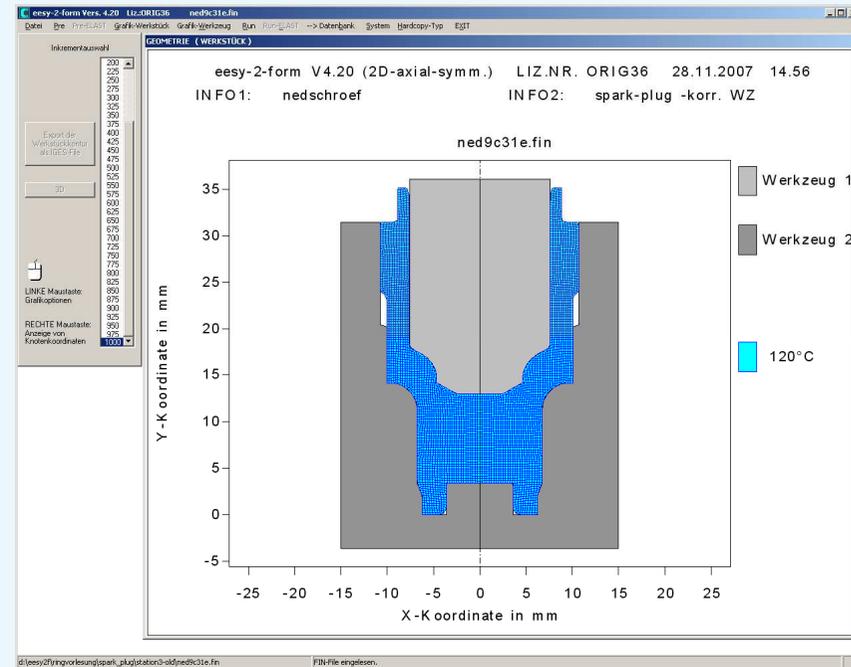
# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel I: Zündkerzenkörper mit starker Einschnürung



Umformgradverteilung vor 3. Umformstufe

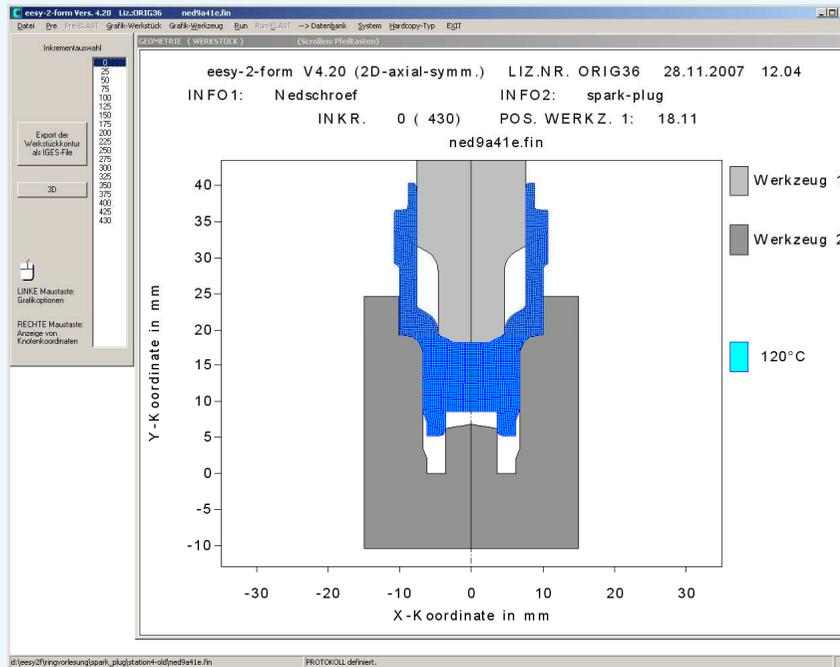


Endgeometrie nach 3. Umformstufe

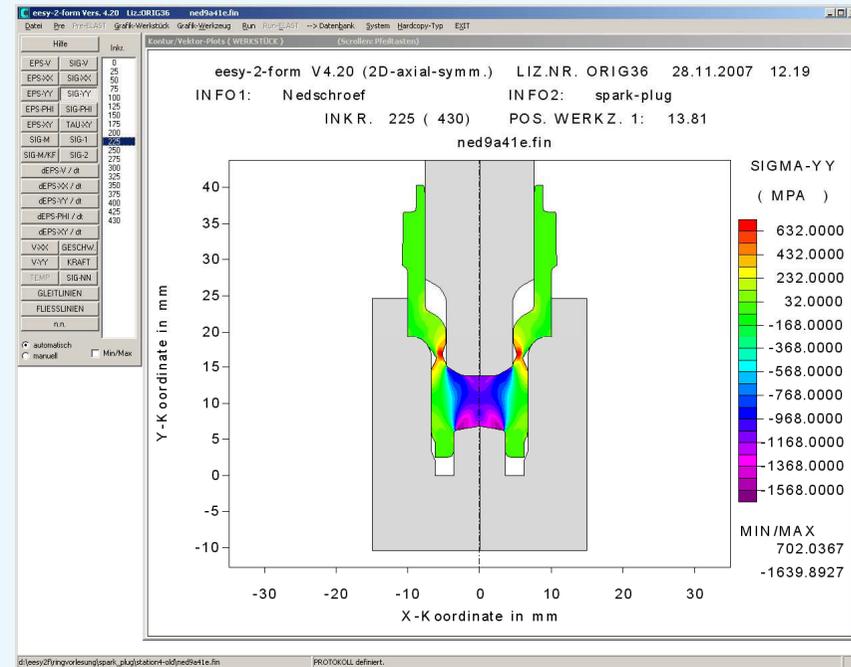
# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel I: Zündkerzenkörper mit starker Einschnürung



Ausgangsgeometrie 4. Umformstufe

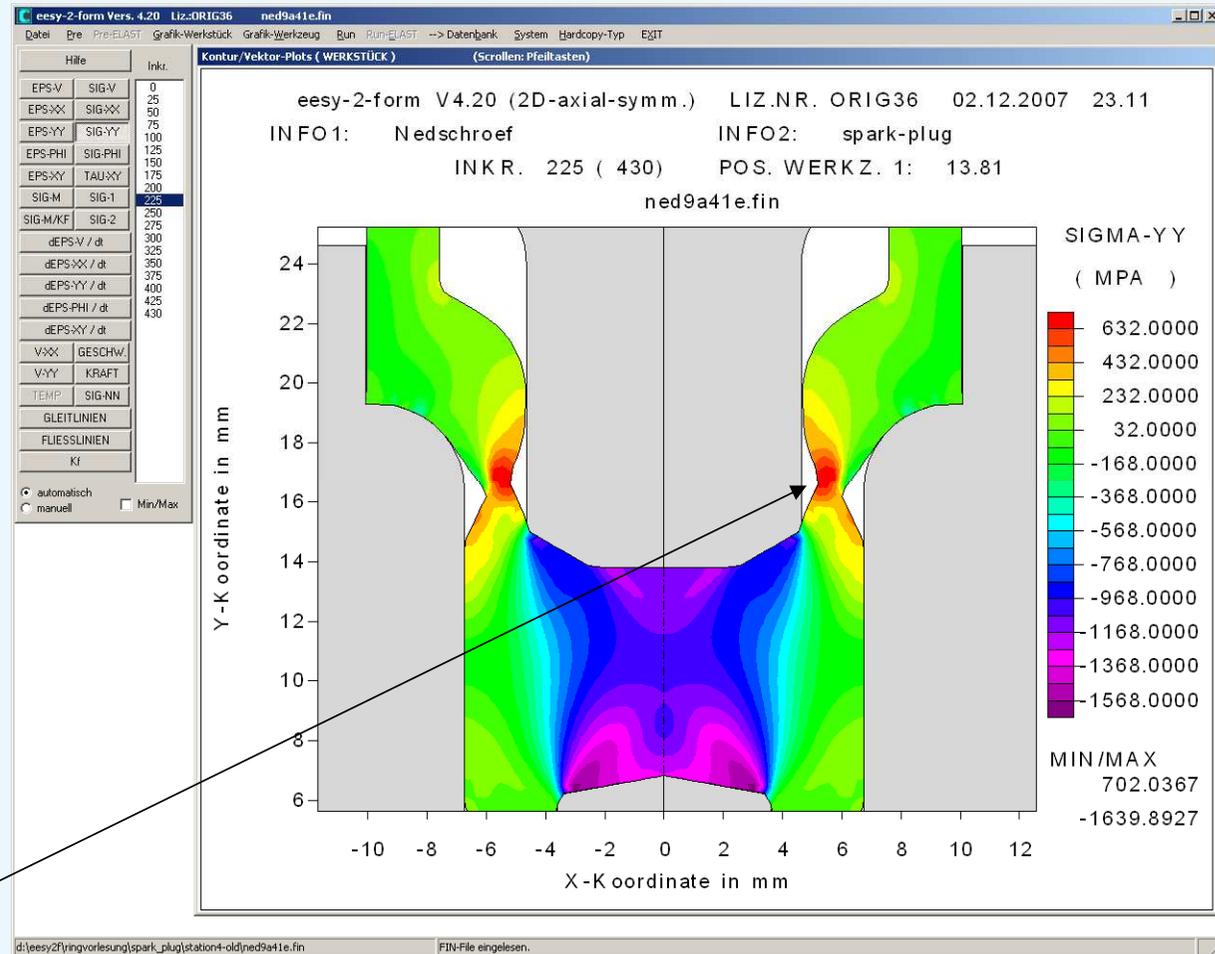


Axialspannungsverteilung während der 4. Umformstufe

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel I: Zündkerzenkörper mit starker Einschnürung



Axialspannungsverteilung während der 4. Umformstufe mit **starker Einschnürung**

# Umformsimulation in der Massivumformung

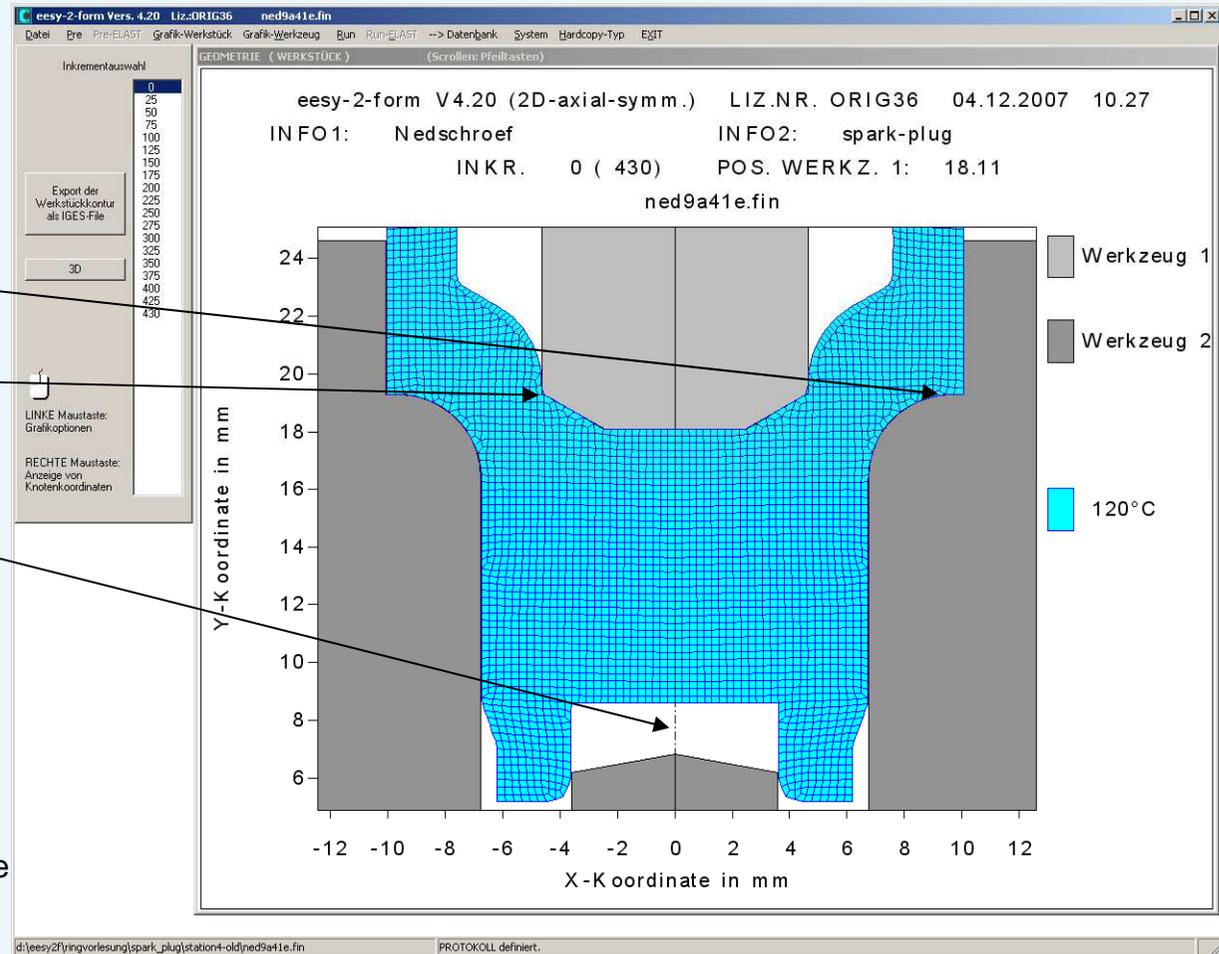
## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel I: Zündkerzenkörper mit starker Einschnürung

Vermutliche Ursache für die Einschnürung:

Werkstück stützt sich lediglich auf der Schulter ab, Pressstempel ist bereits in etwa auf gleicher Höhe mit der Schulter, keine Unterstützung des Werkstücks durch den Auswerferstift

Ausgangsgeometrie 4. Umformstufe

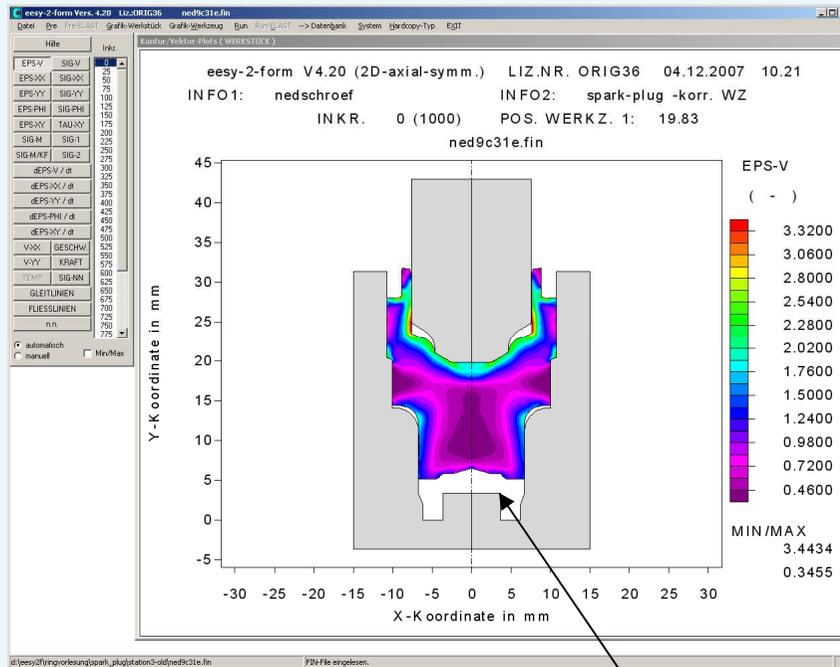


# Umformsimulation in der Massivumformung

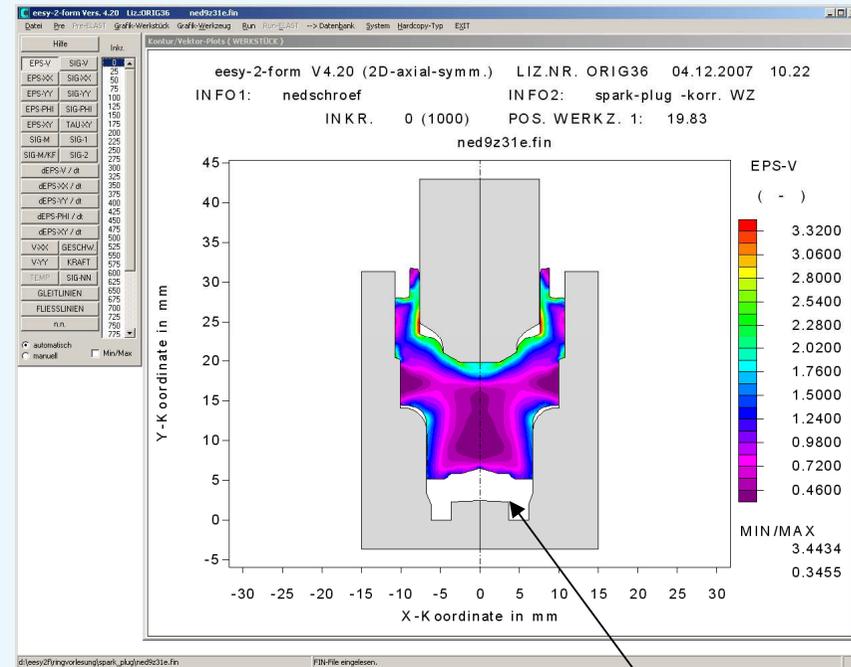
## Anspruch, Anwendung, Potential

Beispiel I: Zündkerzenkörper mit starker Einschnürung

Korrektur: Auswerferstift um ca. 1 mm tiefergestellt



3. Umformstufe (alt), Auswerferhöhe: 3,4 mm

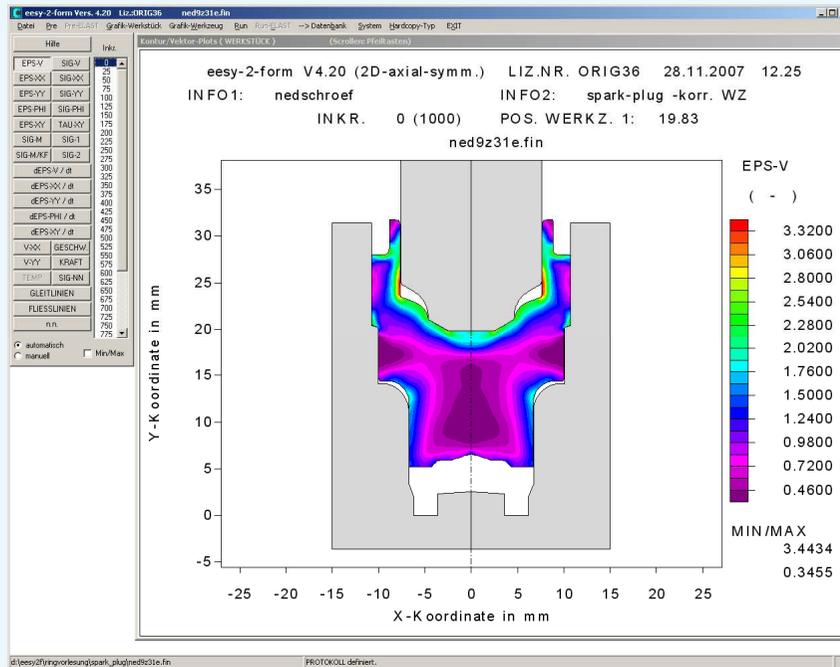


3. Umformstufe (neu), Auswerferhöhe: 2,5-2,3 mm

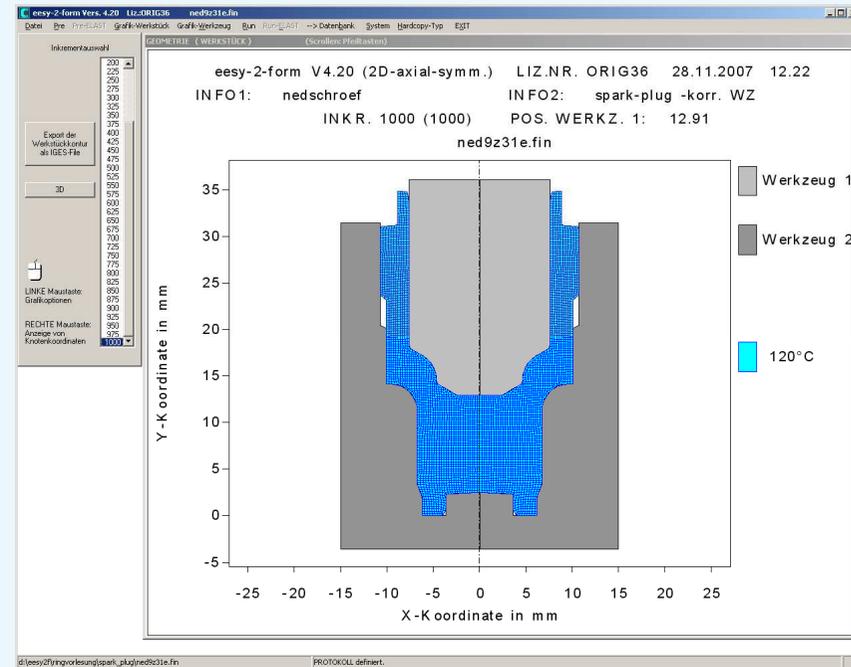
# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel I: Zündkerzenkörper mit starker Einschnürung



Umformgradverteilung vor 3. Umformstufe (neu)

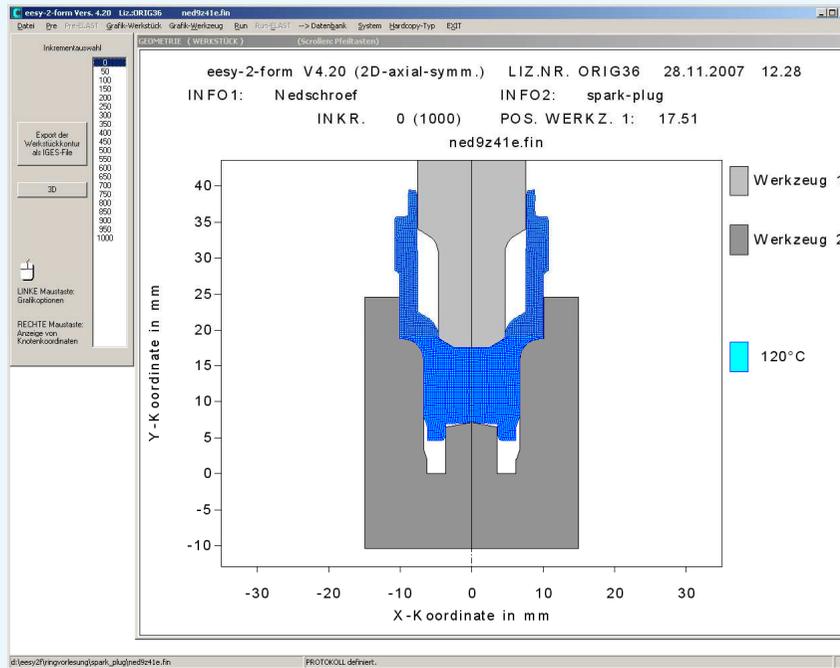


Endgeometrie nach 3. Umformstufe (neu)

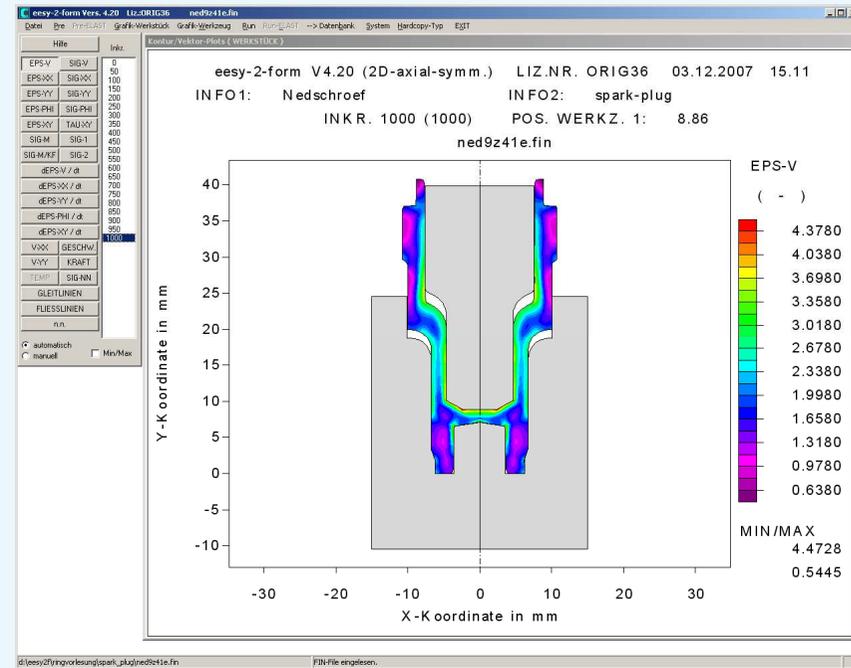
# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel I: Zündkerzenkörper mit starker Einschnürung



Ausgangsgeometrie (neu) 4. Umformstufe

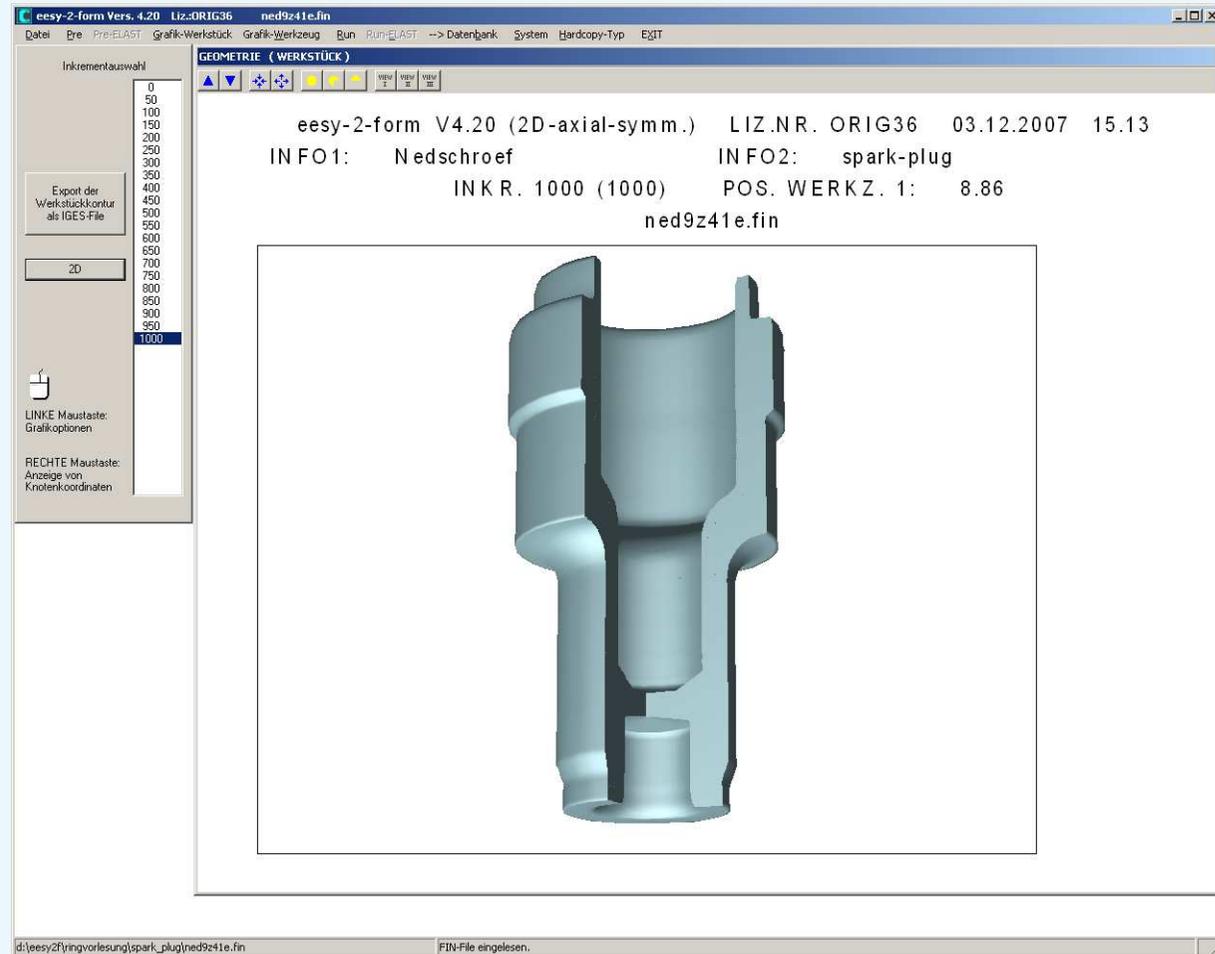


Umformgradverteilung nach 4. Umformstufe,  
**keine** erkennbare Einschnürung

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel I: Zündkerzenkörper mit starker Einschnürung



Endgeometrie (neu),  
**keine erkennbare Einschnürung**

*Umformsimulation in der Massivumformung*  
*Anspruch, Anwendung, Potential*

Beispiel I: Zündkerzenkörper mit starker Einschnürung

**Fazit:**

Die Umformsimulation zeigt eine deutliche Einschnürung, die am realen Bauteil sicher zu einem Abriss führen würde.

Aus den Gegebenheiten in der kritischen Umformstufe lässt sich eine Lösungsidee ableiten.

Die Umformsimulation für die veränderte Auslegung bestätigt die Lösungsidee.

# Umformsimulation in der Massivumformung

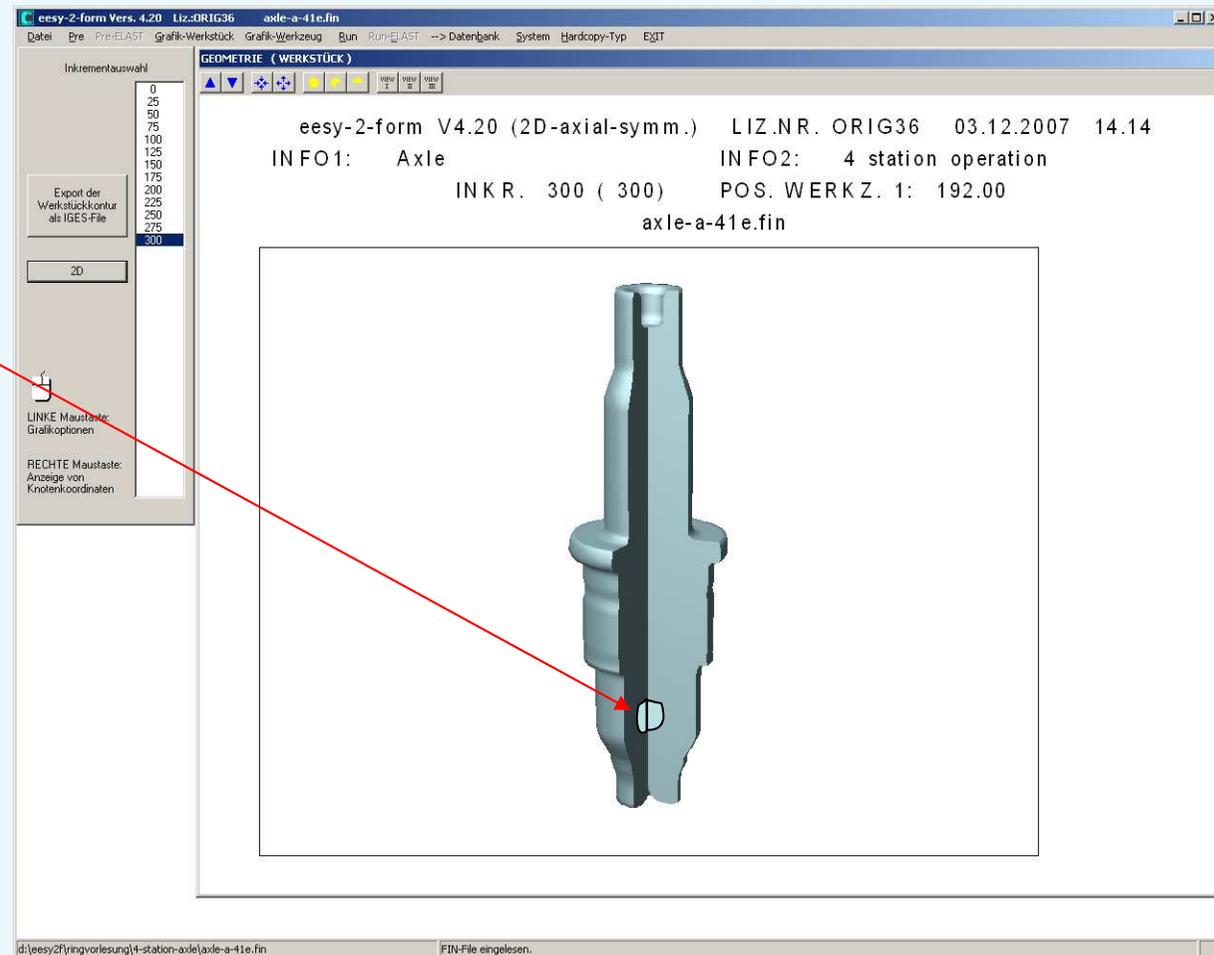
## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel II: Achse mit unzureichender Festigkeit (Härte)

Problem: Härtemessung ergab einen daumennagelgroßen Bereich unzureichender Härte im unteren Bereich

Fragestellung: periodische Fehlstellen im Ausgangsdraht oder auslegungsbedingter Mangel an plastischer Verformung

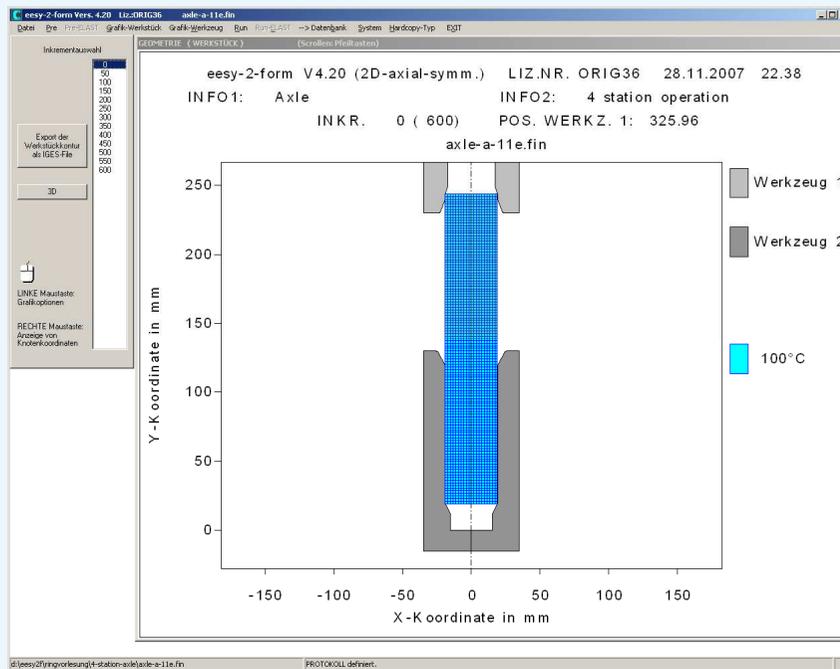
Endgeometrie nach 4 Umformstufen



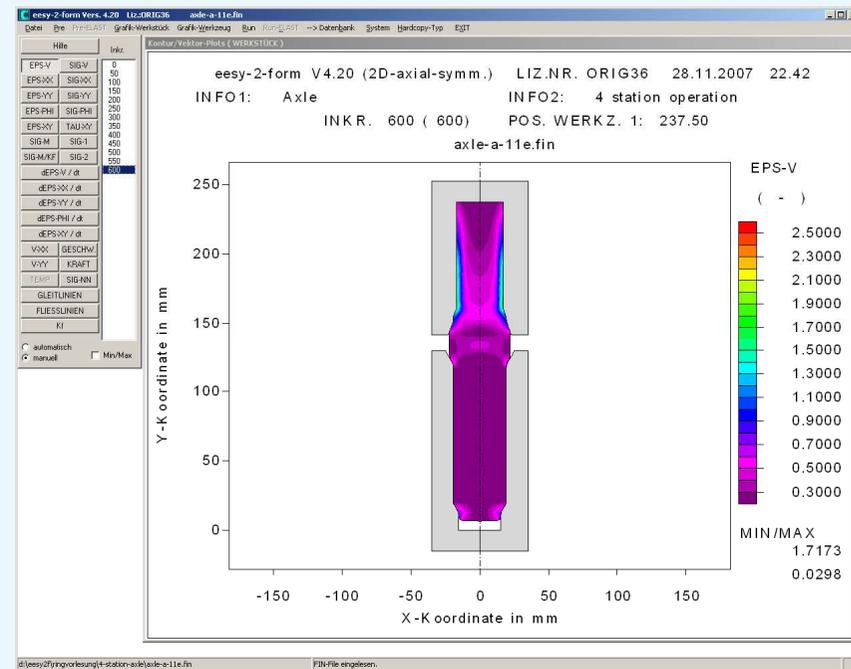
# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel II: Achse mit unzureichender Festigkeit (Härte)



Ausgangsgeometrie 1. Umformstufe



Umformgradverteilung nach 1. Umformstufe

# Umformsimulation in der Massivumformung

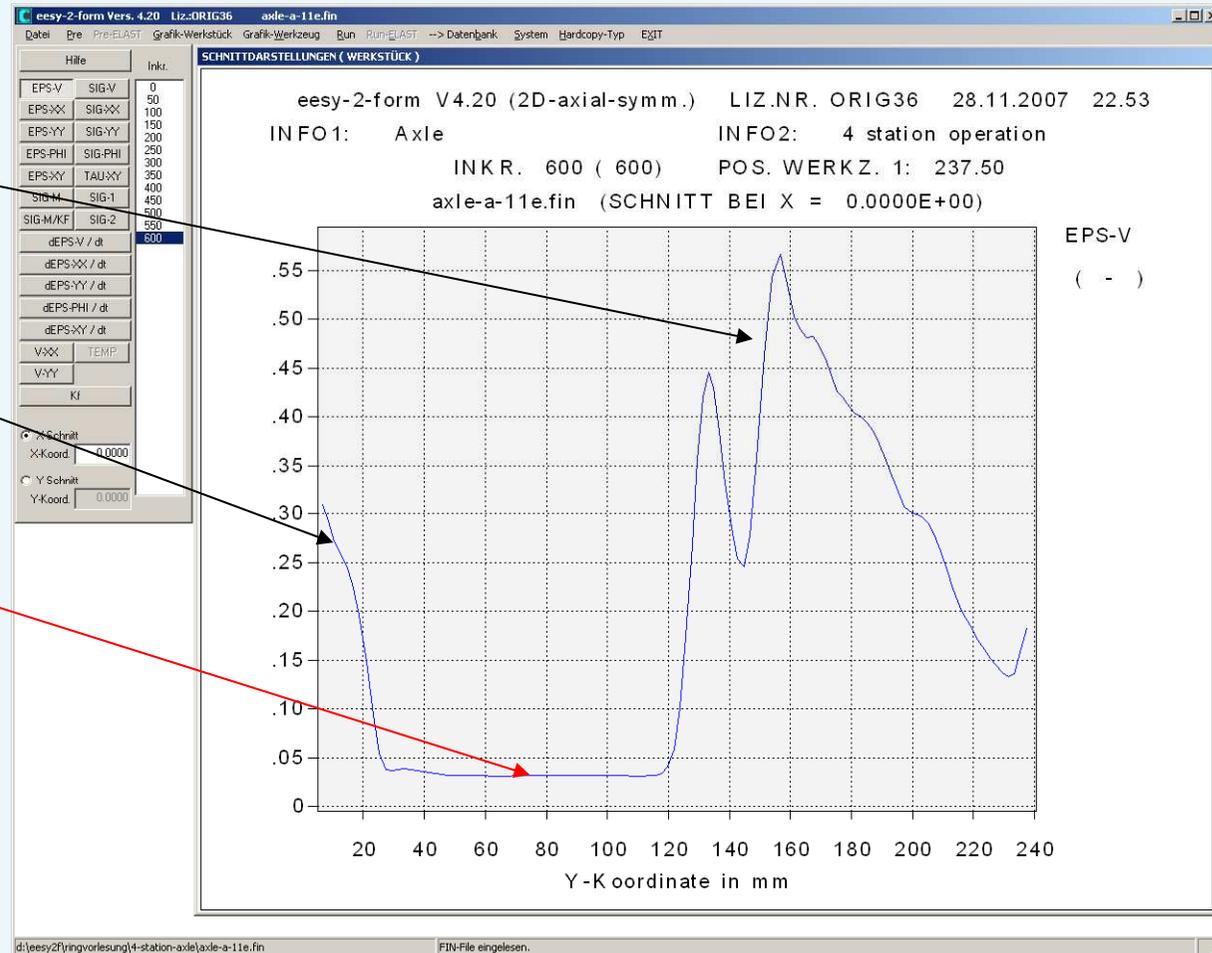
## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel II: Achse mit unzureichender Festigkeit (Härte)

Verformung und damit Verfestigung durch Rückwärtsreduzieren in den Stempel und durch Einformung der Zentrierung.

**Keine** nennenswerte Verformung im unteren Schaftbereich.

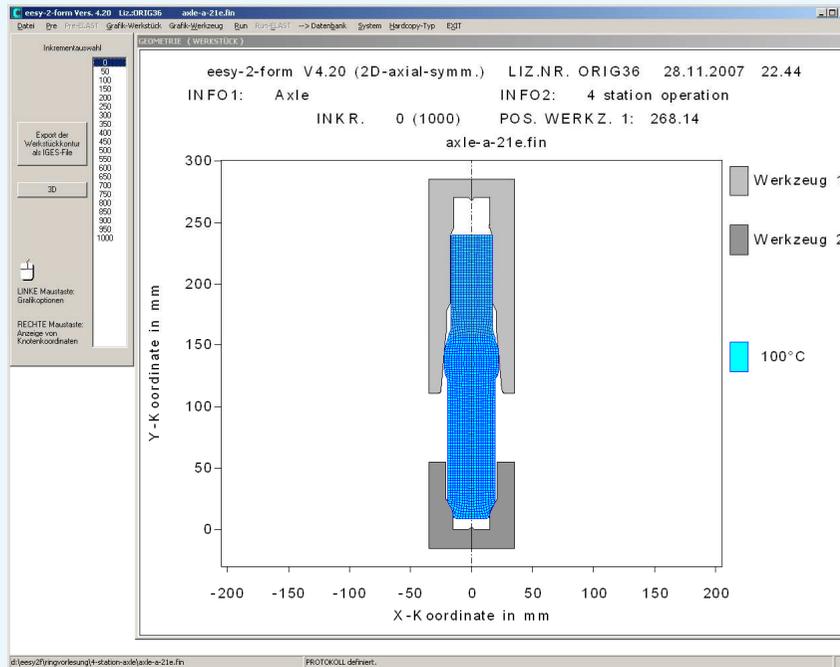
Umformgradverteilung auf der Mittelachse nach 1. Umformstufe



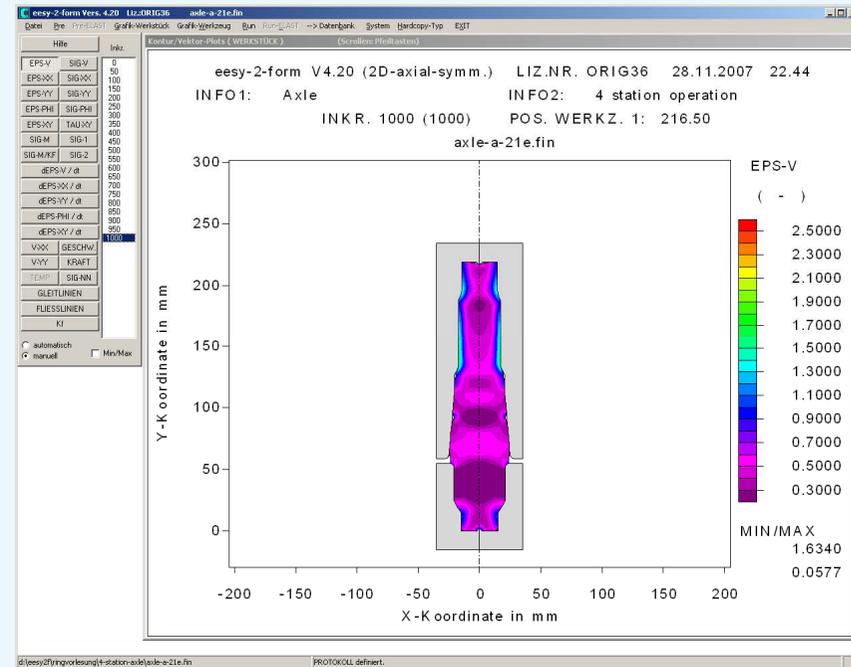
# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel II: Achse mit unzureichender Festigkeit (Härte)



Ausgangsgeometrie 2. Umformstufe



Umformgradverteilung nach 2. Umformstufe

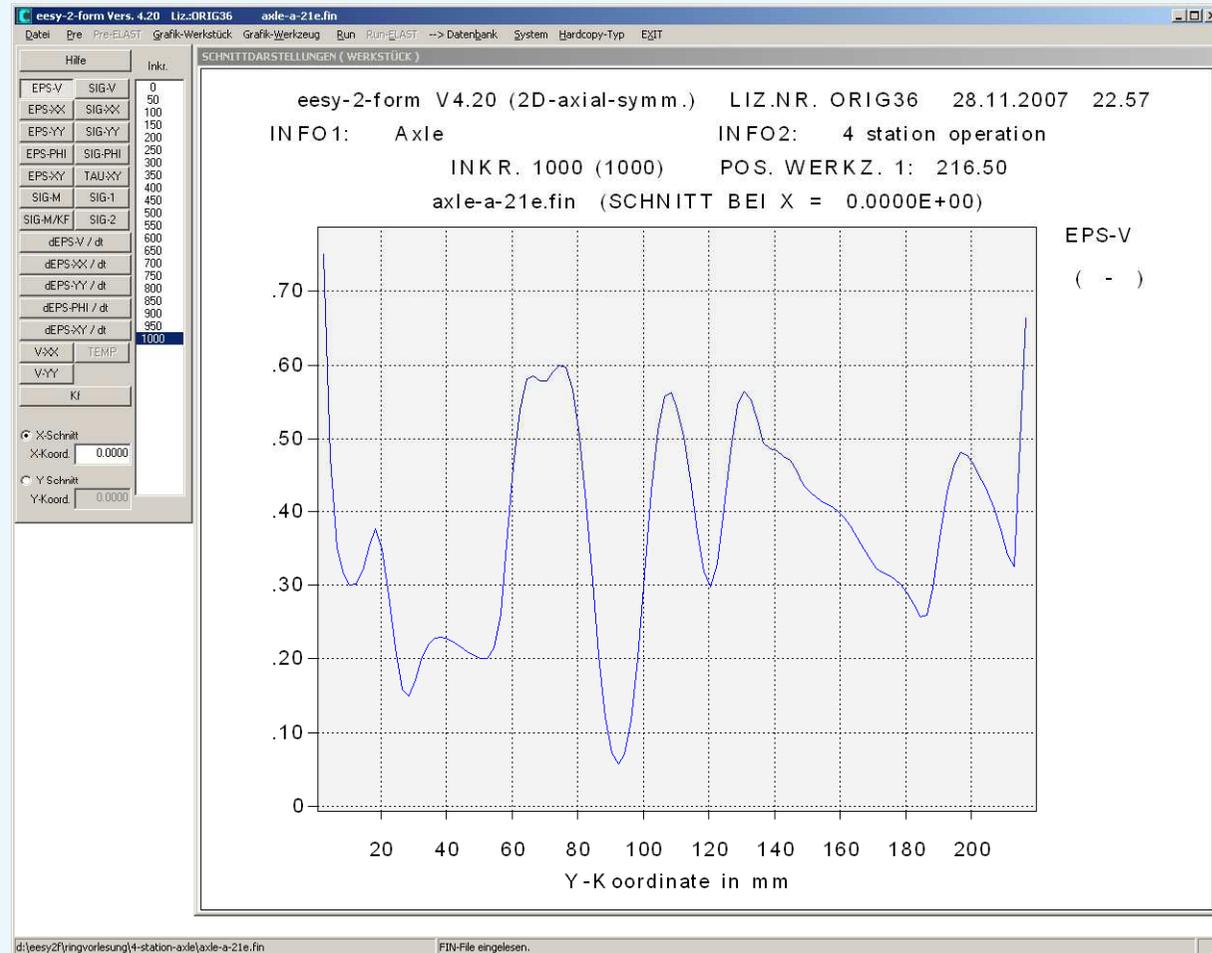
# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel II: Achse mit unzureichender Festigkeit (Härte)

Generelle leichte Anhebung des Verformungsniveaus durch weiteres Reduzieren in den Stempel und leichtes Aufstauchen im unteren Bereich.

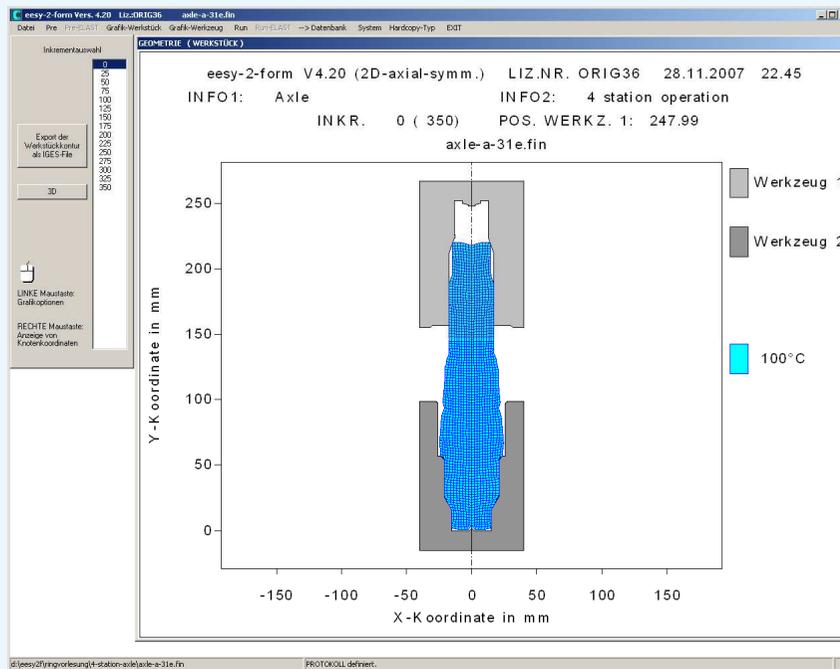
Umformgradverteilung auf der Mittelachse nach 2. Umformstufe



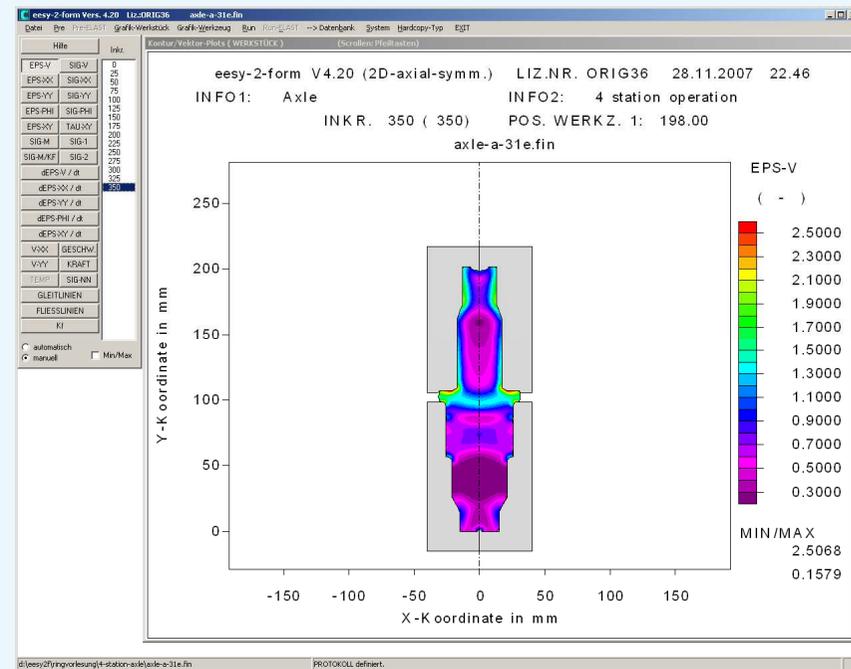
# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel II: Achse mit unzureichender Festigkeit (Härte)



Ausgangsgeometrie 3. Umformstufe



Umformgradverteilung nach 3. Umformstufe

# Umformsimulation in der Massivumformung

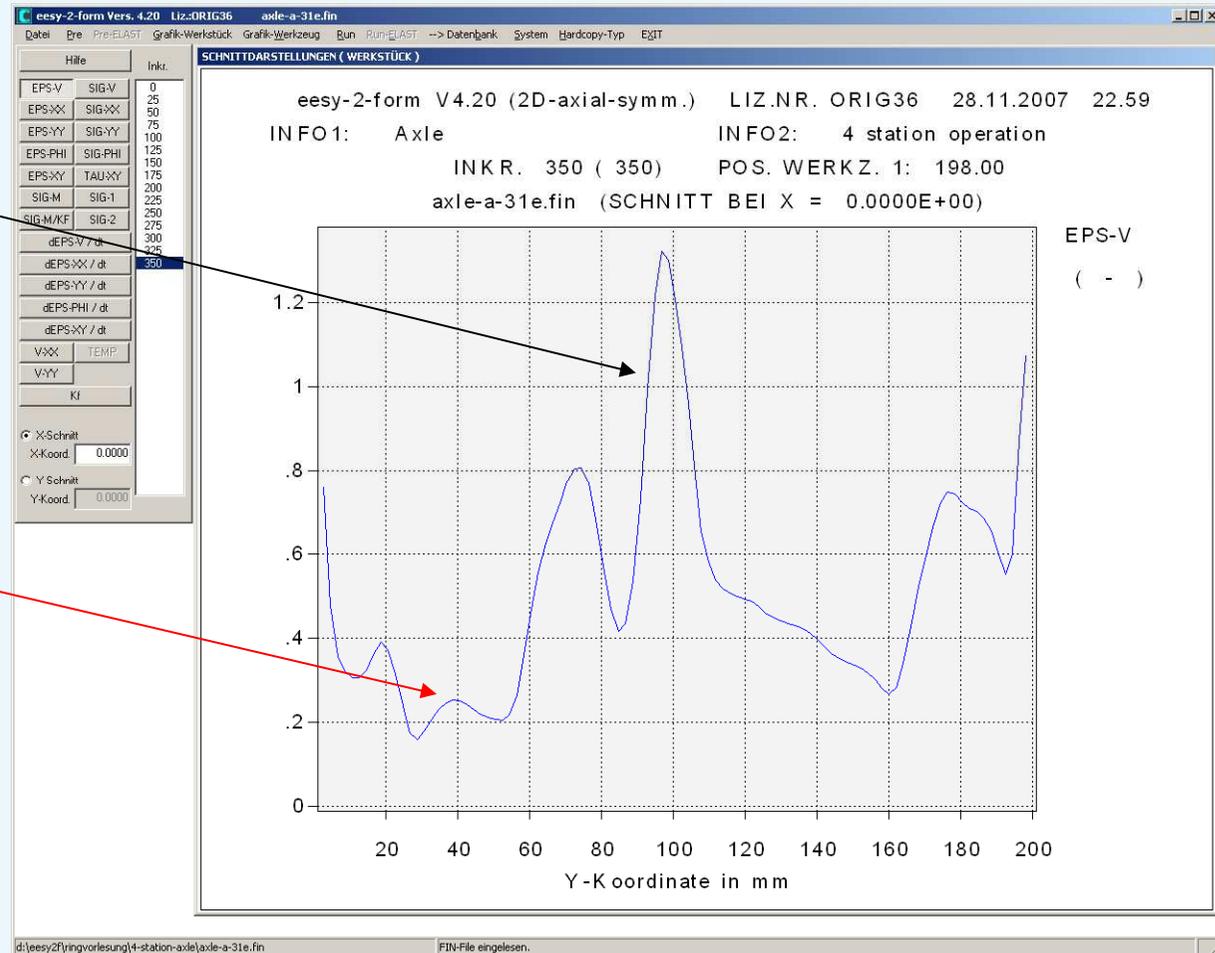
## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel II: Achse mit unzureichender Festigkeit (Härte)

Erneutes Reduzieren in den Stempel und deutliches Aufstauchen des Mittelteils.

Keine weitere Verformung im unteren Schaftbereich.

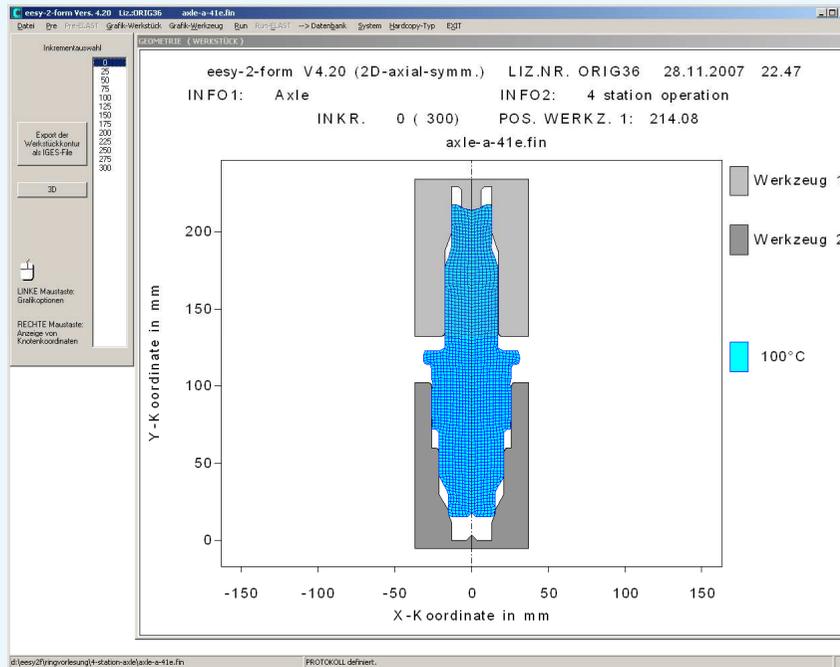
Umformgradverteilung auf der Mittelachse nach 3. Umformstufe



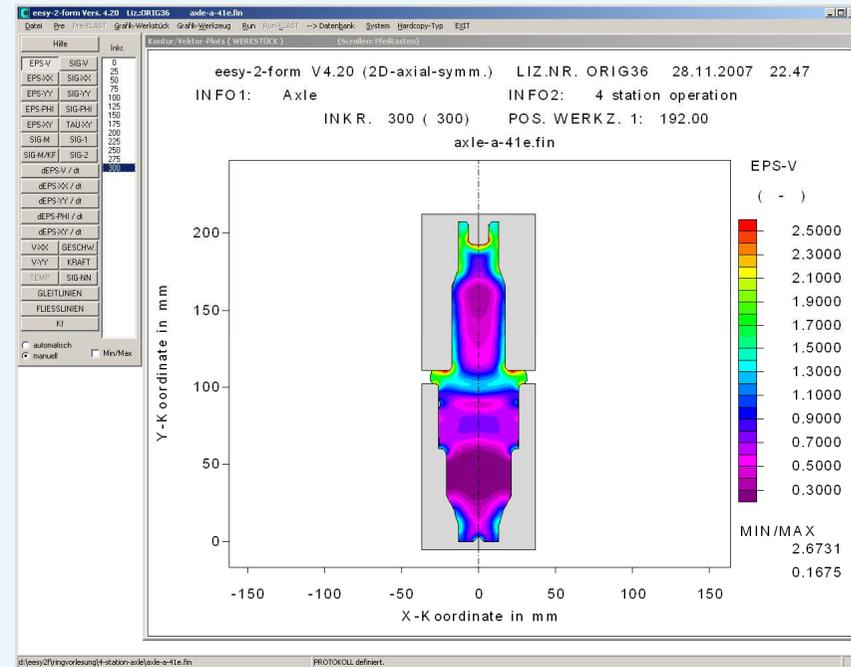
# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel II: Achse mit unzureichender Festigkeit (Härte)



Ausgangsgeometrie 4. Umformstufe



Umformgradverteilung nach 4. Umformstufe

# Umformsimulation in der Massivumformung

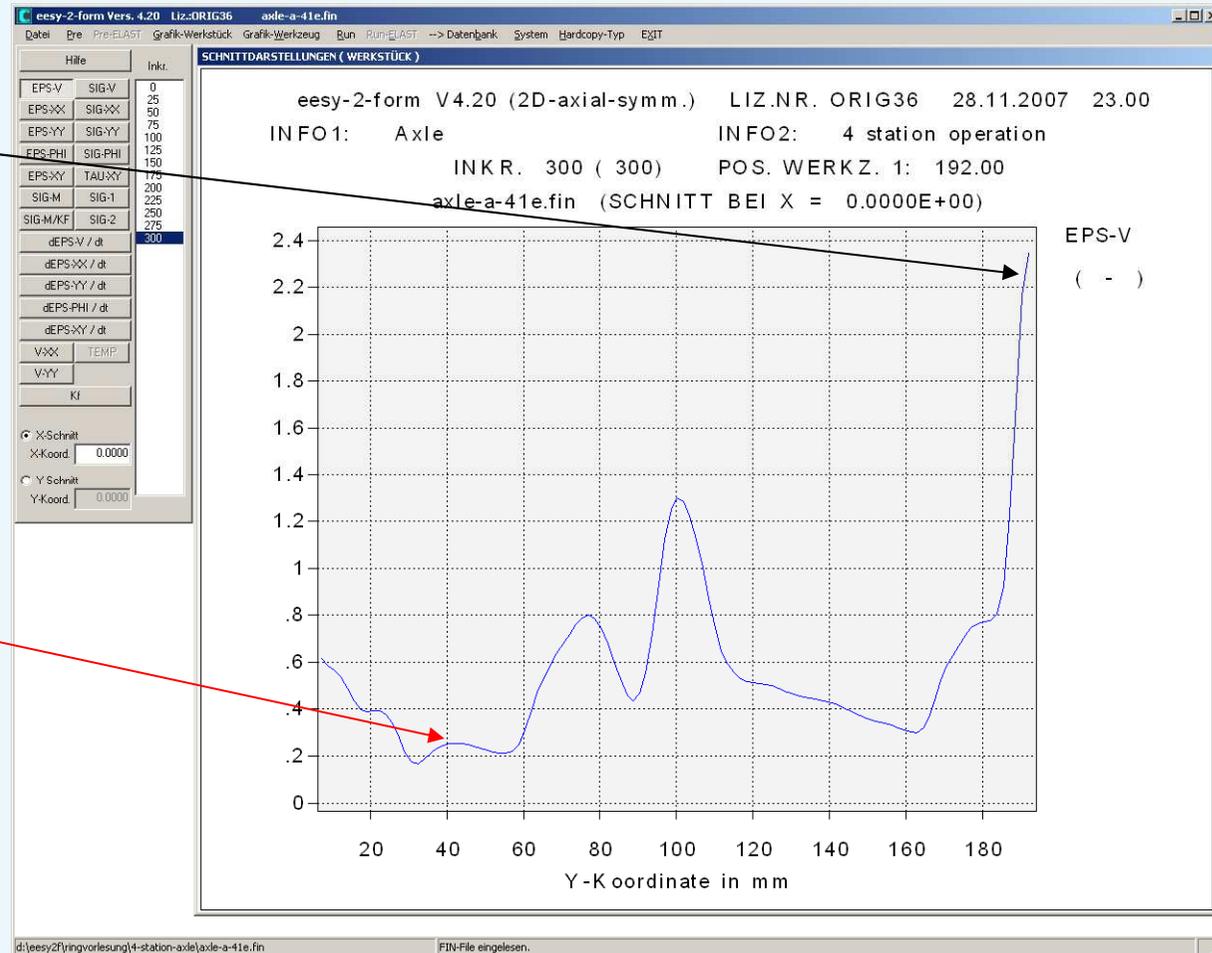
## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel II: Achse mit unzureichender Festigkeit (Härte)

Hohe Verformung durch Einformen der stempelseitigen Bohrung.

Verformung im unteren Schaftbereich wie schon in der 2. Umformstufe eingebracht.

Umformgradverteilung auf der Mittelachse nach 4. Umformstufe



*Umformsimulation in der Massivumformung*  
*Anspruch, Anwendung, Potential*

Beispiel II: Achse mit unzureichender Festigkeit (Härte)

**Fazit:**

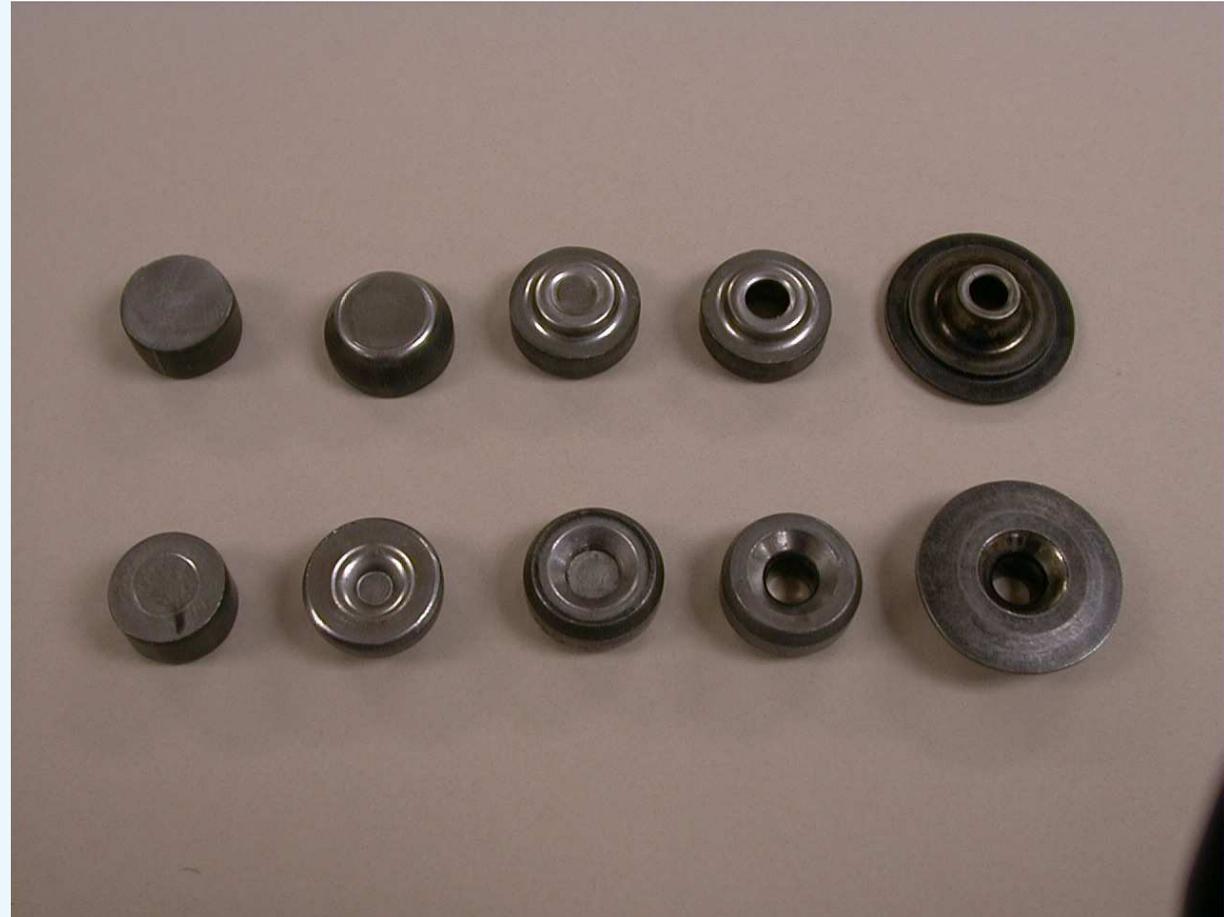
Die Umformsimulation zeigt deutlich, dass es bedingt durch die vorliegende Auslegung nur zu einer recht geringen Verformung im unteren Bereich der Achse kommt.

Die festgestellte unzureichende Festigkeit (Härte) ist damit recht eindeutig nicht dem Ausgangsdraht zuzuweisen.

Eine Veränderung der Auslegung oder der Einsatz eines generell höherfesten Ausgangsmaterials ist notwendig.

*Umformsimulation in der Massivumformung  
Anspruch, Anwendung, Potential*

Beispiel III: Werkzeugversagen durch dynamische Zugbeanspruchung



Stadiengang (Ansichten von unten und von oben)

*Umformsimulation in der Massivumformung  
Anspruch, Anwendung, Potential*

Beispiel III: Werkzeugversagen durch dynamische Zugbeanspruchung

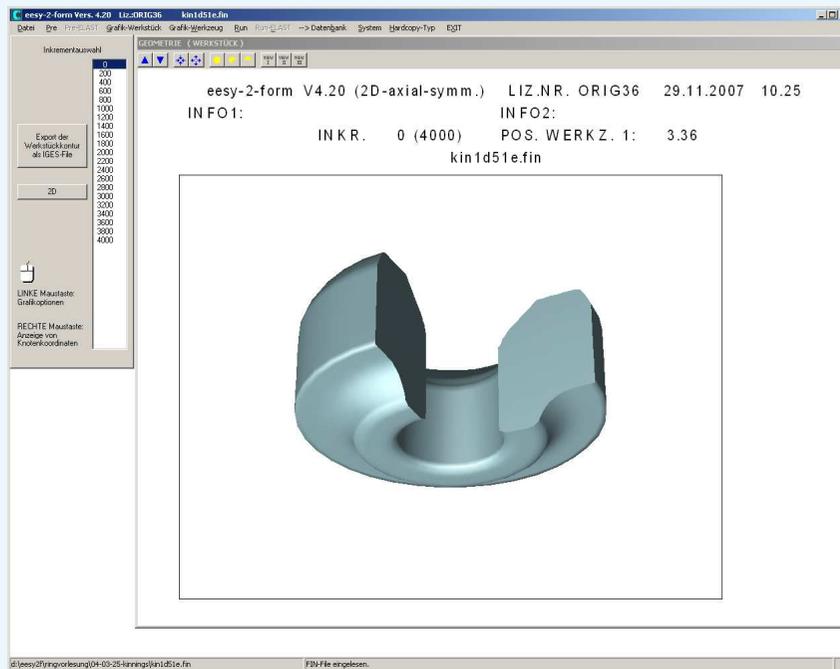


Formstempel der 5. Stufe:  
vorzeitiger Bruch am unteren Ende

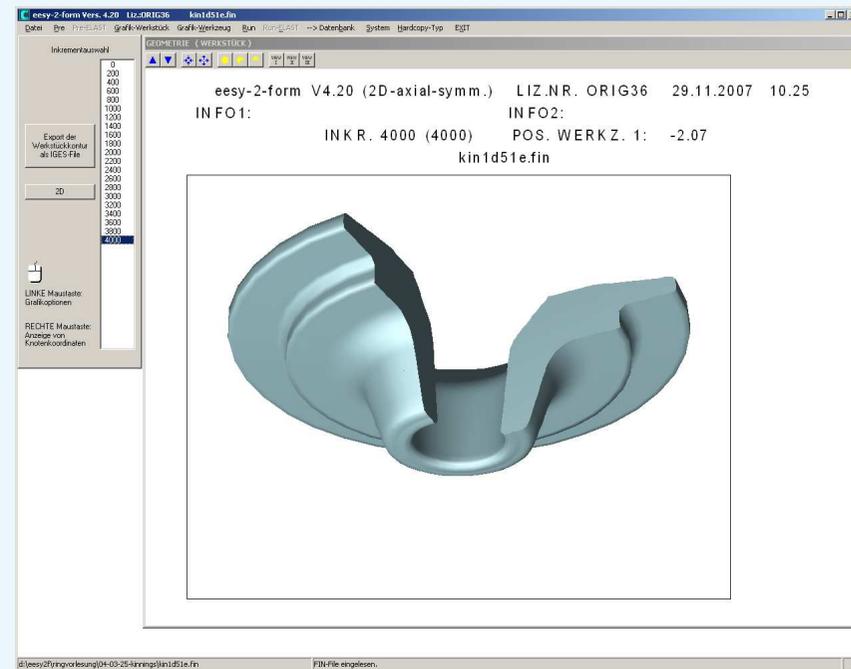
# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel III: Werkzeugversagen durch dynamische Zugbeanspruchung



Ausgangsgeometrie 5. Umformstufe

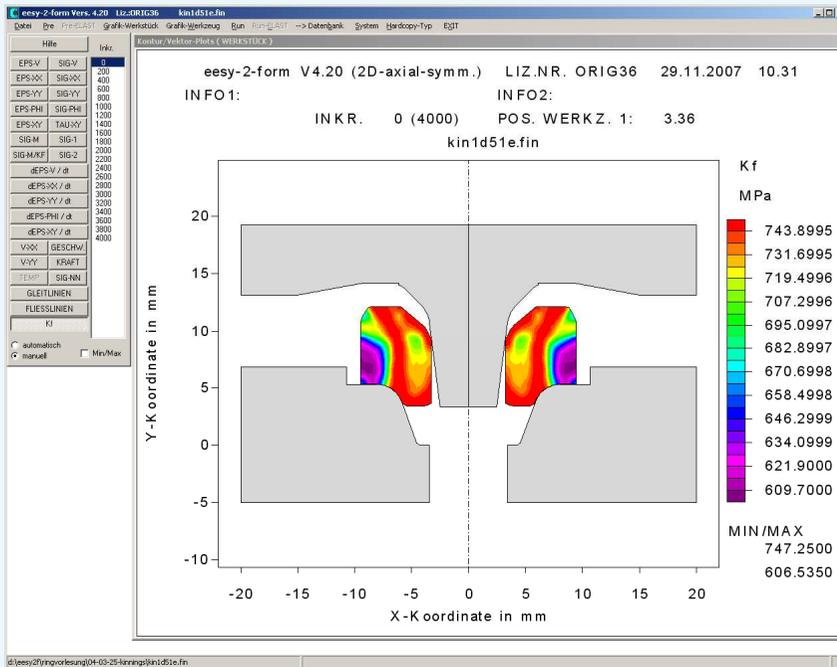


Endgeometrie 5. Umformstufe

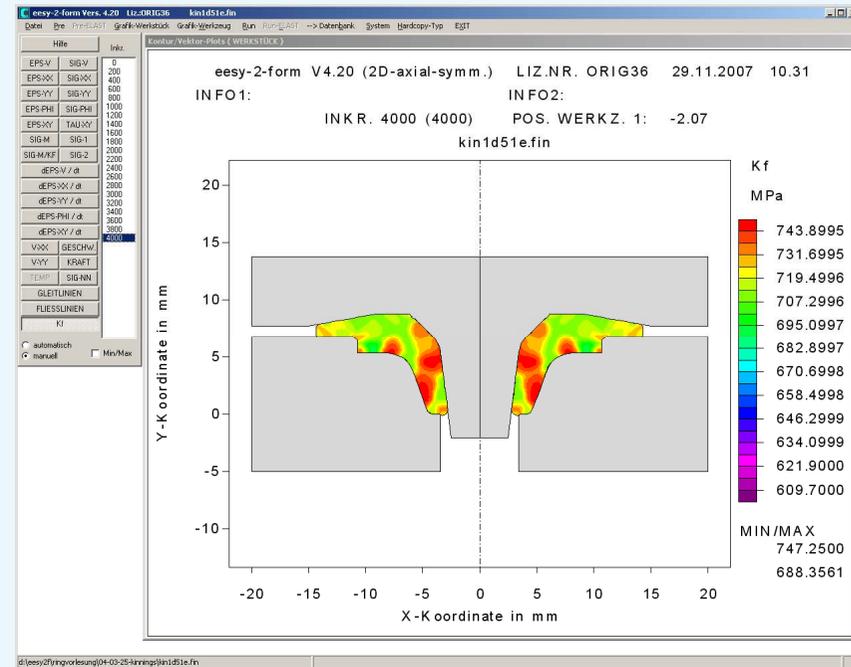
# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel III: Werkzeugversagen durch dynamische Zugbeanspruchung



Festigkeitsverteilung vor der 5. Umformstufe

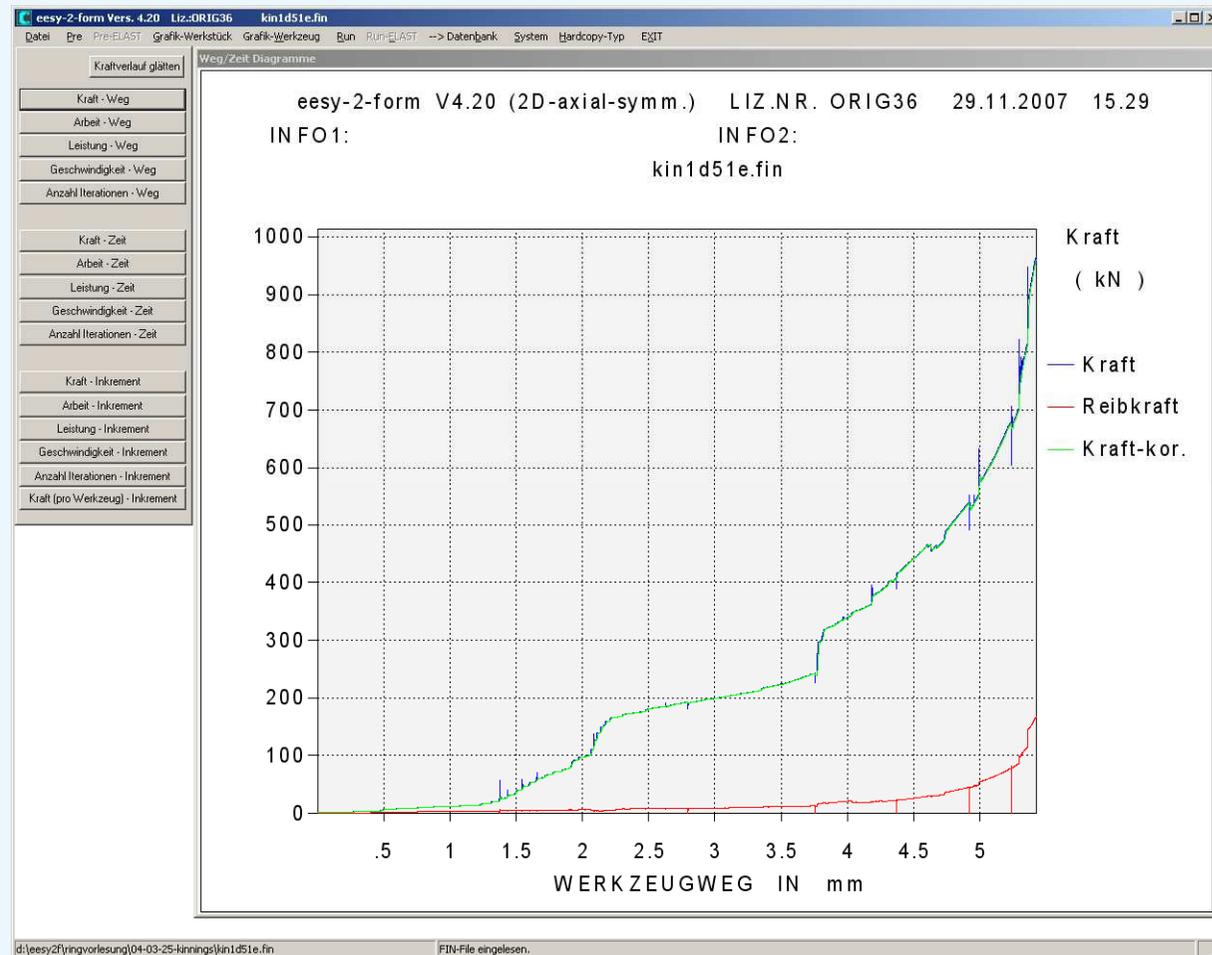


Festigkeitsverteilung nach der 5. Umformstufe

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel III: Werkzeugversagen durch dynamische Zugbeanspruchung



Verlauf der erforderlichen Umformkraft und darin enthaltene Reibkraft

(c) Dr. Michael Twickler - Ringvorlesung Umformtechnik - Wintersemester 2007/2008 - IUL-Universität Dortmund

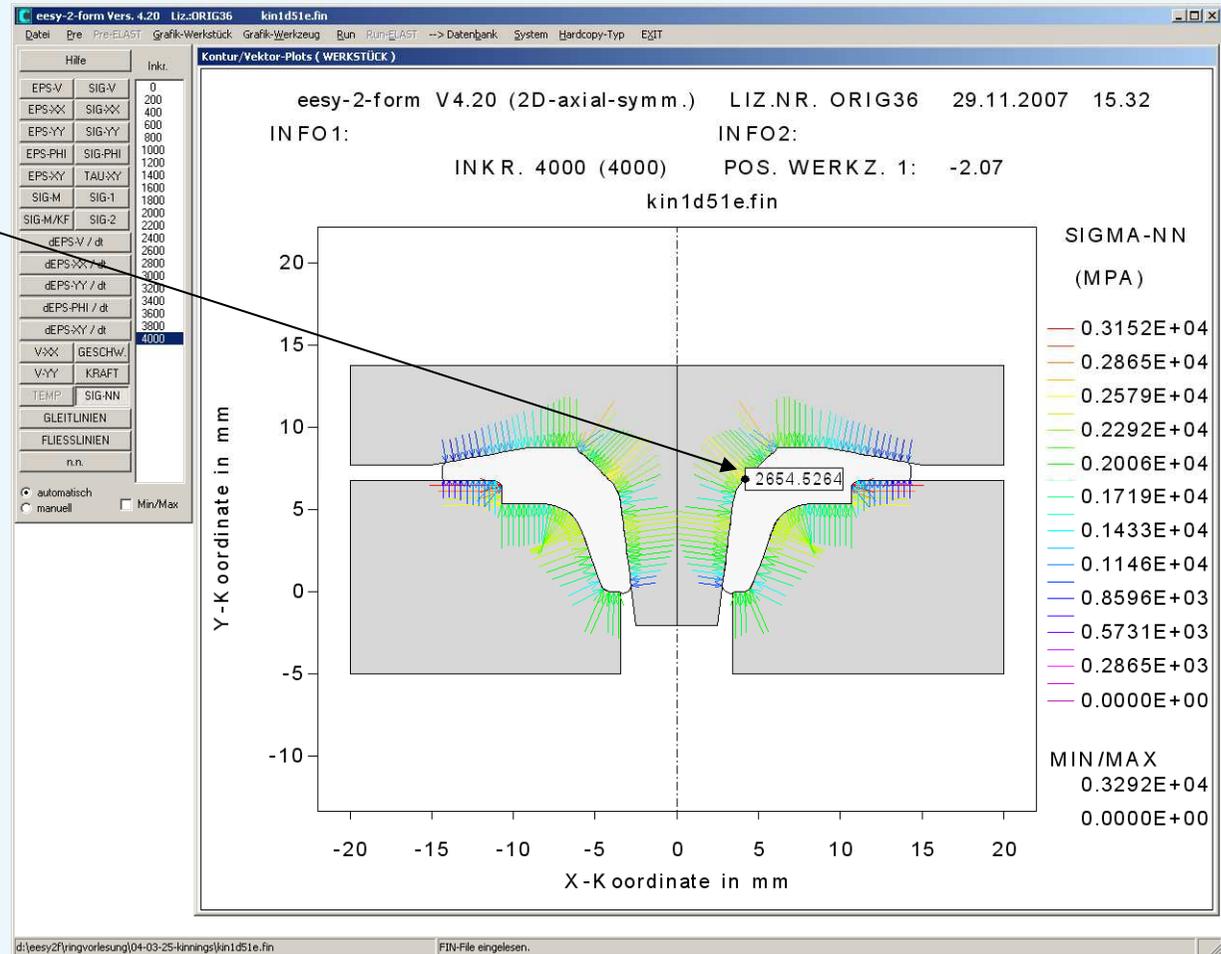
# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel III: Werkzeugversagen durch dynamische Zugbeanspruchung

~ 2650 MPa

Werkzeuginnendruck  
(Kontaktnormalspannung)

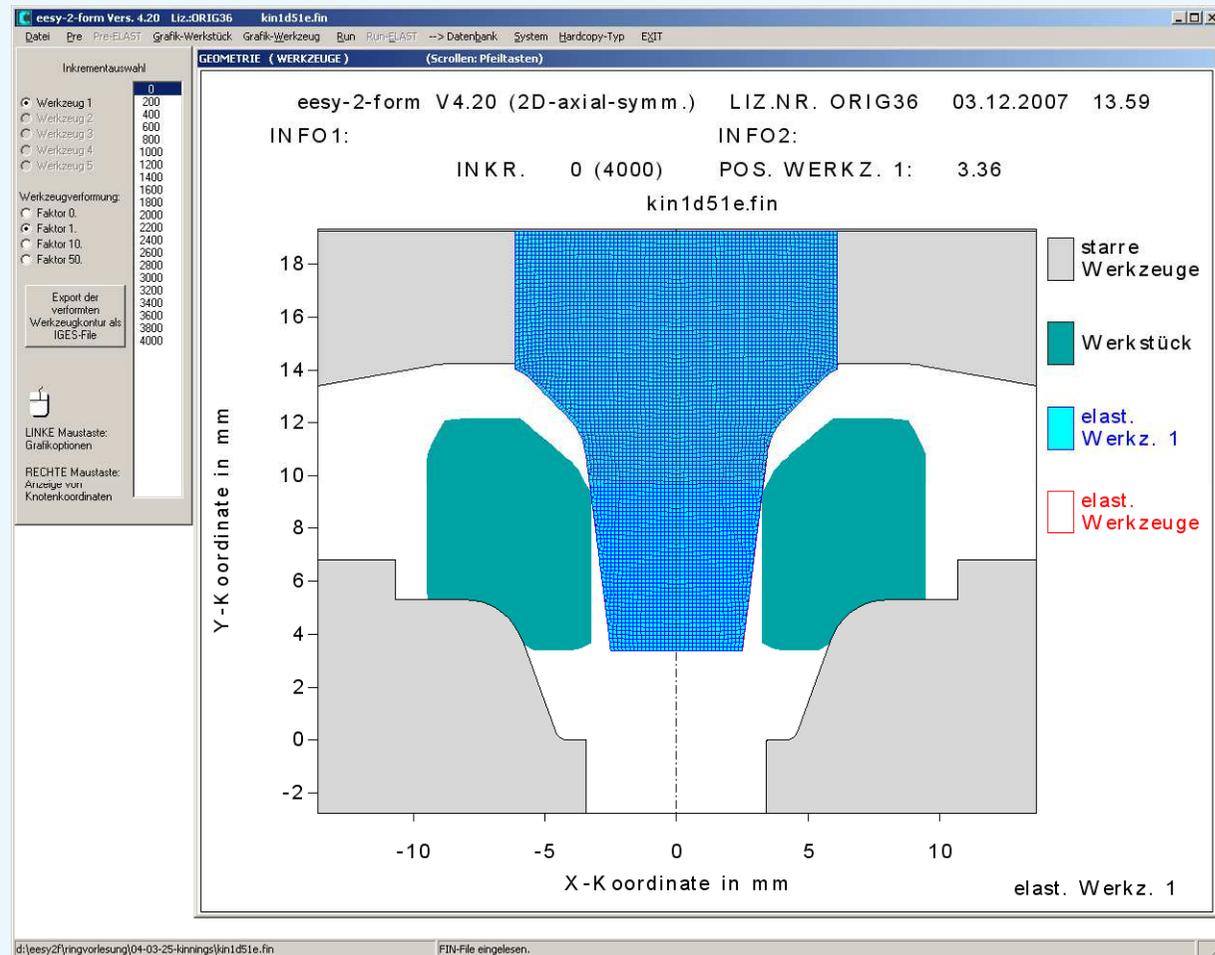


# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel III: Werkzeugversagen durch dynamische Zugbeanspruchung

hier: elastische Analyse des Stempels; Belastung aus der Umformsimulation



Modell für den Umformstempel

# Umformsimulation in der Massivumformung

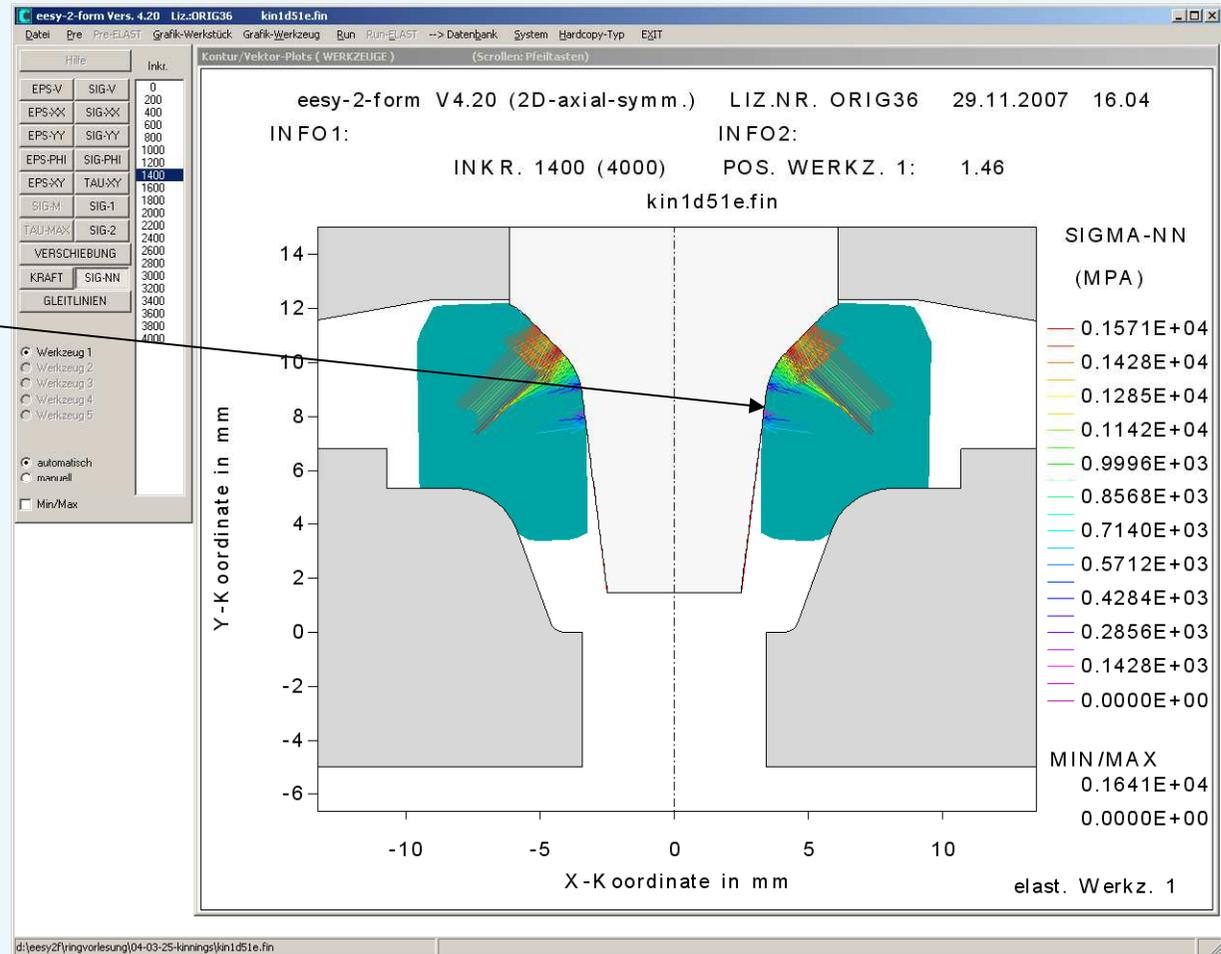
## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel III: Werkzeugversagen durch dynamische Zugbeanspruchung

hier: elastische Analyse des Stempels; Belastung aus der Umformsimulation

Lastlücke

Belastung des Stempels während der Umformung



# Umformsimulation in der Massivumformung

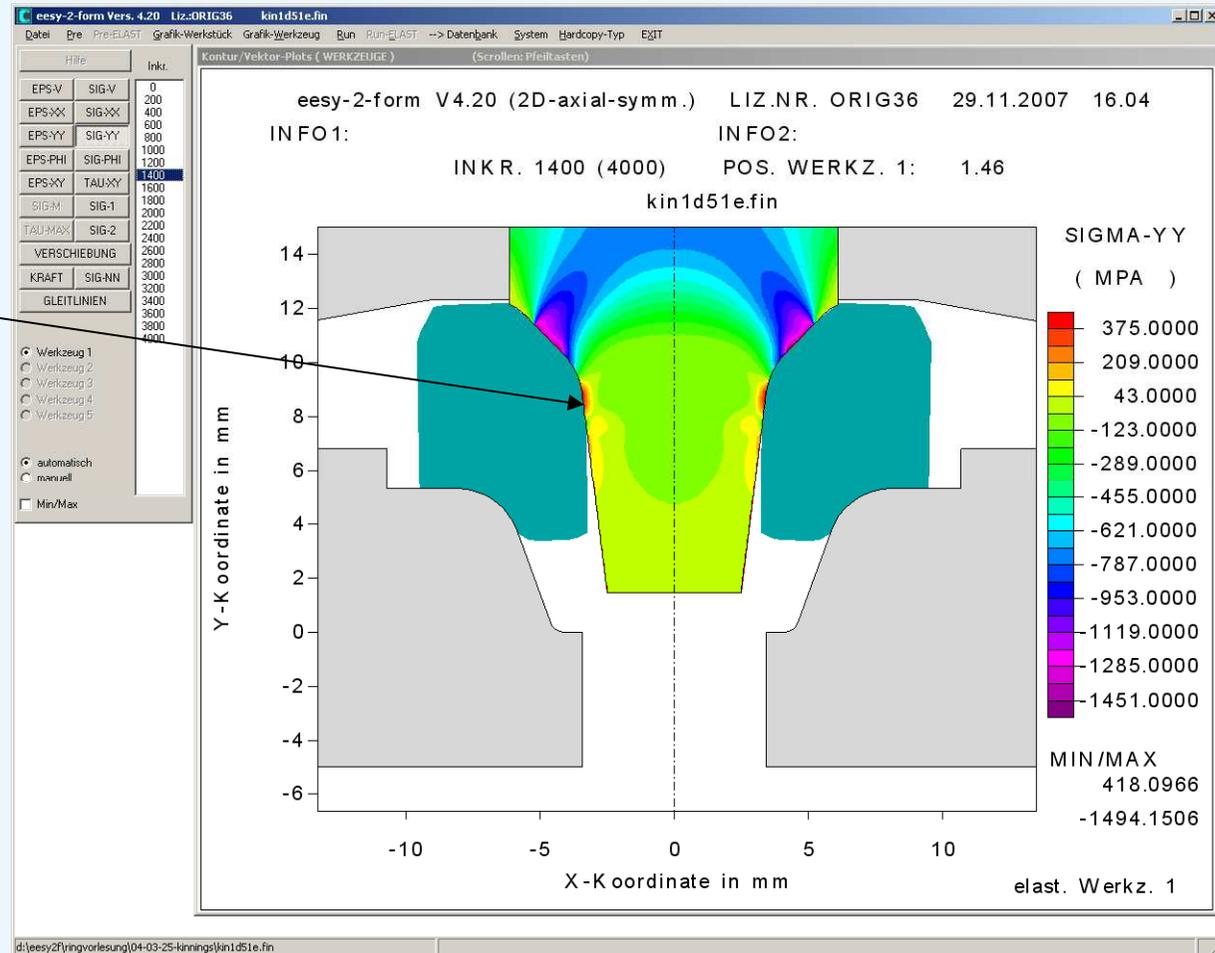
## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel III: Werkzeugversagen durch dynamische Zugbeanspruchung

hier: elastische Analyse des Stempels; Belastung aus der Umformsimulation

axiale Zugspannung

resultierende **Axialspannung** im Stempel



# Umformsimulation in der Massivumformung

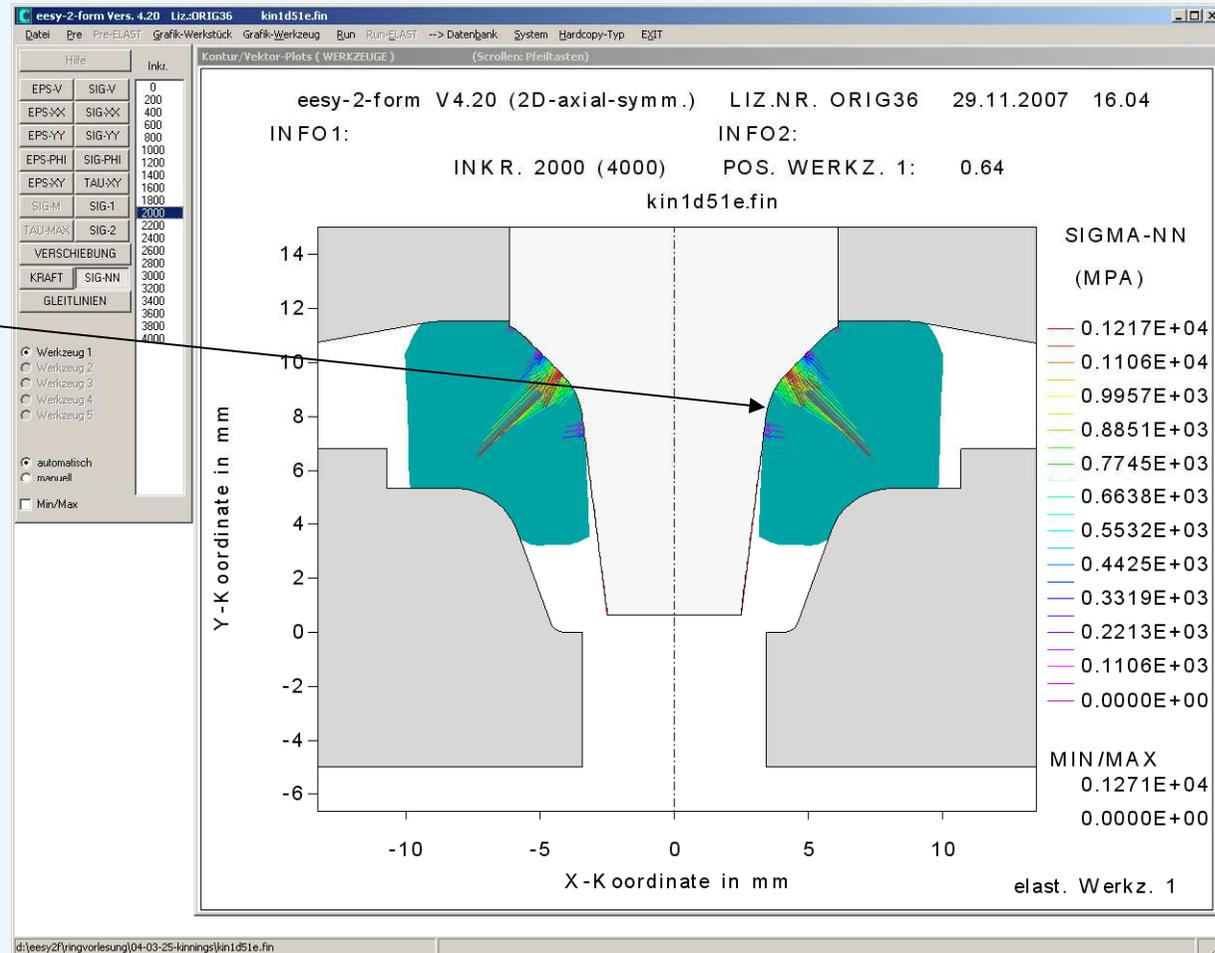
## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel III: Werkzeugversagen durch dynamische Zugbeanspruchung

hier: elastische Analyse  
des Stempels; Belastung aus  
der Umformsimulation

Lastlücke

Belastung des Stempels während  
der Umformung



# Umformsimulation in der Massivumformung

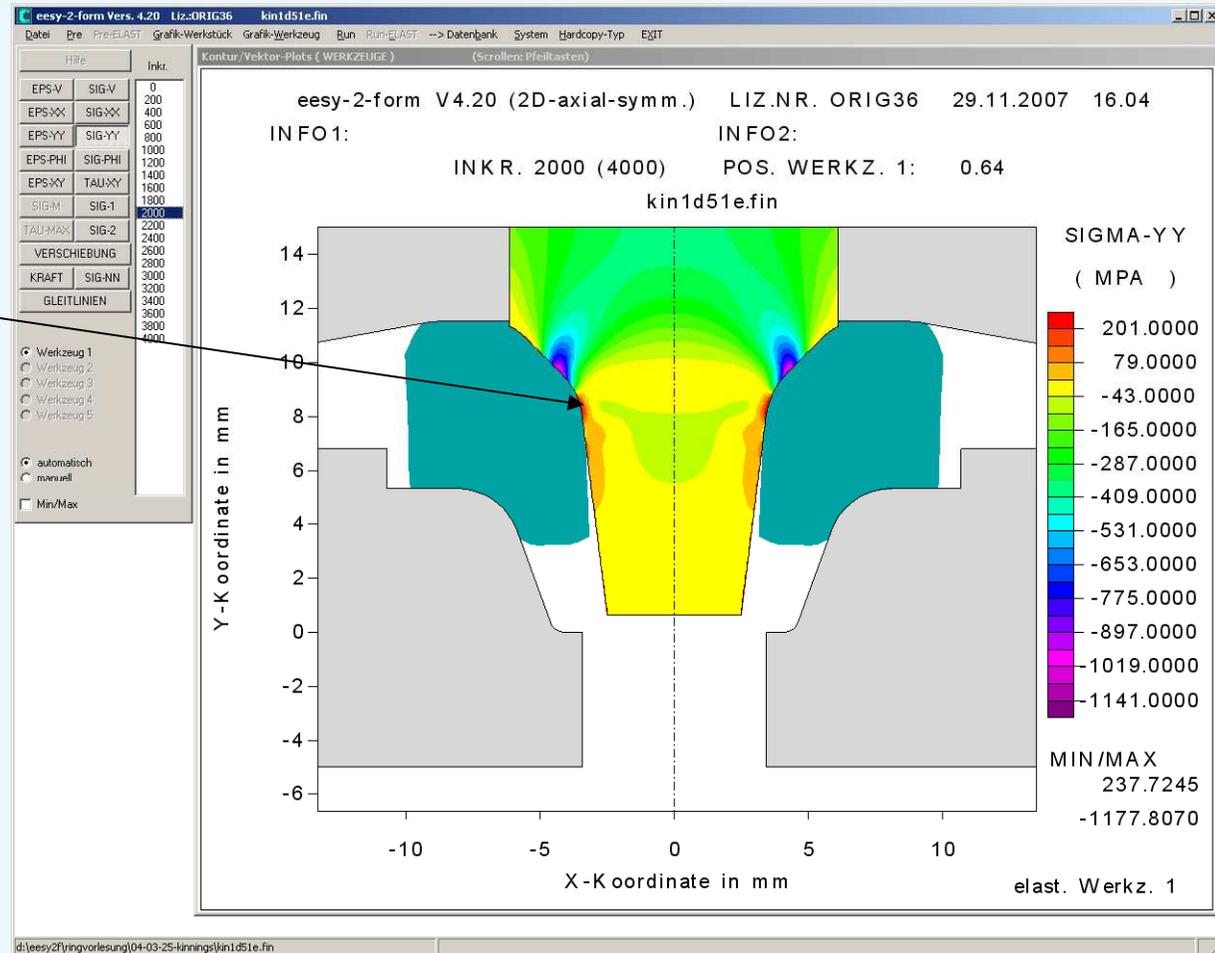
## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel III: Werkzeugversagen durch dynamische Zugbeanspruchung

hier: elastische Analyse  
des Stempels; Belastung aus  
der Umformsimulation

axiale Zugspannung

resultierende **Axialspannung** im  
Stempel



# Umformsimulation in der Massivumformung

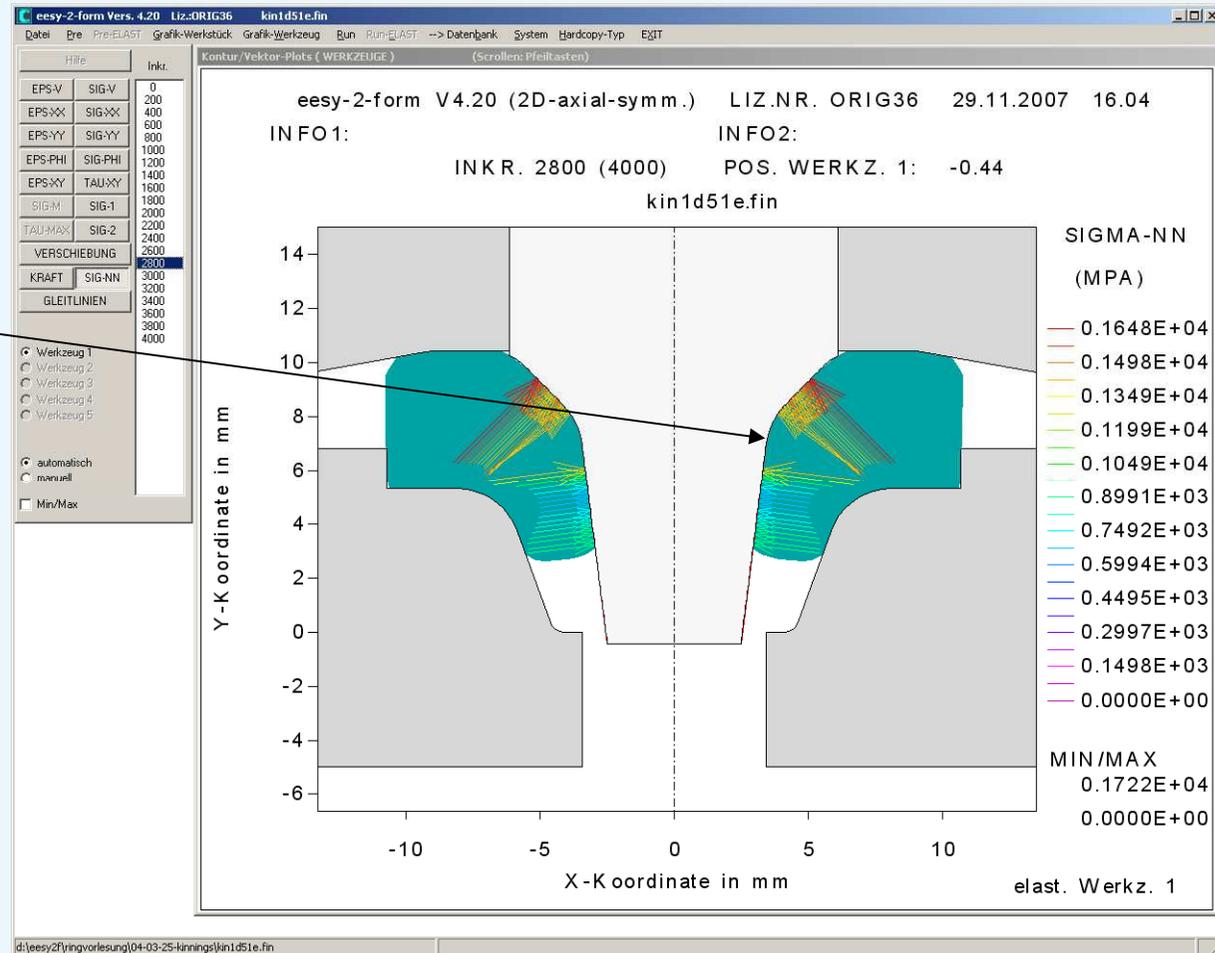
## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel III: Werkzeugversagen durch dynamische Zugbeanspruchung

hier: elastische Analyse  
des Stempels; Belastung aus  
der Umformsimulation

Lastlücke

Belastung des Stempels während  
der Umformung



# Umformsimulation in der Massivumformung

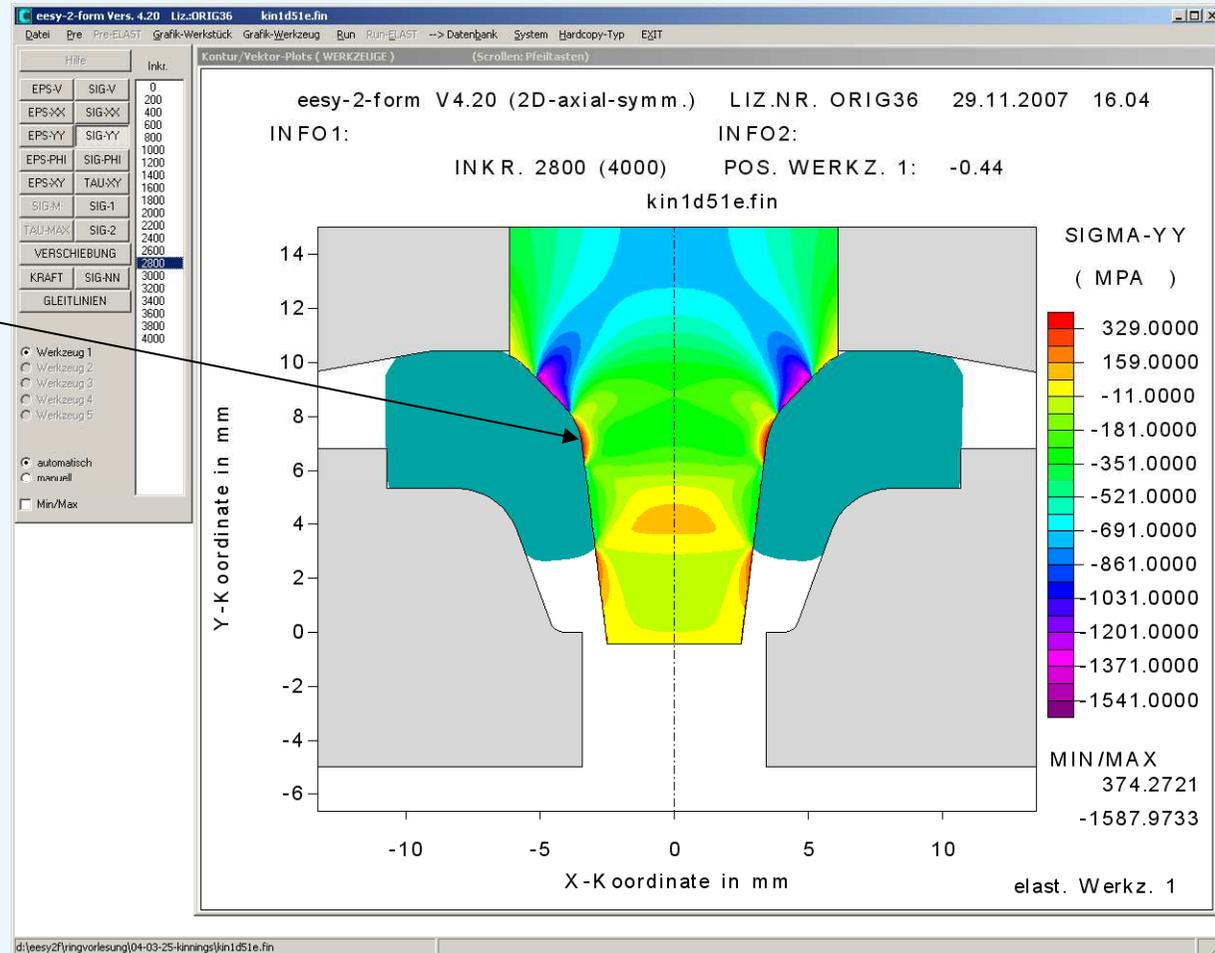
## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel III: Werkzeugversagen durch dynamische Zugbeanspruchung

hier: elastische Analyse des Stempels; Belastung aus der Umformsimulation

axiale Zugspannung

resultierende **Axialspannung** im Stempel



# Umformsimulation in der Massivumformung

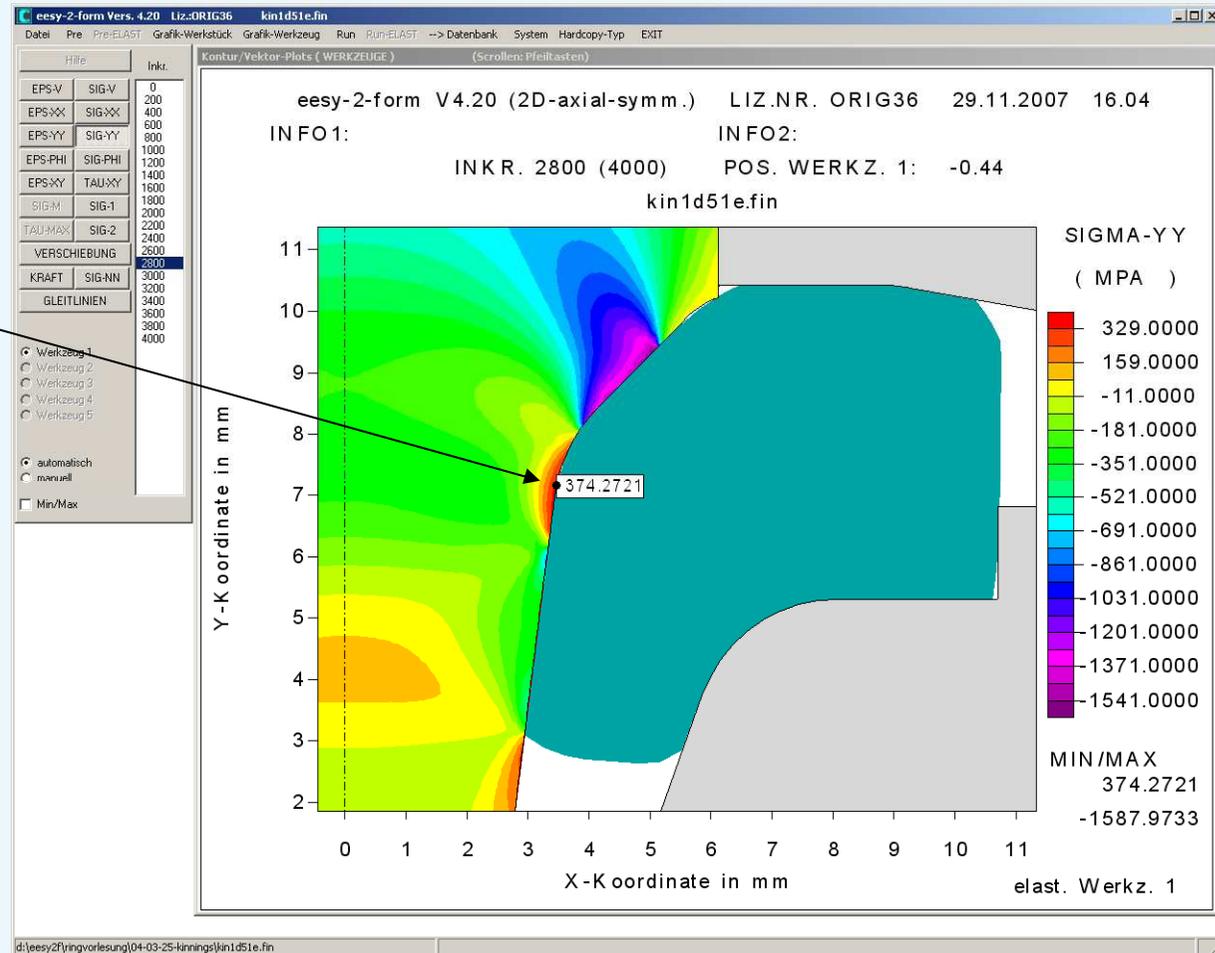
## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel III: Werkzeugversagen durch dynamische Zugbeanspruchung

hier: elastische Analyse  
des Stempels; Belastung aus  
der Umformsimulation

axiale Zugspannung

resultierende **Axialspannung** im  
Stempel



# Umformsimulation in der Massivumformung

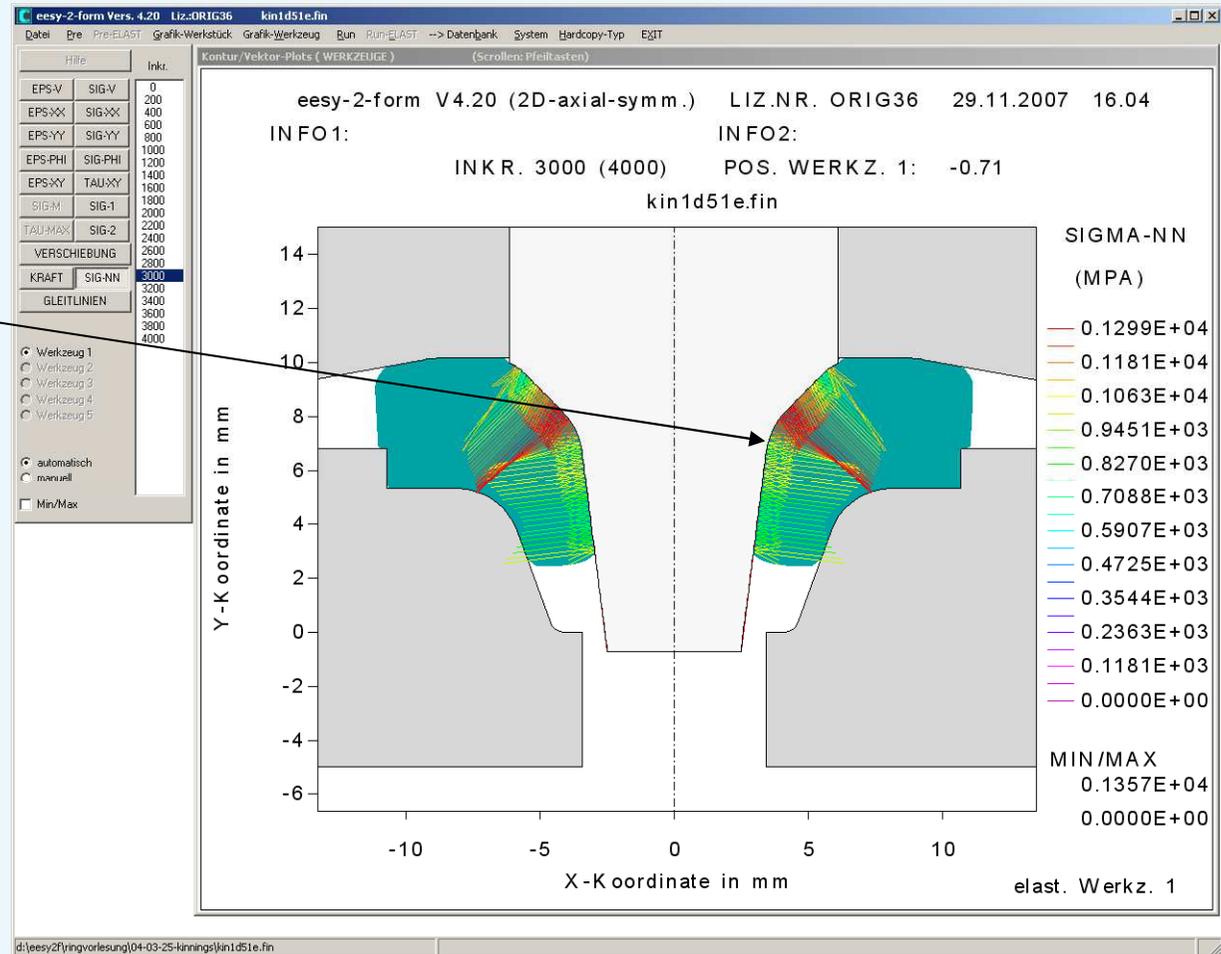
## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel III: Werkzeugversagen durch dynamische Zugbeanspruchung

hier: elastische Analyse  
des Stempels; Belastung aus  
der Umformsimulation

keine Lastlücke

Belastung des Stempels während  
der Umformung



# Umformsimulation in der Massivumformung

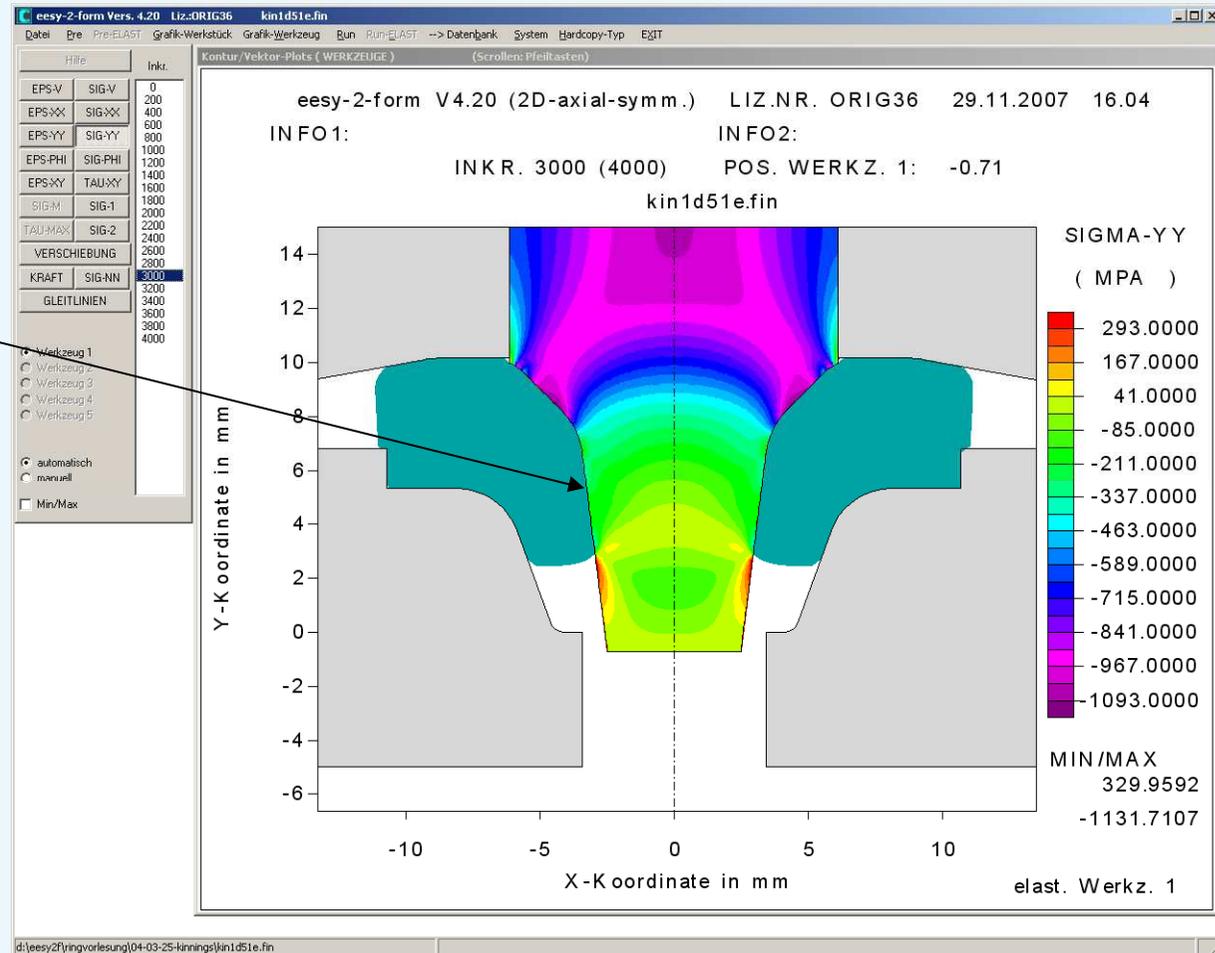
## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel III: Werkzeugversagen durch dynamische Zugbeanspruchung

hier: elastische Analyse des Stempels; Belastung aus der Umformsimulation

keine  
axiale Zugspannung

resultierende **Axialspannung** im Stempel



*Umformsimulation in der Massivumformung*  
*Anspruch, Anwendung, Potential*

Beispiel III: Werkzeugversagen durch dynamische Zugbeanspruchung

**Fazit:**

Die Umformsimulation / elastische Werkzeuganalyse zeigt deutlich eine Konzentration axialer Zugspannung an der Oberfläche des Stempels im Bereich des Versagens.

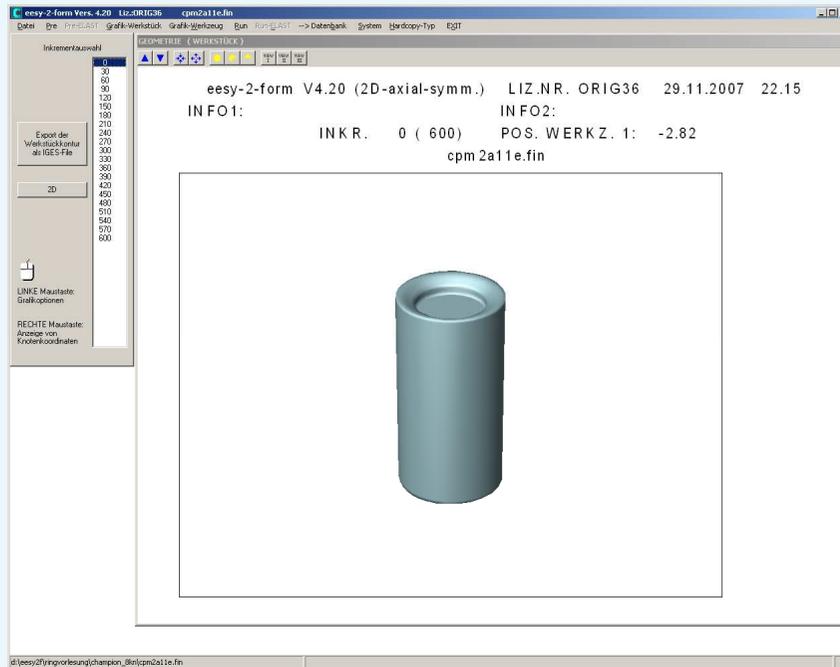
Das Auftreten der axialen Zugspannung kann recht eindeutig der Lastlücke in diesem Bereich zugeordnet werden.

Aus dem zugspannungsfreien Zustand gegen Ende der Umformung mit einer kontinuierlichen Lastverteilung am Stempel sollte sich eine generelle Verbesserung der Auslegung ableiten lassen.

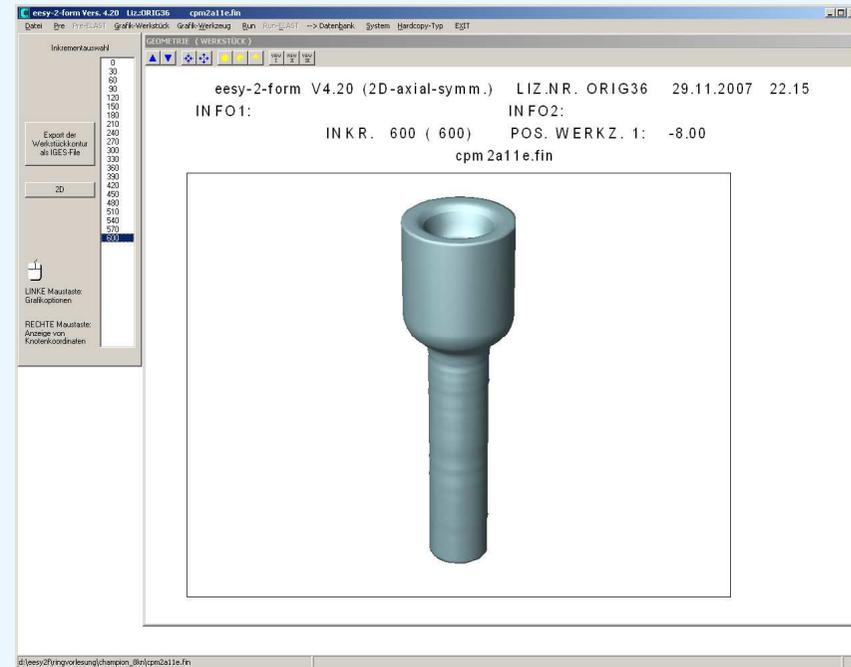
# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel IV: Abplatzung am Stempel durch ungünstige Form bzw. Belastung



Ausgangsgeometrie

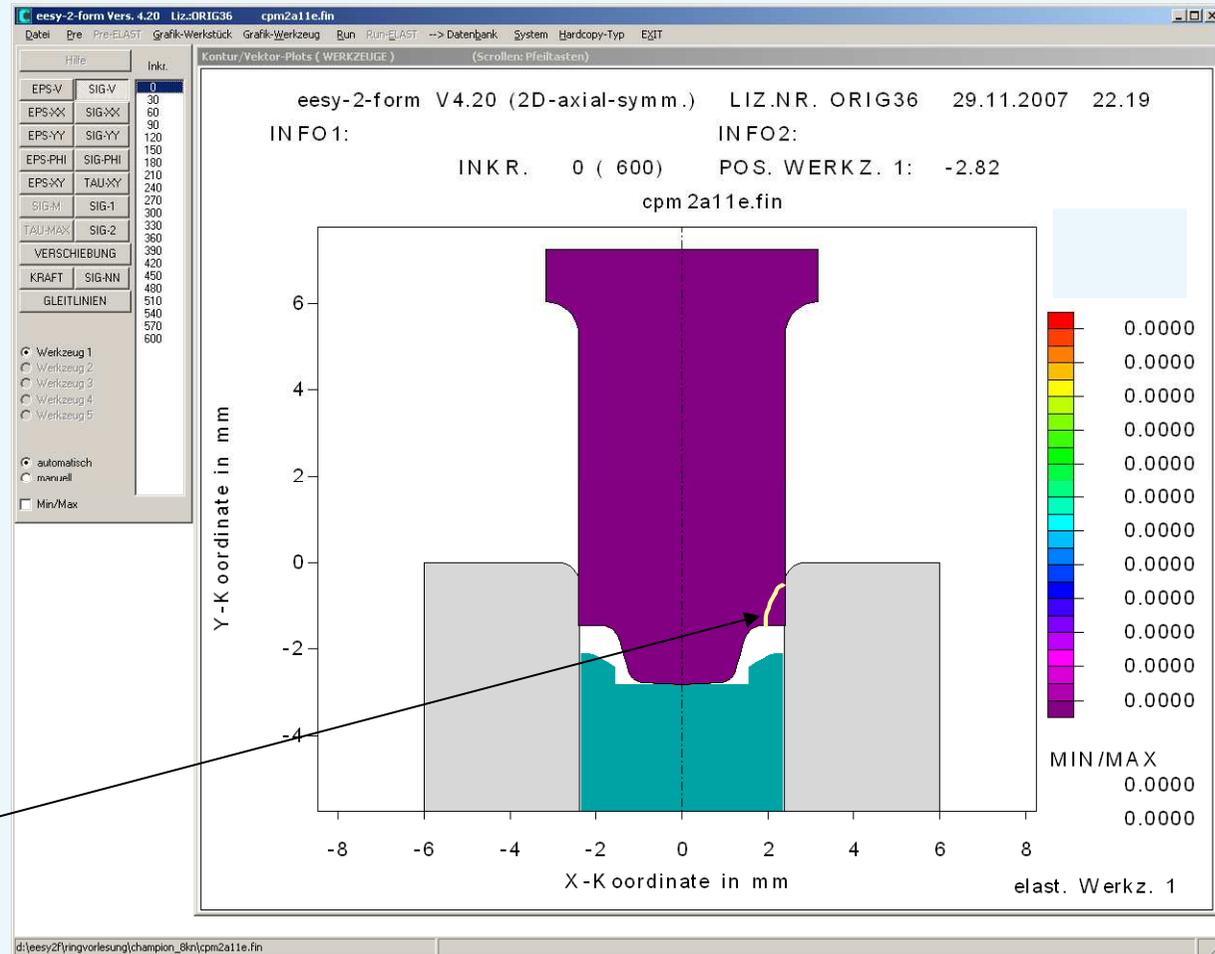


Endgeometrie

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel IV: Abplatzung am Stempel durch ungünstige Form bzw. Belastung

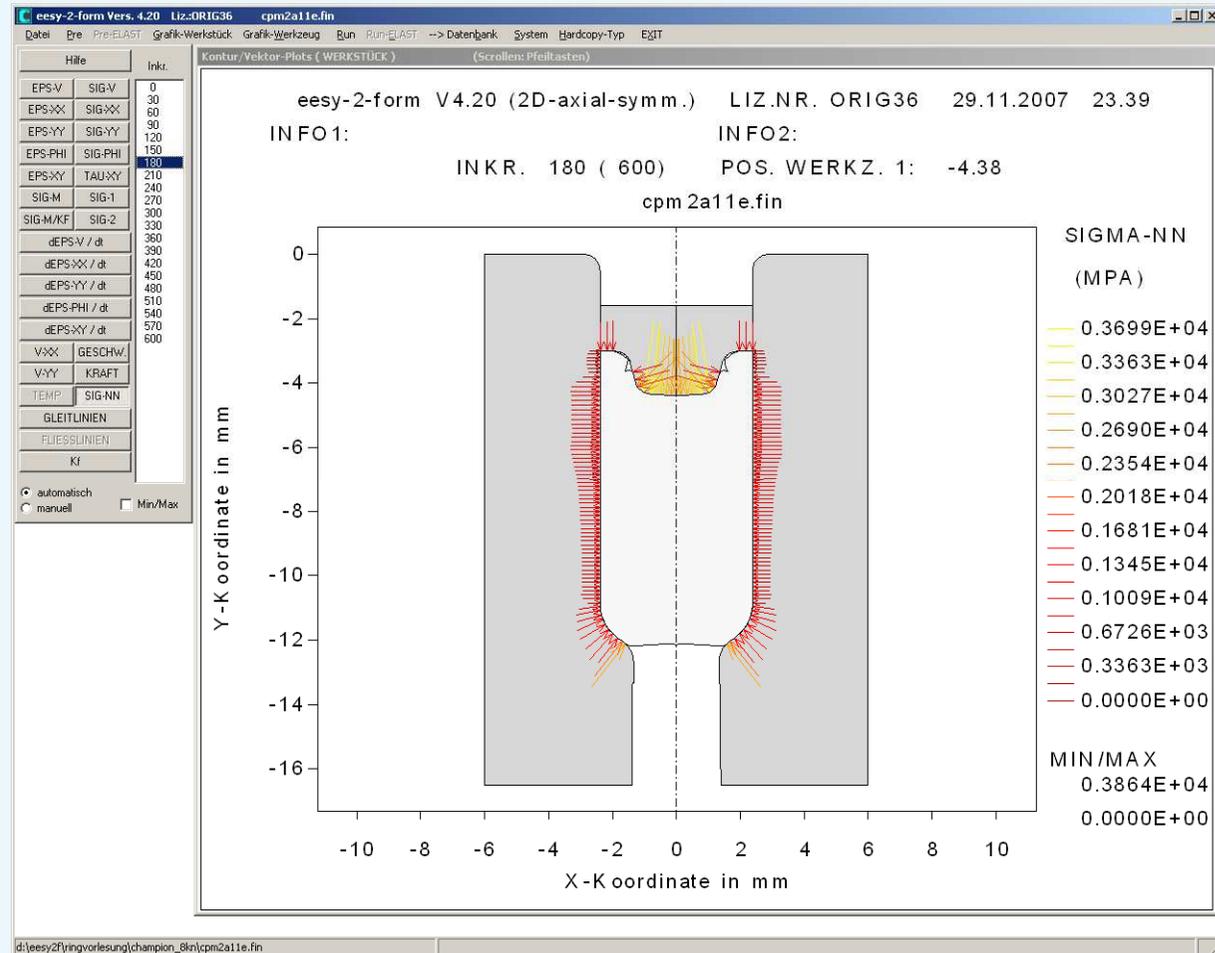


Umformstempel  
(mit Abplatzung, skizziert)

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel IV: Abplatzung am Stempel durch ungünstige Form bzw. Belastung

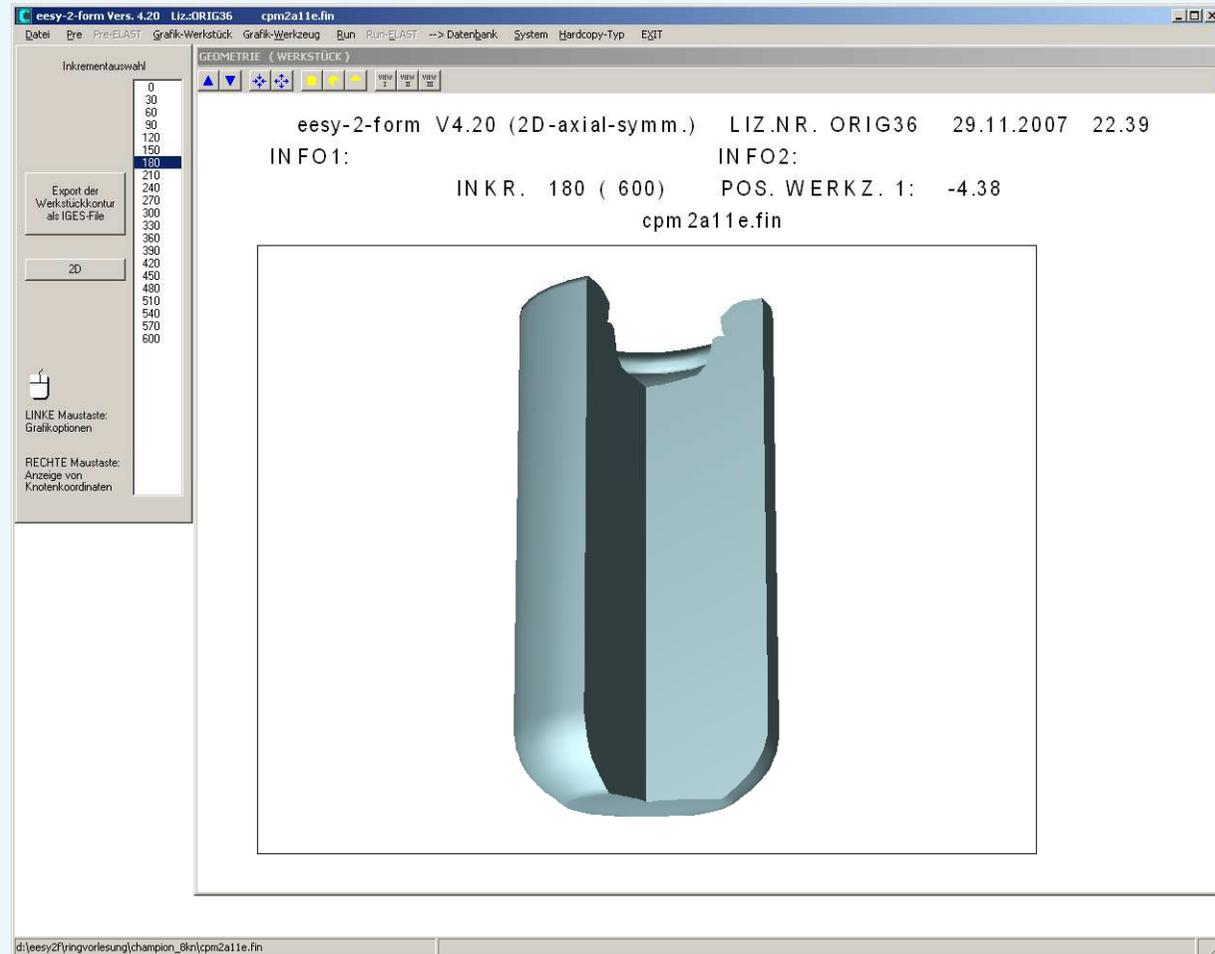


Werkzeuginnendruck  
(Kontaktnormalspannung)

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel IV: Abplatzung am Stempel durch ungünstige Form bzw. Belastung

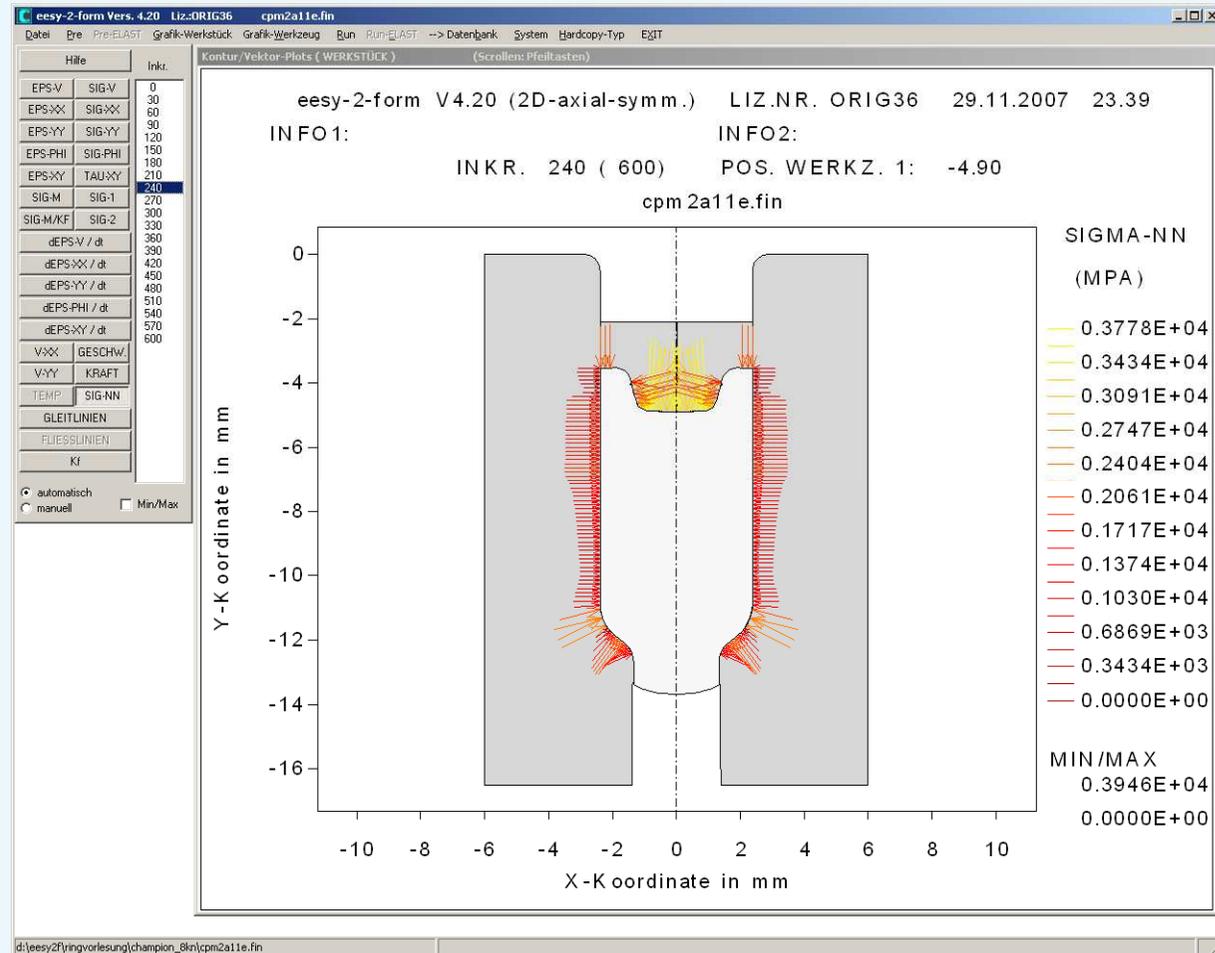


Bauteil mit **Faltenbildung**  
=> Überschmiedung im Fertigteil

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel IV: Abplatzung am Stempel durch ungünstige Form bzw. Belastung

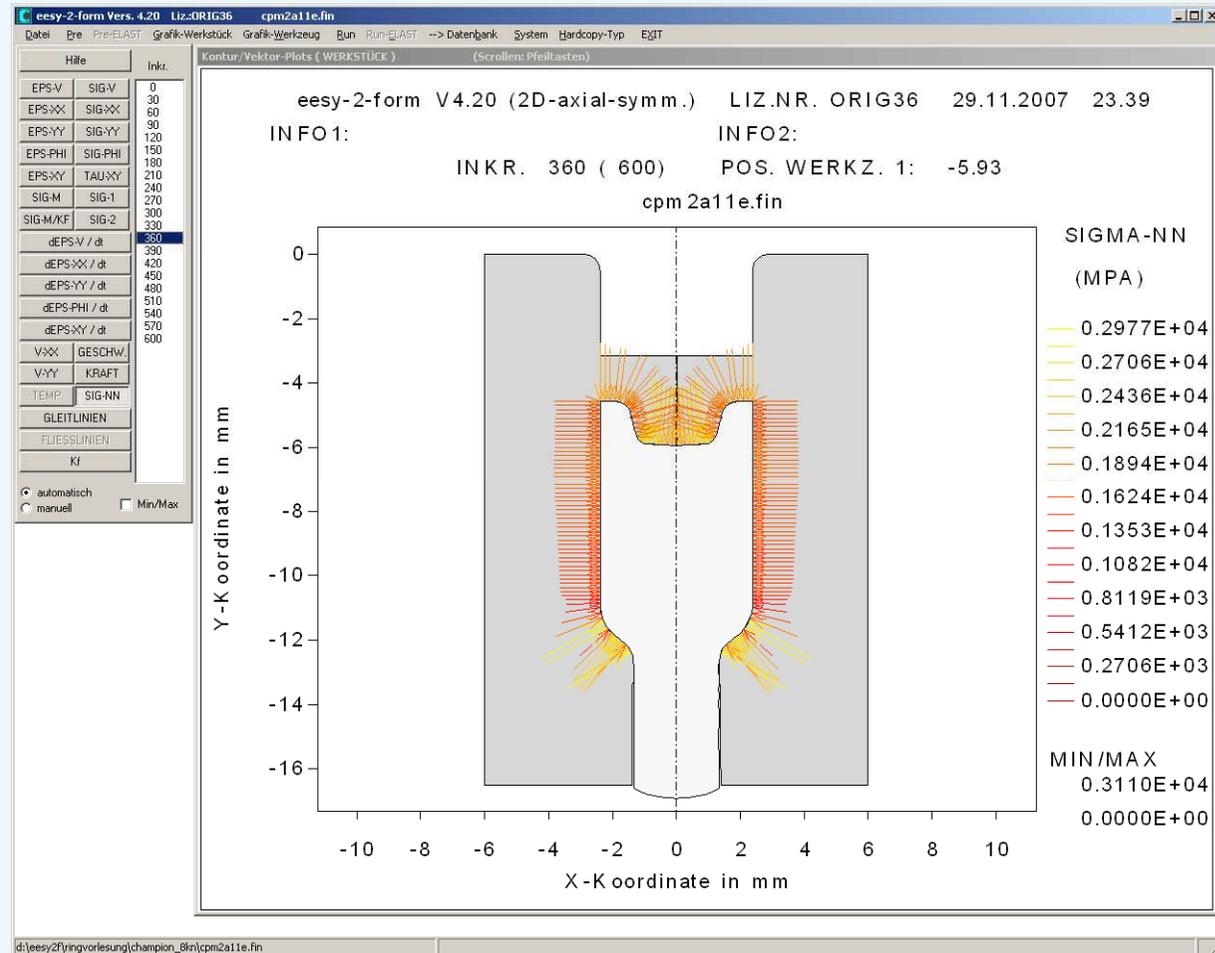


Werkzeuginnendruck  
(Kontaktnormalspannung)

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel IV: Abplatzung am Stempel durch ungünstige Form bzw. Belastung

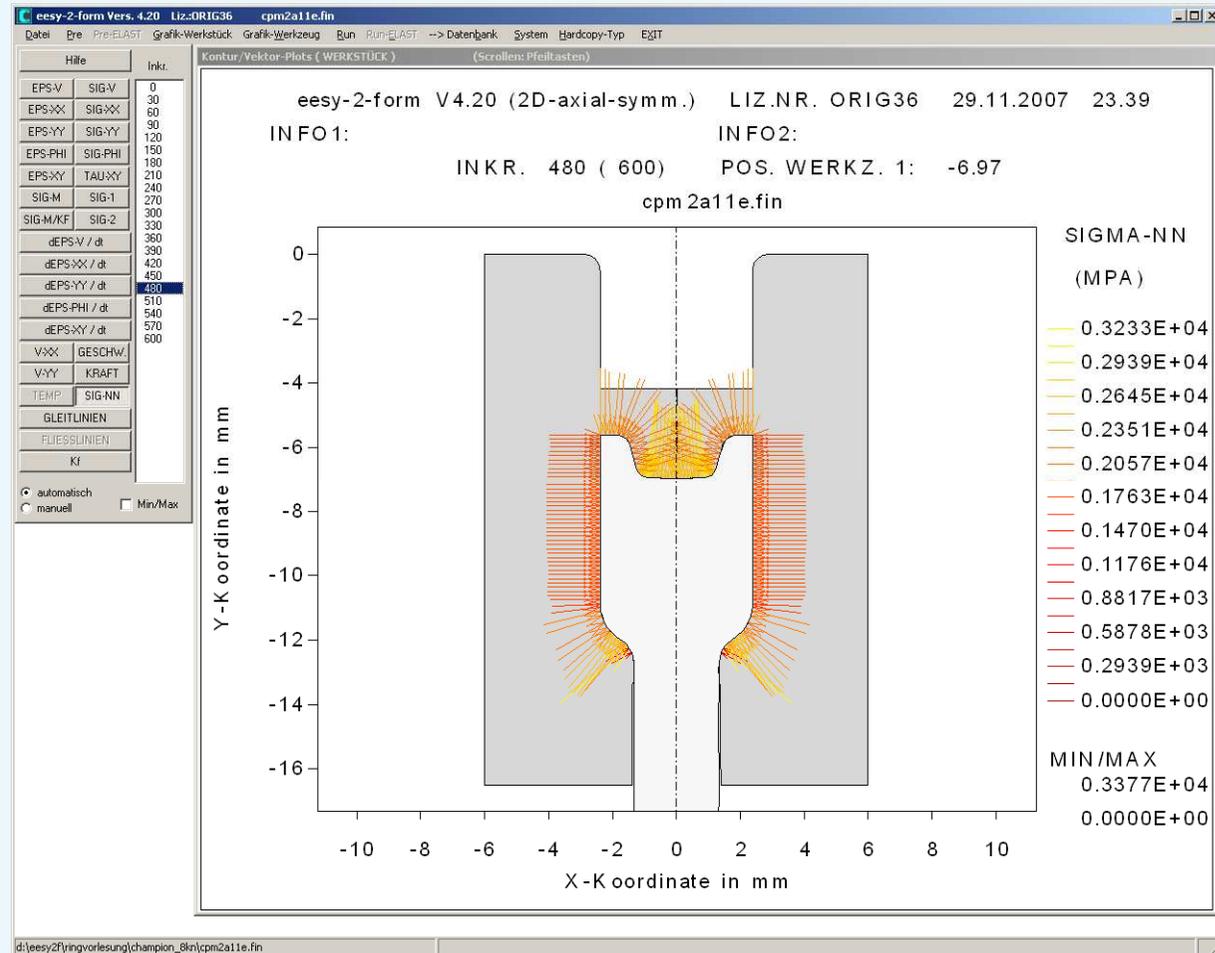


Werkzeuginnendruck  
(Kontaktnormalspannung)

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel IV: Abplatzung am Stempel durch ungünstige Form bzw. Belastung

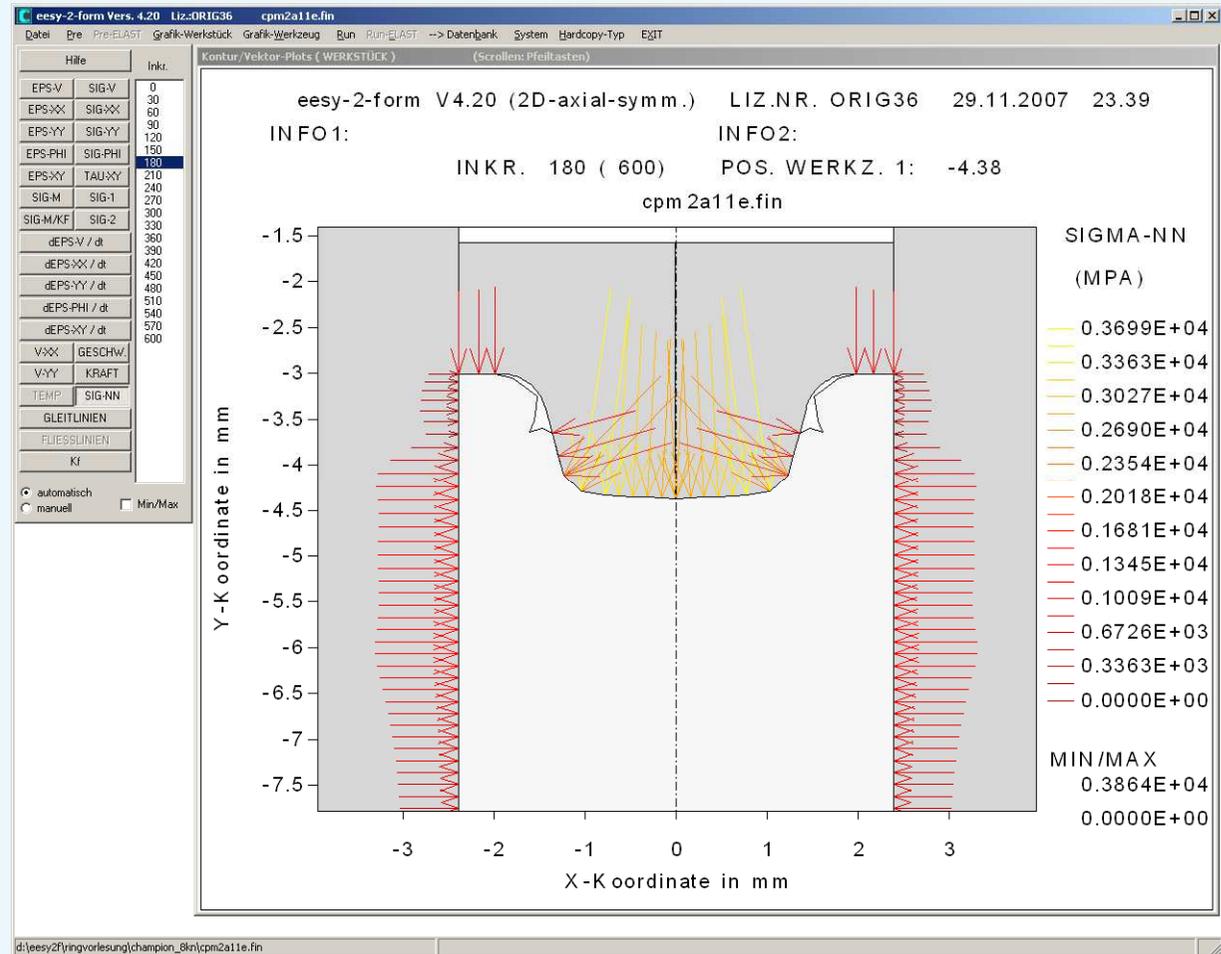


Werkzeuginnendruck  
(Kontaktnormalspannung)

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel IV: Abplatzung am Stempel durch ungünstige Form bzw. Belastung

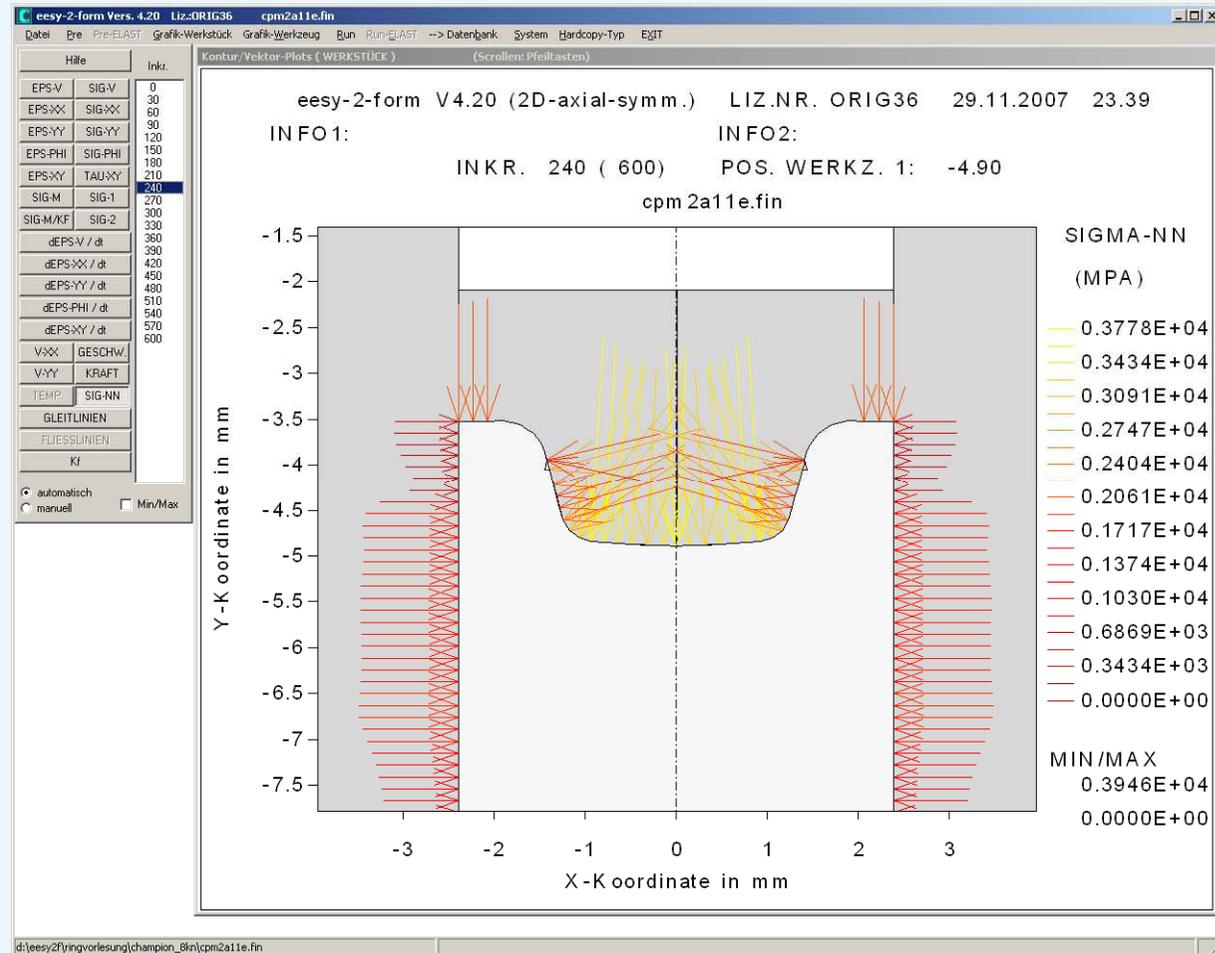


Werkzeuginnendruck  
(Kontaktnormalspannung)

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel IV: Abplatzung am Stempel durch ungünstige Form bzw. Belastung

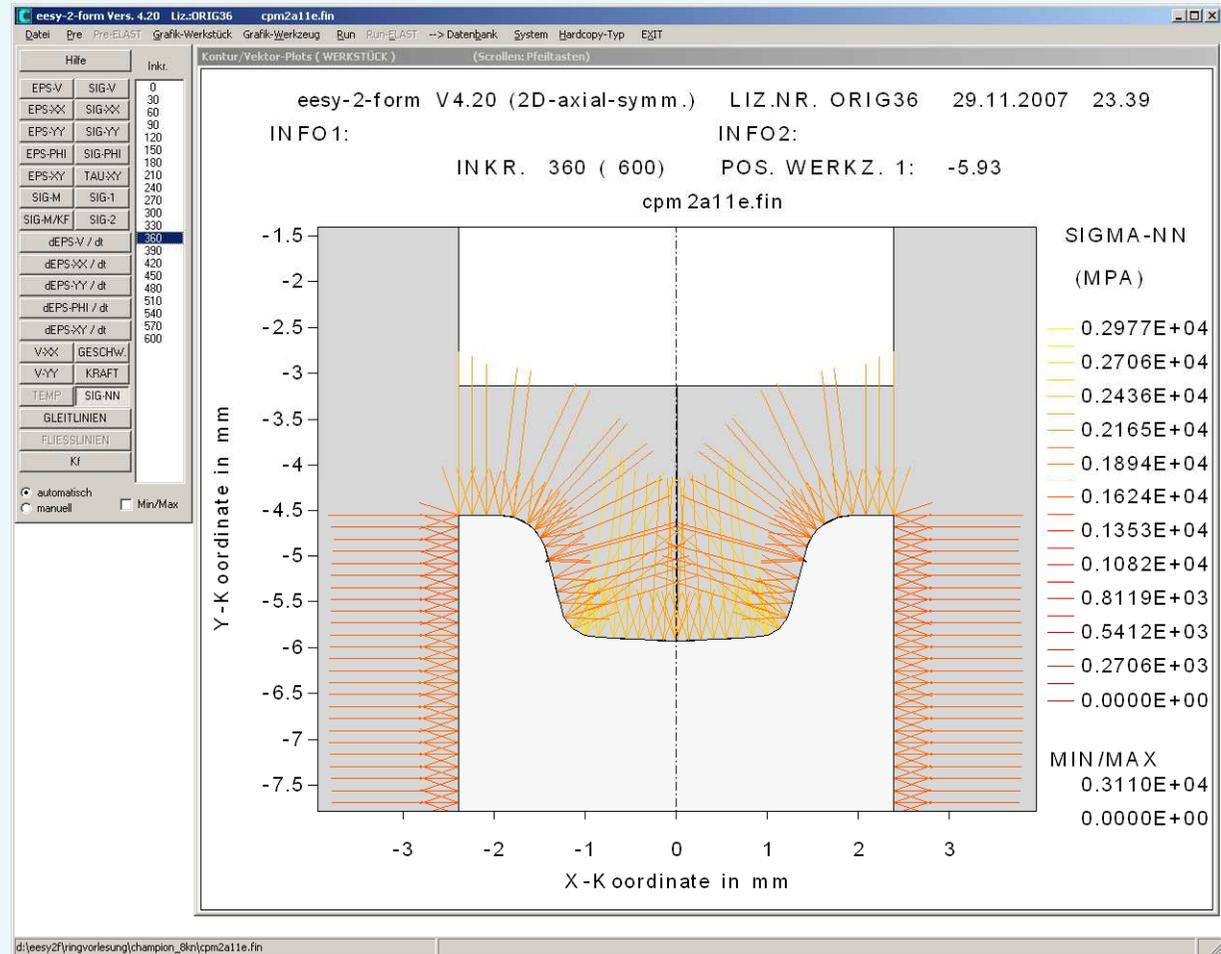


Werkzeuginnendruck  
(Kontaktnormalspannung)

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel IV: Abplatzung am Stempel durch ungünstige Form bzw. Belastung

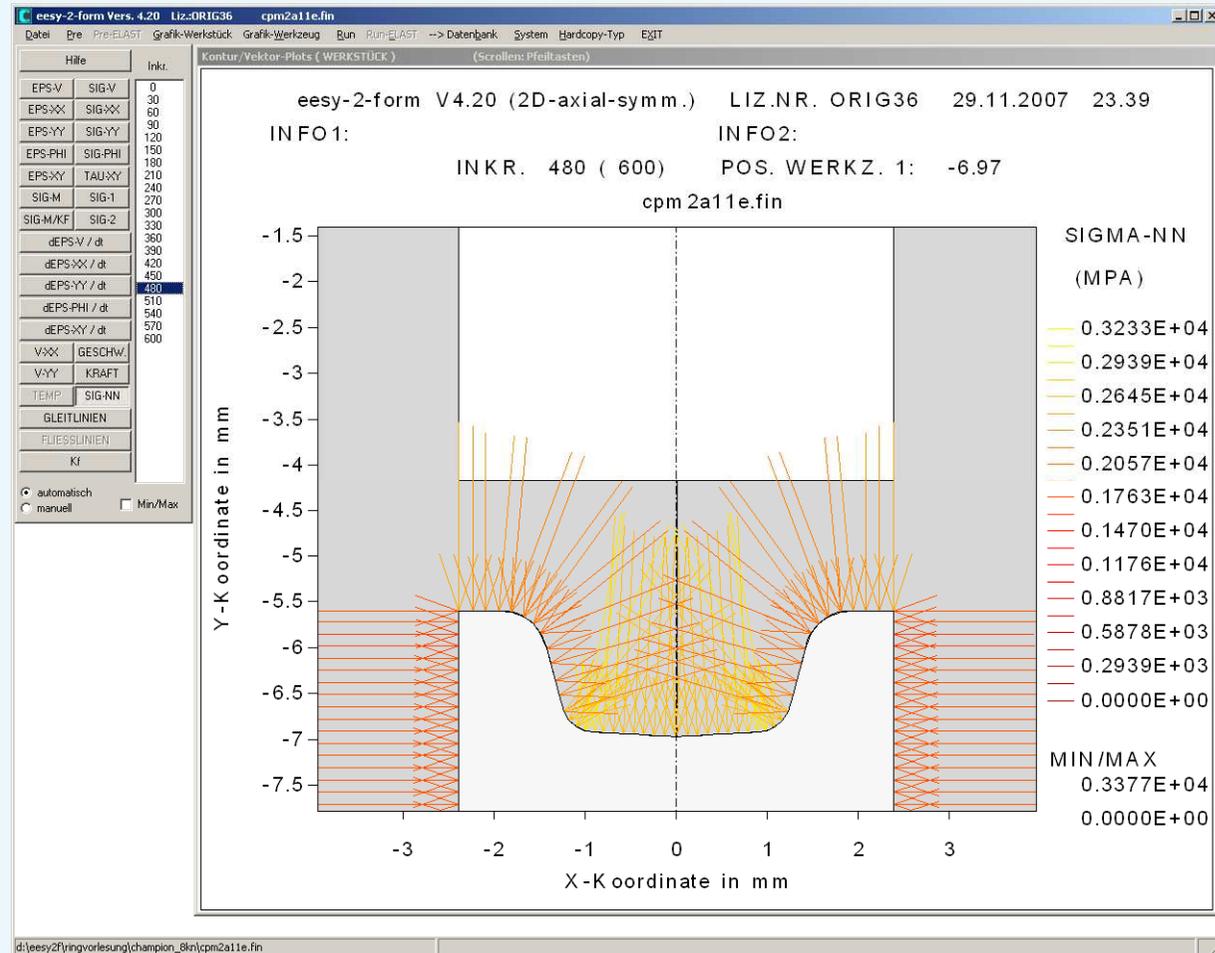


Werkzeuginnendruck  
(Kontaktnormalspannung)

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel IV: Abplatzung am Stempel durch ungünstige Form bzw. Belastung

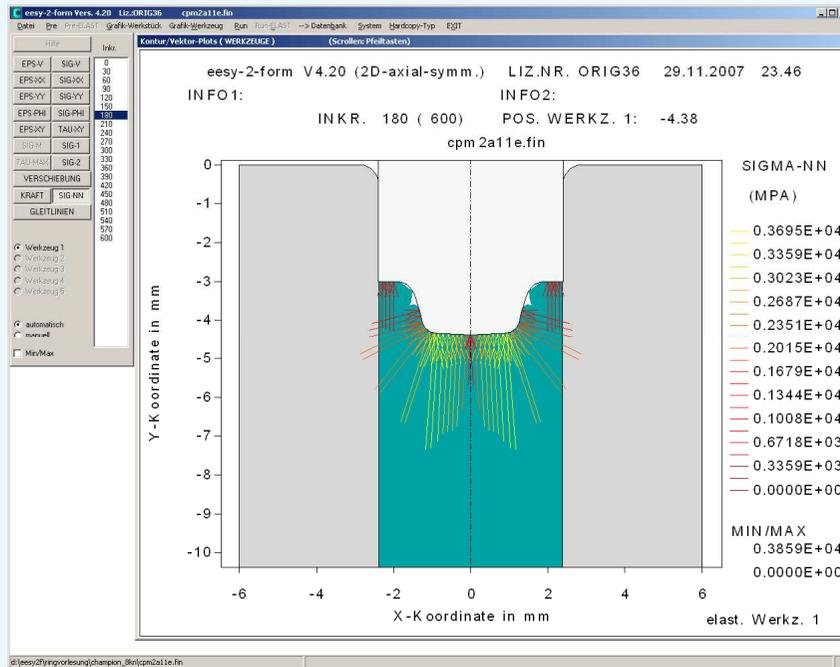


Werkzeuginnendruck  
(Kontaktnormalspannung)

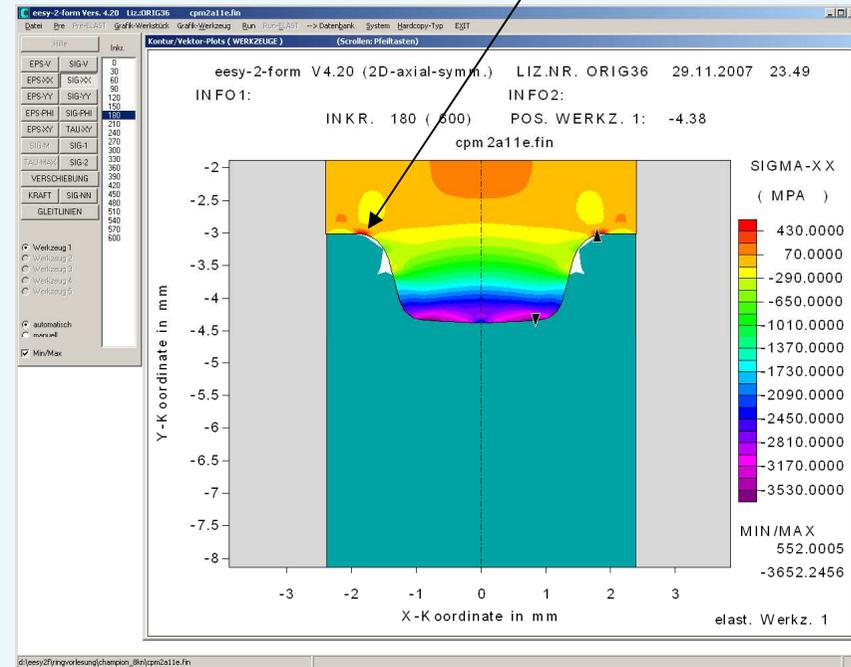
# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel IV: Abplatzung am Stempel durch ungünstige Form bzw. Belastung



Belastung des Stempels während der Umformung

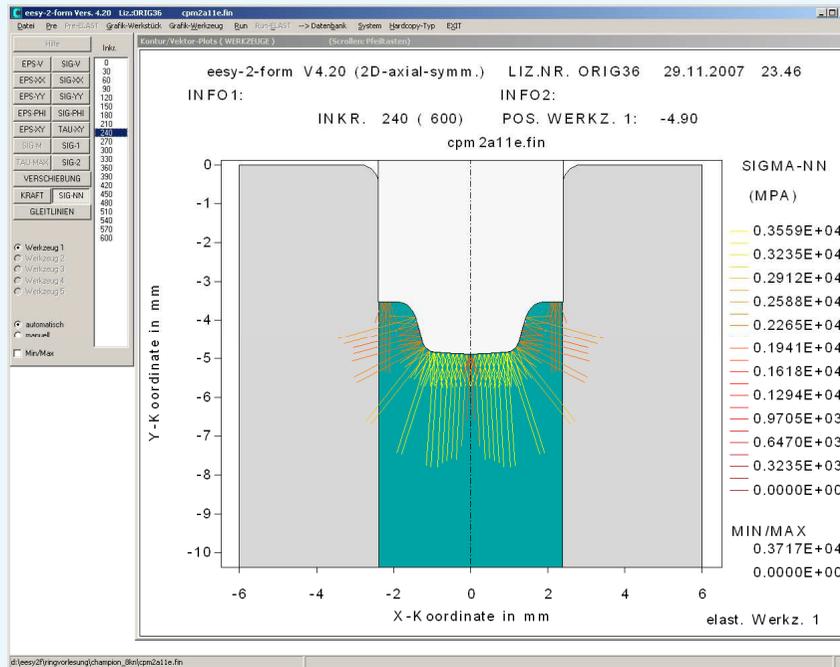


resultierende Radialspannung im Stempel

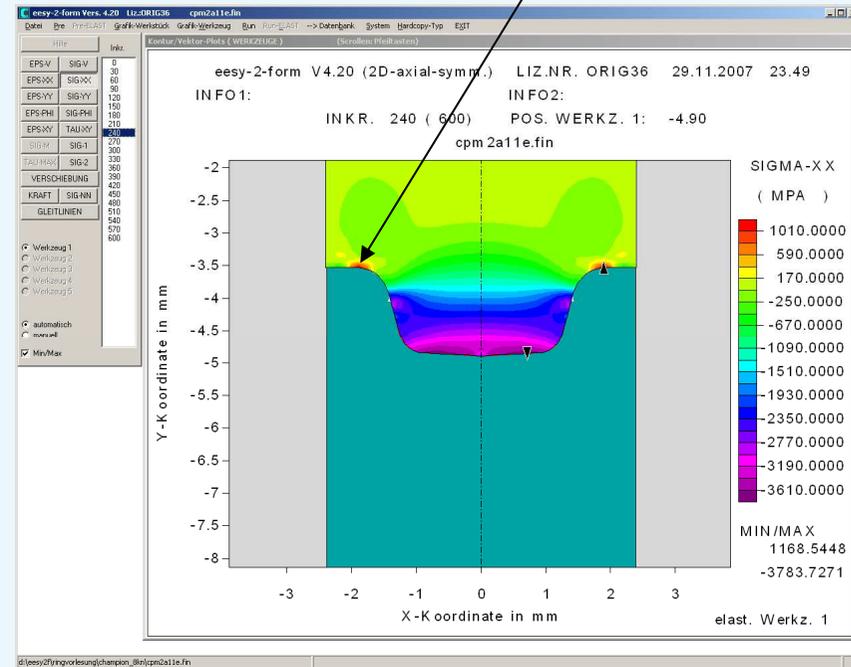
# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel IV: Abplatzung am Stempel durch ungünstige Form bzw. Belastung



Belastung des Stempels während der Umformung

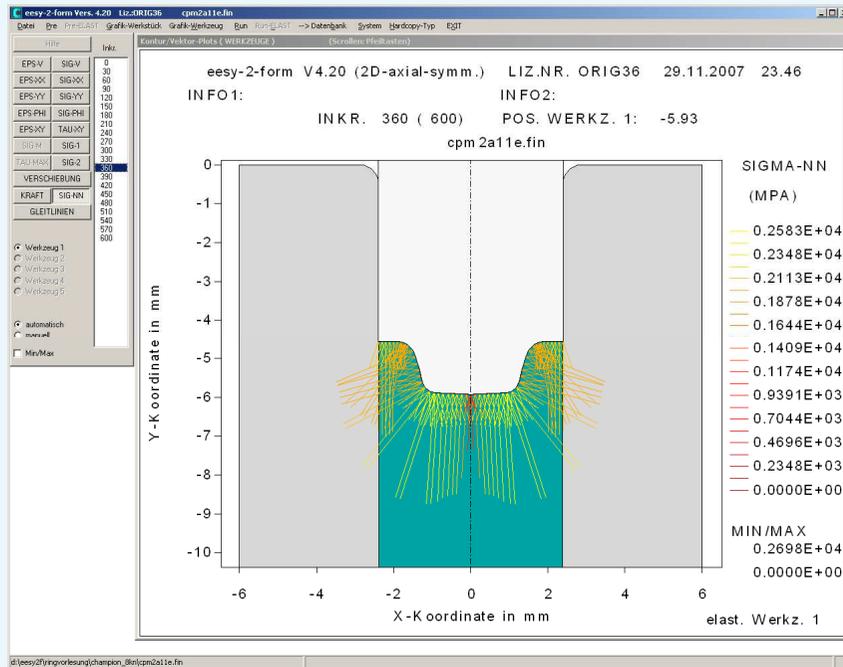


resultierende Radialspannung im Stempel

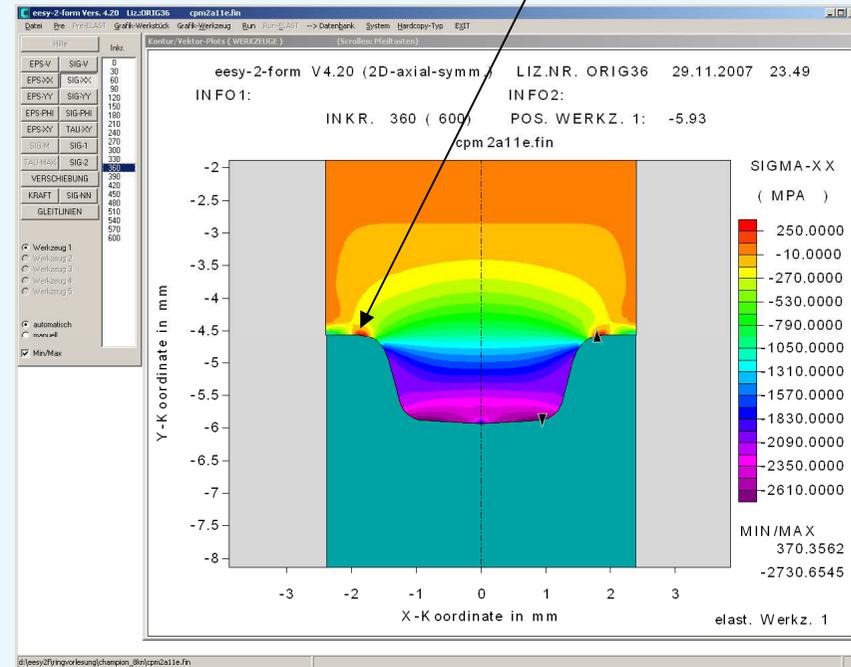
# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel IV: Abplatzung am Stempel durch ungünstige Form bzw. Belastung



Belastung des Stempels während der Umformung

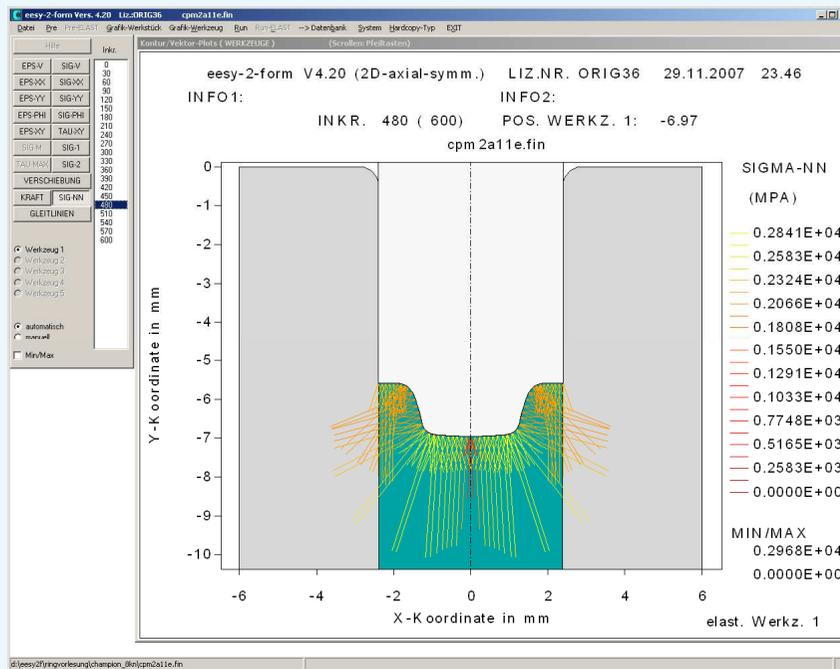


resultierende Radialspannung im Stempel

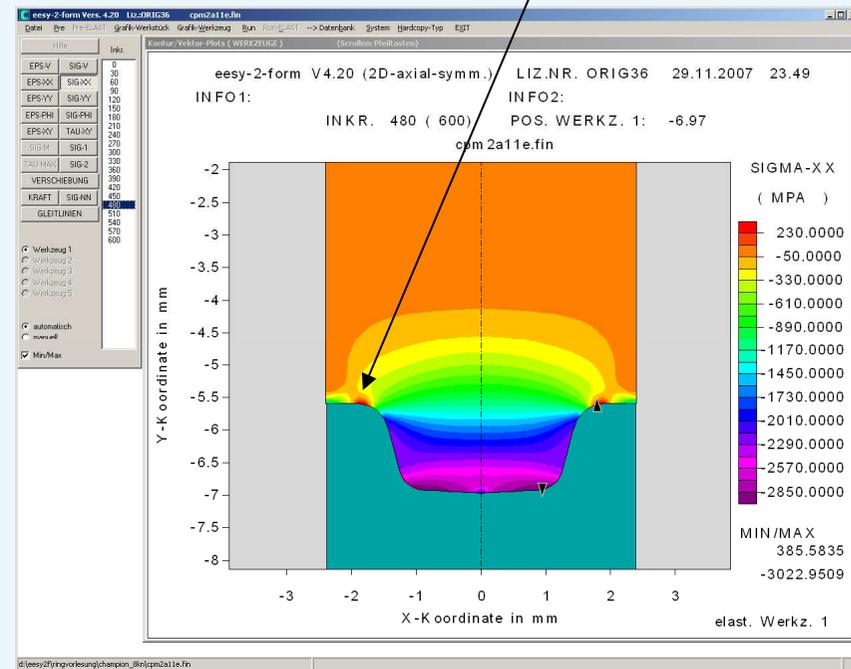
# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel IV: Abplatzung am Stempel durch ungünstige Form bzw. Belastung



Belastung des Stempels während der Umformung

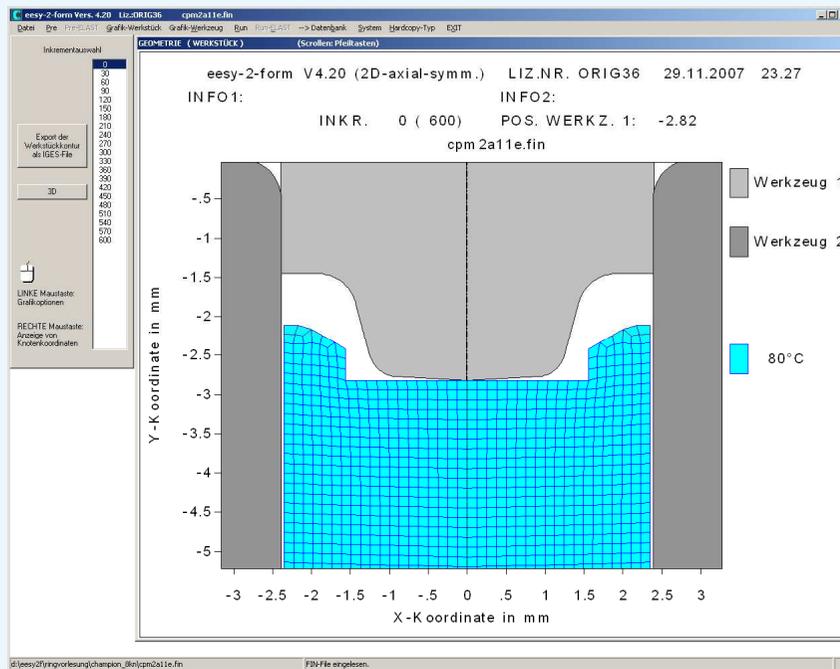


resultierende Radialspannung im Stempel

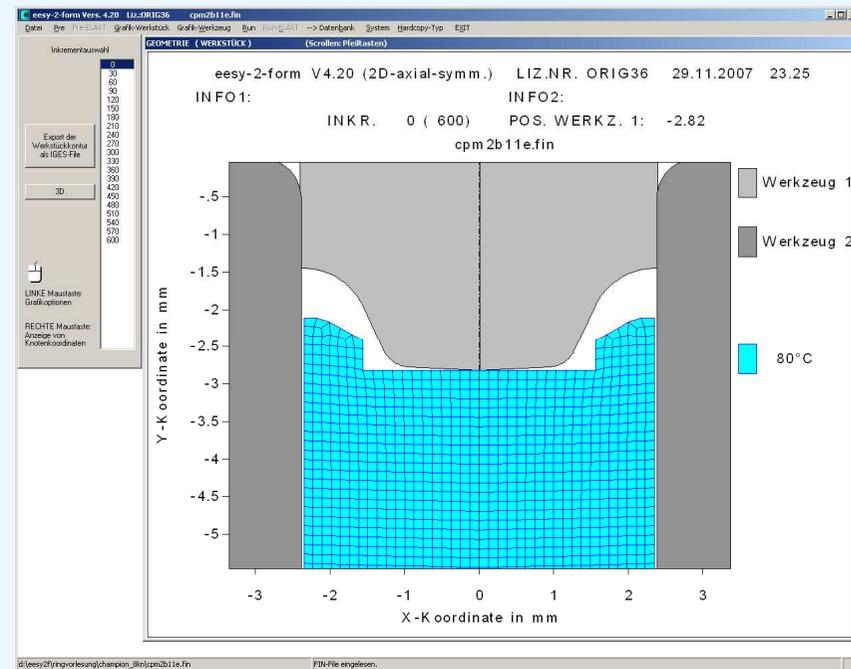
# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel IV: Abplatzung am Stempel durch ungünstige Form bzw. Belastung



Ursprüngliche Stempelgeometrie



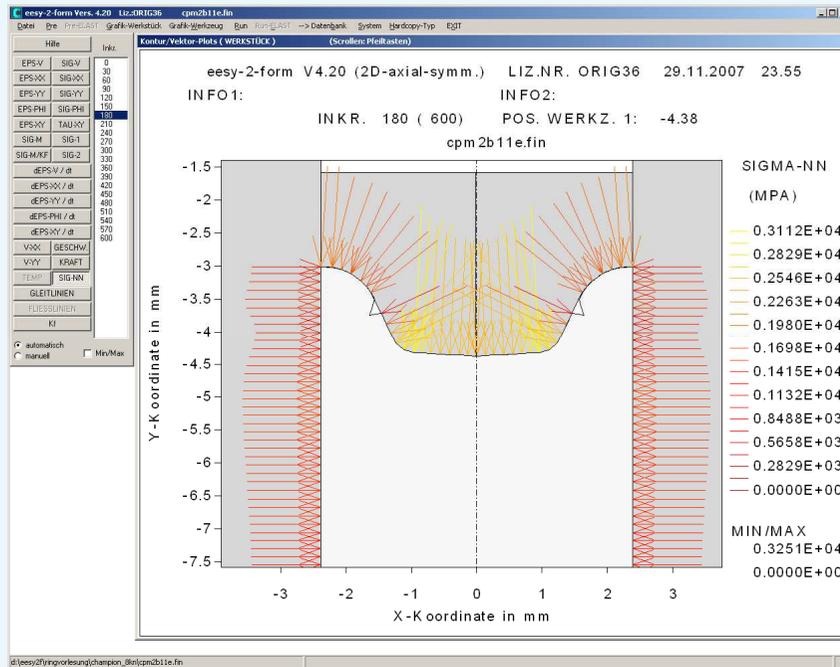
Optimierte Stempelgeometrie

# Umformsimulation in der Massivumformung

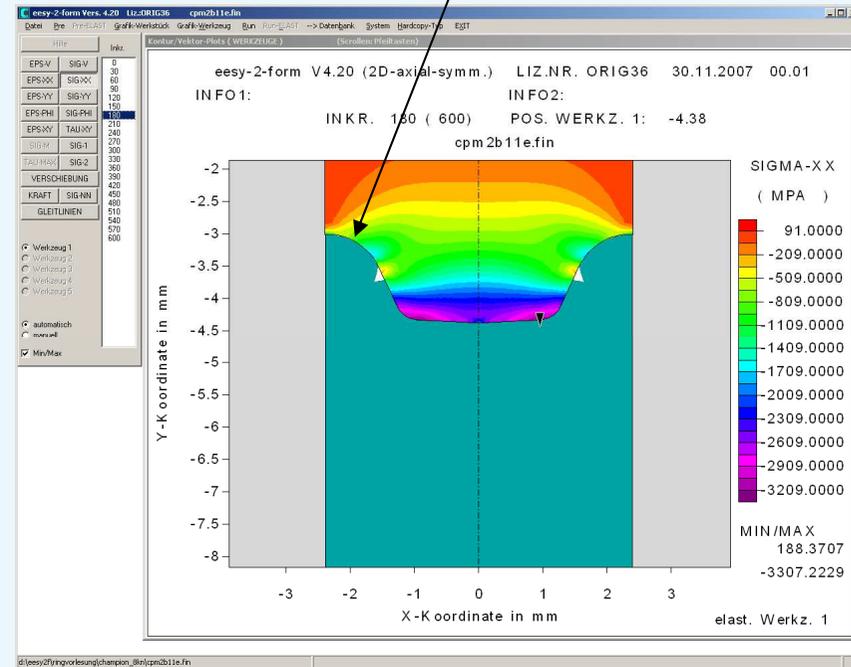
## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel IV: Abplatzung am Stempel durch ungünstige Form bzw. Belastung

keine radiale Zugspannung



Belastung des Stempels (neu) während der Umformung



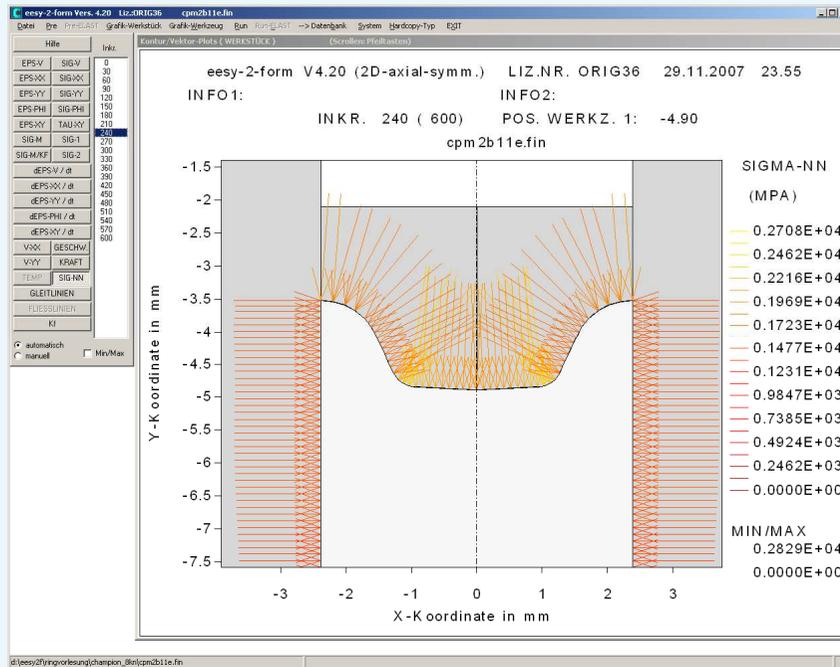
resultierende Radialspannung im Stempel (neu)

# Umformsimulation in der Massivumformung

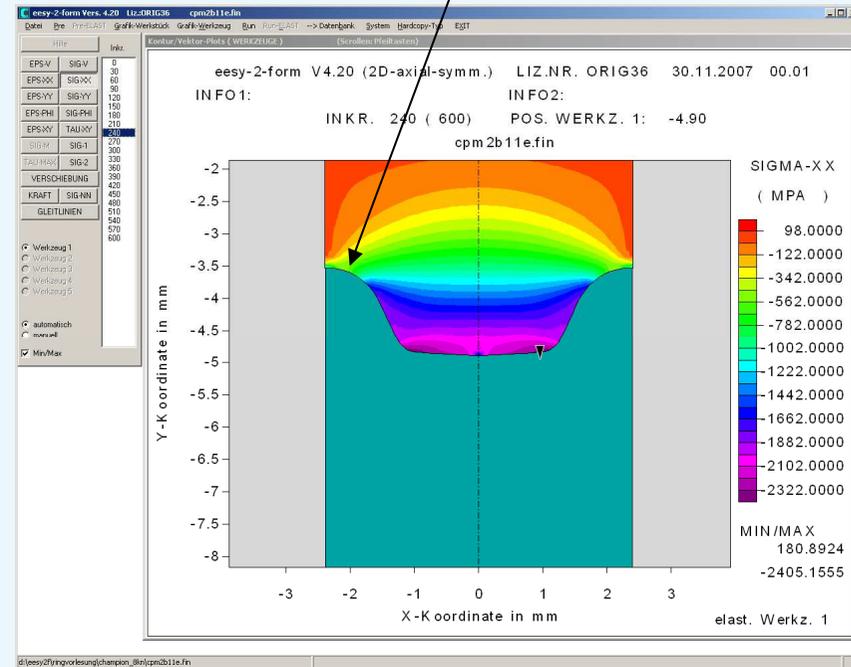
## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel IV: Abplatzung am Stempel durch ungünstige Form bzw. Belastung

keine radiale Zugspannung



Belastung des Stempels (neu) während der Umformung



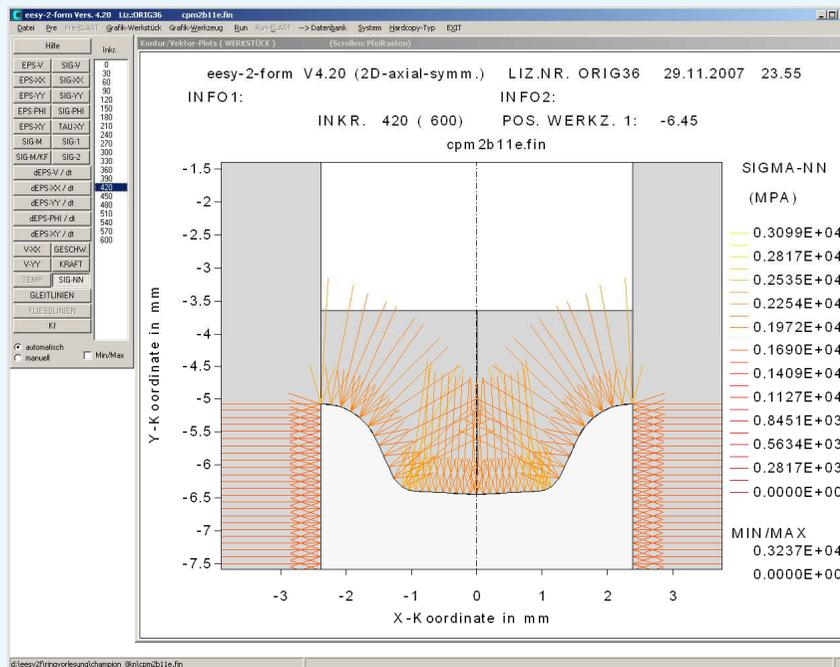
resultierende Radialspannung im Stempel (neu)

# Umformsimulation in der Massivumformung

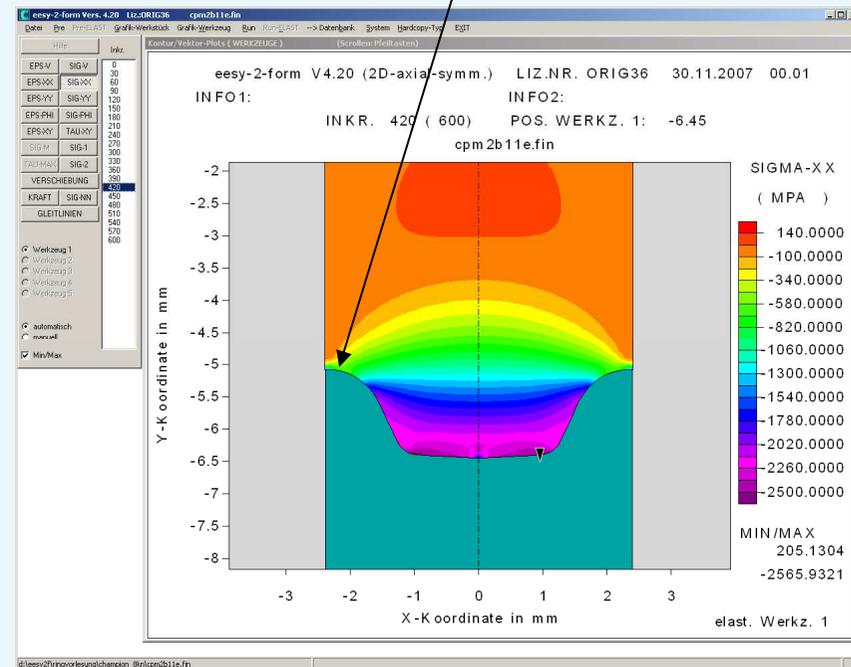
## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel IV: Abplatzung am Stempel durch ungünstige Form bzw. Belastung

keine radiale Zugspannung



Belastung des Stempels (neu) während der Umformung



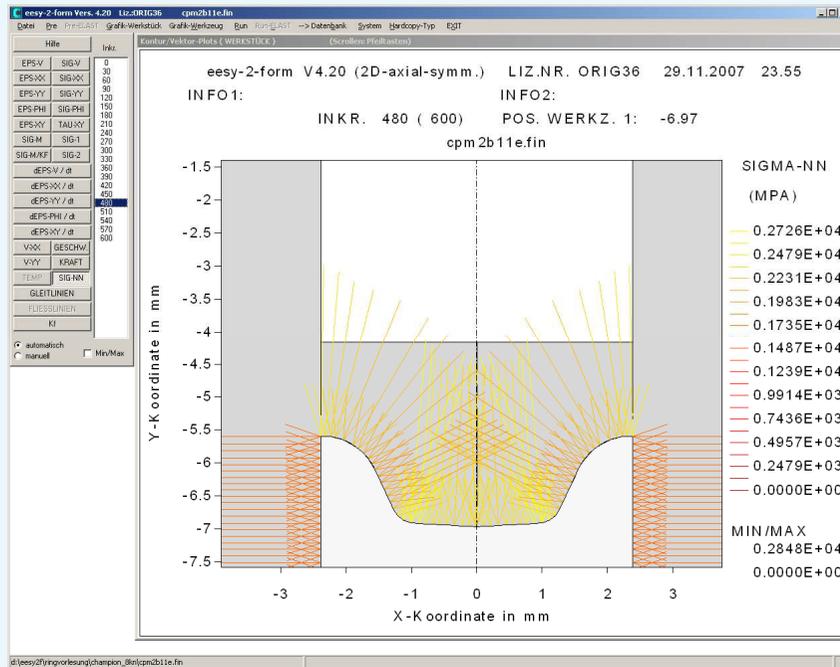
resultierende Radialspannung im Stempel (neu)

# Umformsimulation in der Massivumformung

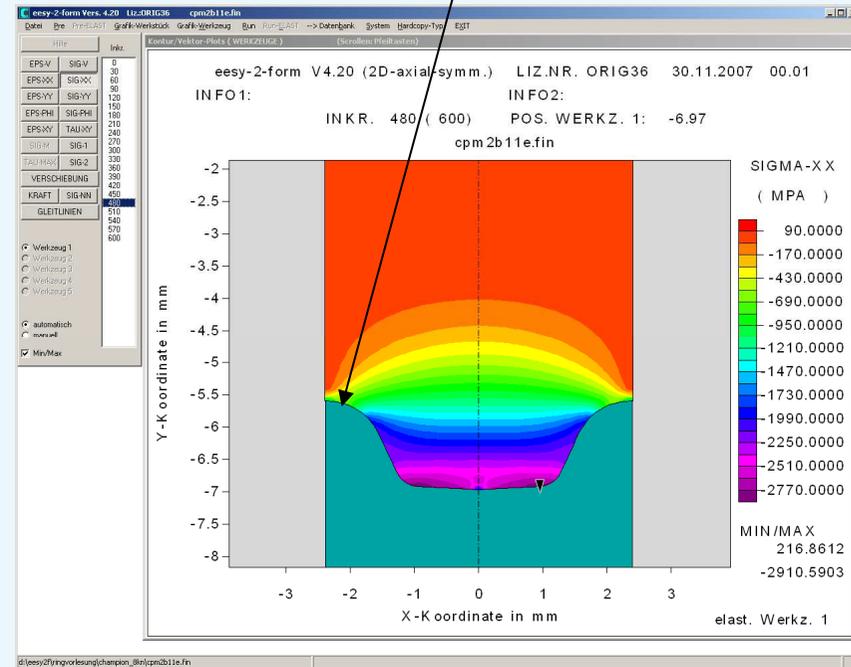
## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel IV: Abplatzung am Stempel durch ungünstige Form bzw. Belastung

keine radiale Zugspannung



Belastung des Stempels (neu) während der Umformung



resultierende Radialspannung im Stempel (neu)

## *Umformsimulation in der Massivumformung*

### *Anspruch, Anwendung, Potential*

#### Beispiel IV: Abplatzung am Stempel durch ungünstige Form bzw. Belastung

##### **Fazit:**

Die Umformsimulation / elastische Werkzeuganalyse zeigt deutlich eine Konzentration radialer Zugspannung an der Unterseite des Stempels im Bereich des Versagens.

Die generelle Werkzeuggeometrie als auch die diskontinuierliche Stempelbelastung können dem Auftreten der radialen Zugspannung zugeordnet werden.

Ein Lösungsansatz kann aus den Ergebnissen von Umformsimulation und Werkzeuganalyse abgeleitet werden.

Die erneute Umformsimulation /elastische Werkzeuganalyse bestätigt den Lösungsansatz.

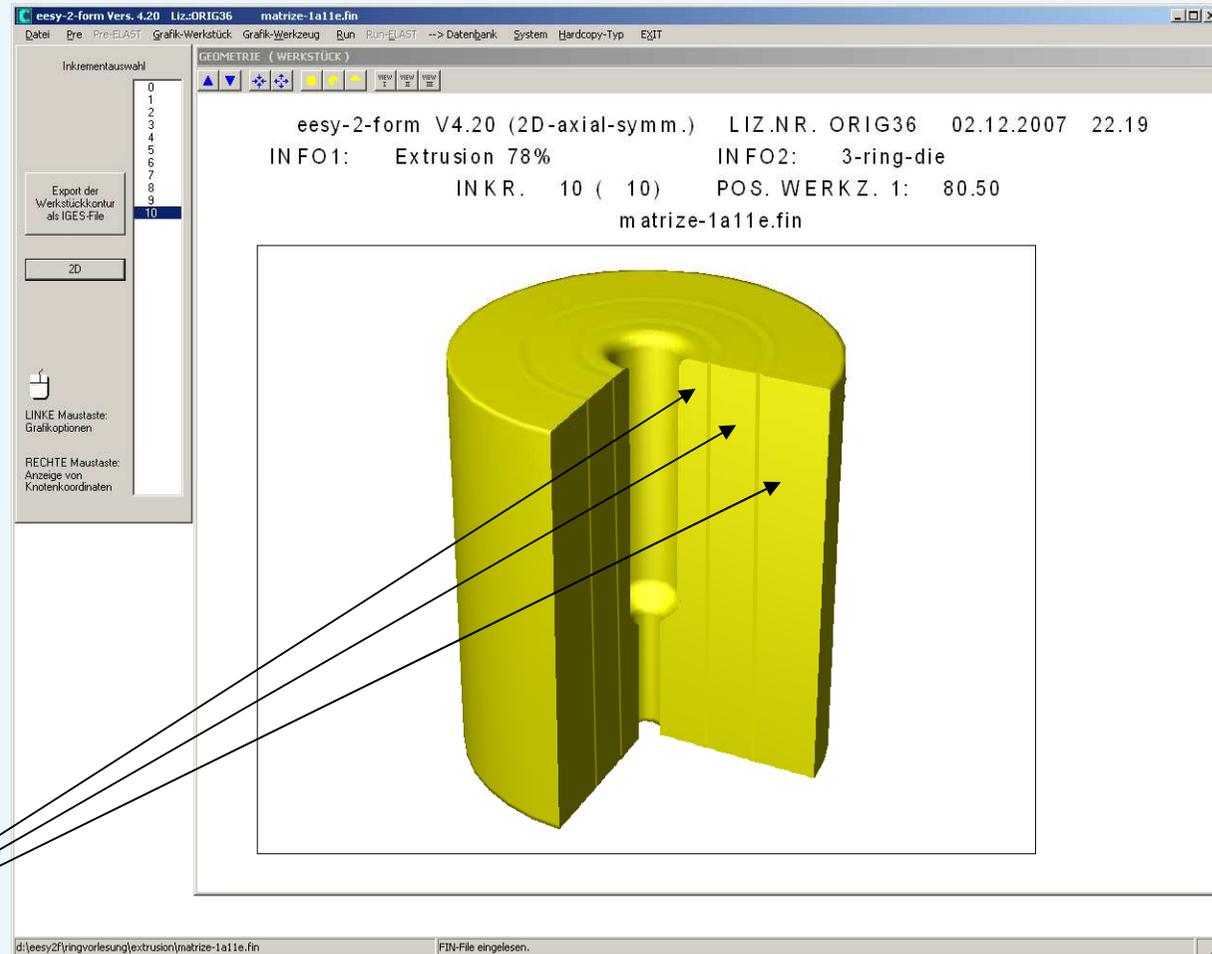
# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel V: Extrusion in mehrfach armierter Fließpressmatrize



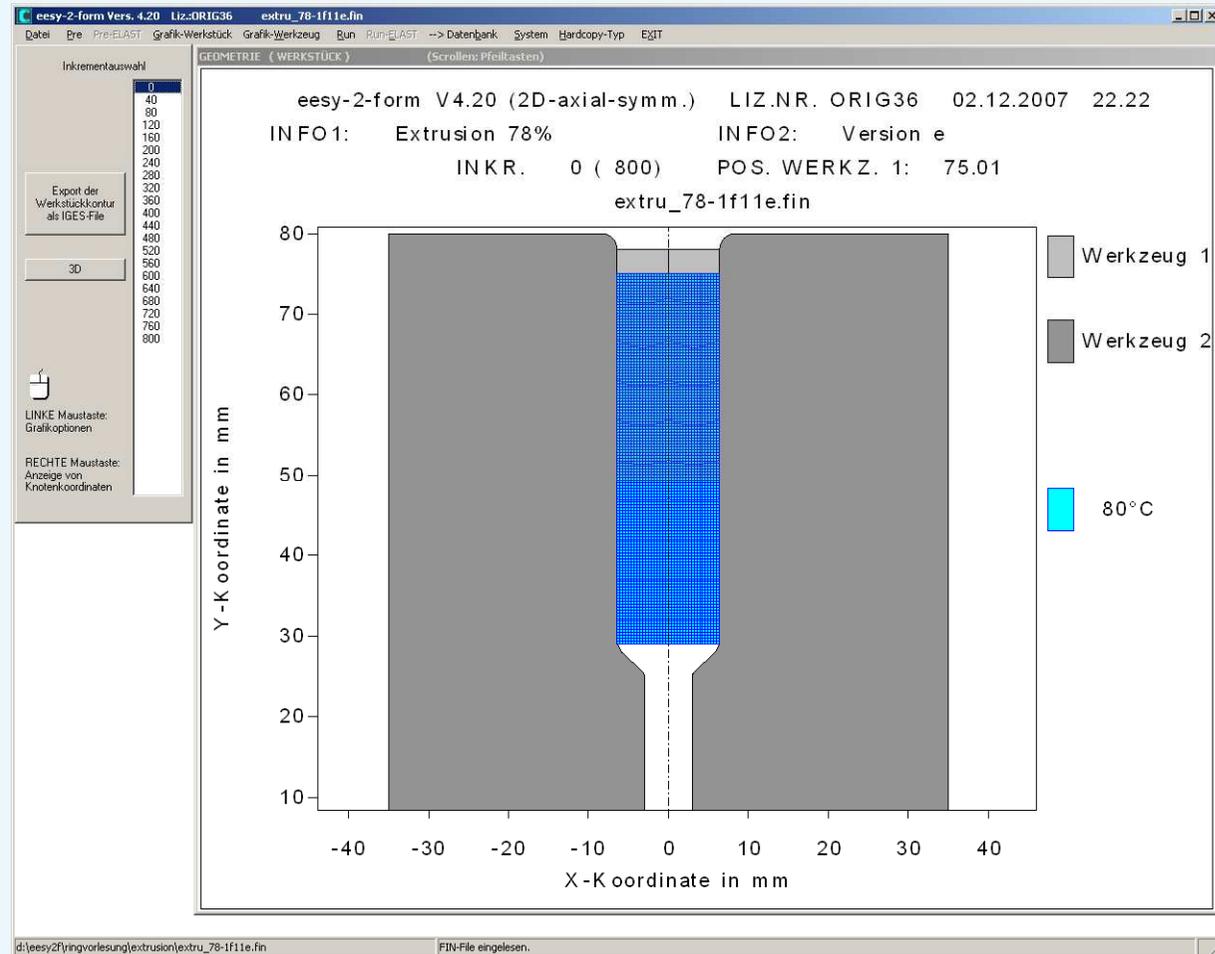
Armierte Fließpressmatrize  
als 3-Ring-System



# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel V: Extrusion in mehrfach armierter Fließpressmatrize

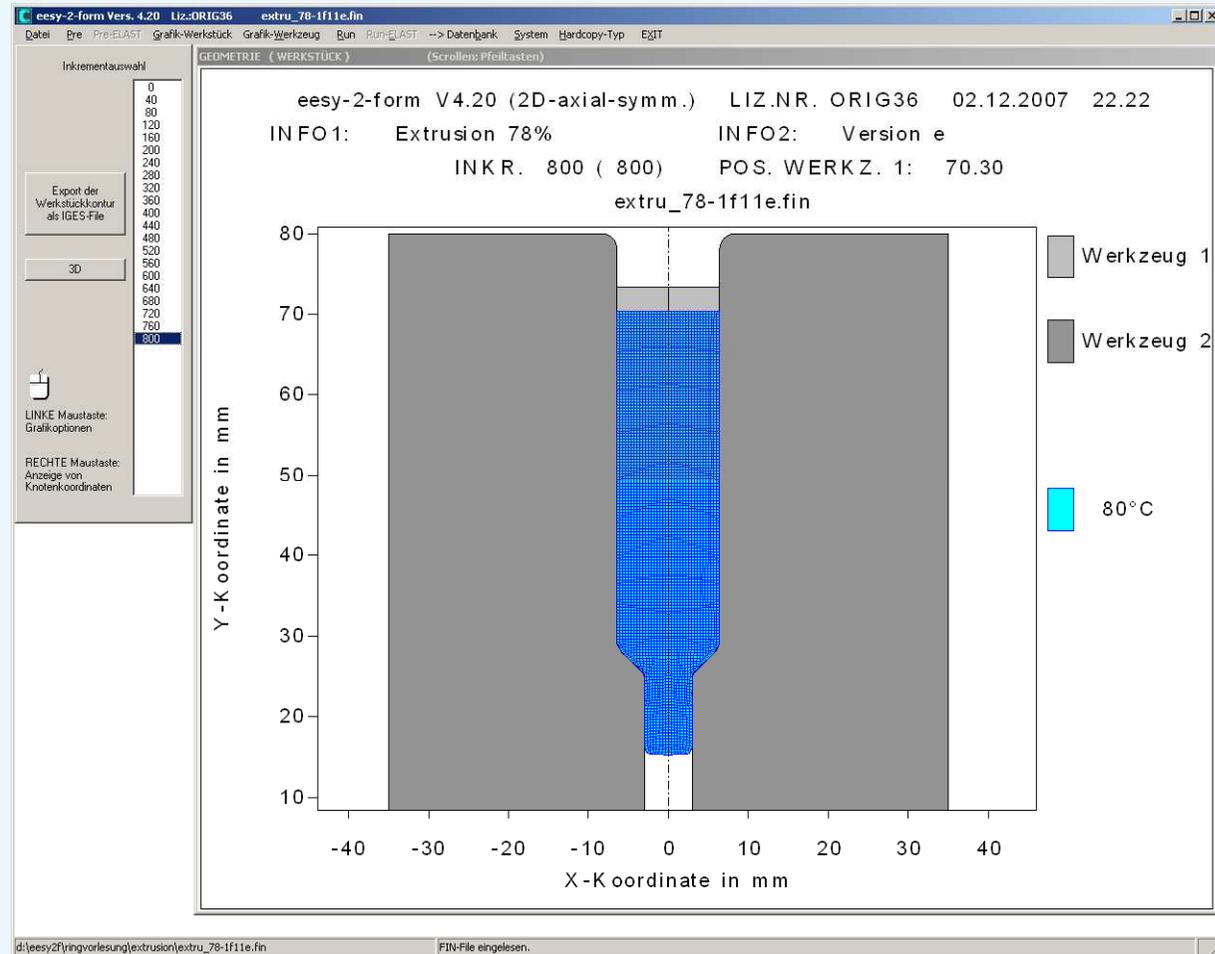


Ausgangsgeometrie

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel V: Extrusion in mehrfach armierter Fließpressmatrize

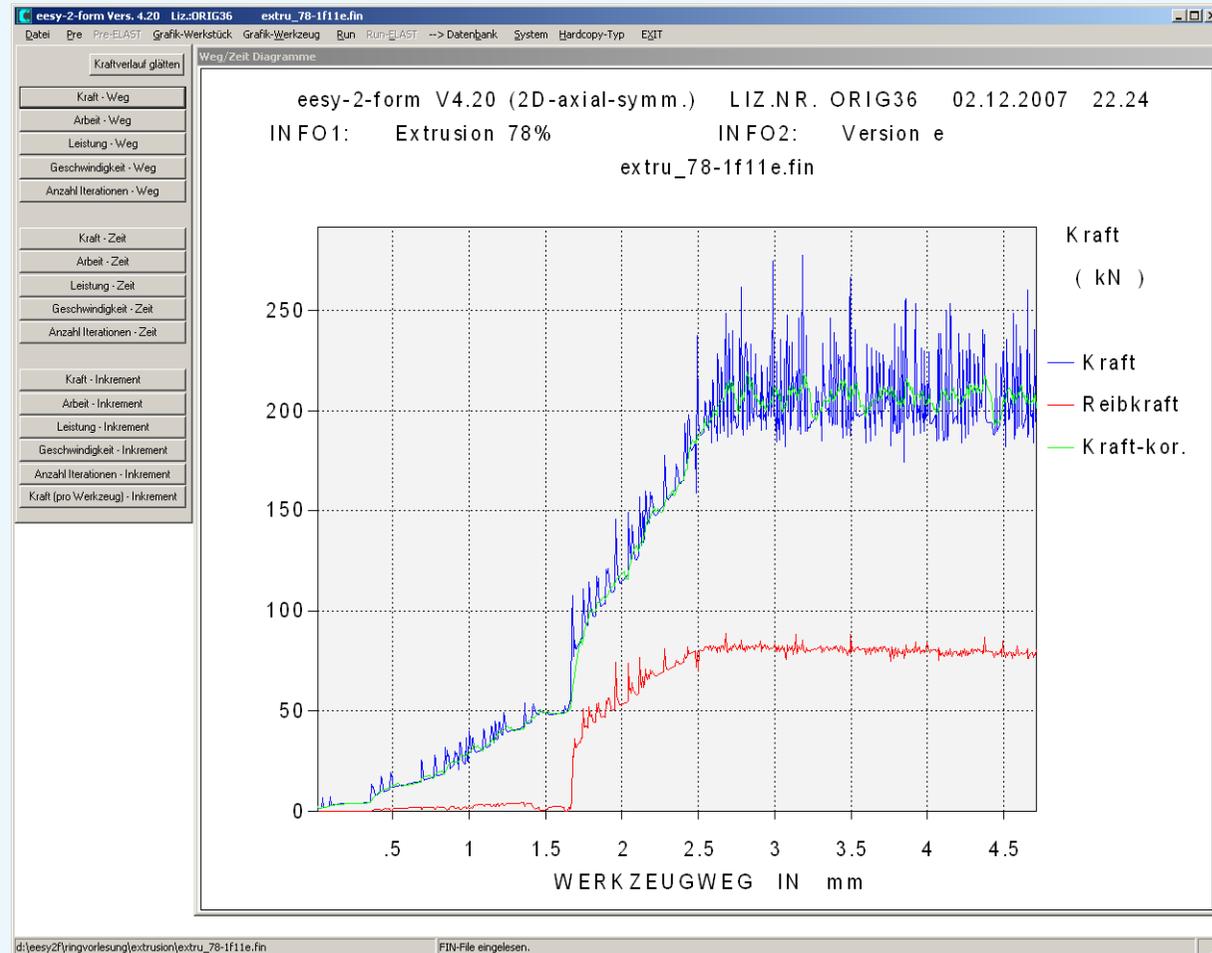


Endgeometrie

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel V: Extrusion in mehrfach armierter Fließpressmatrize

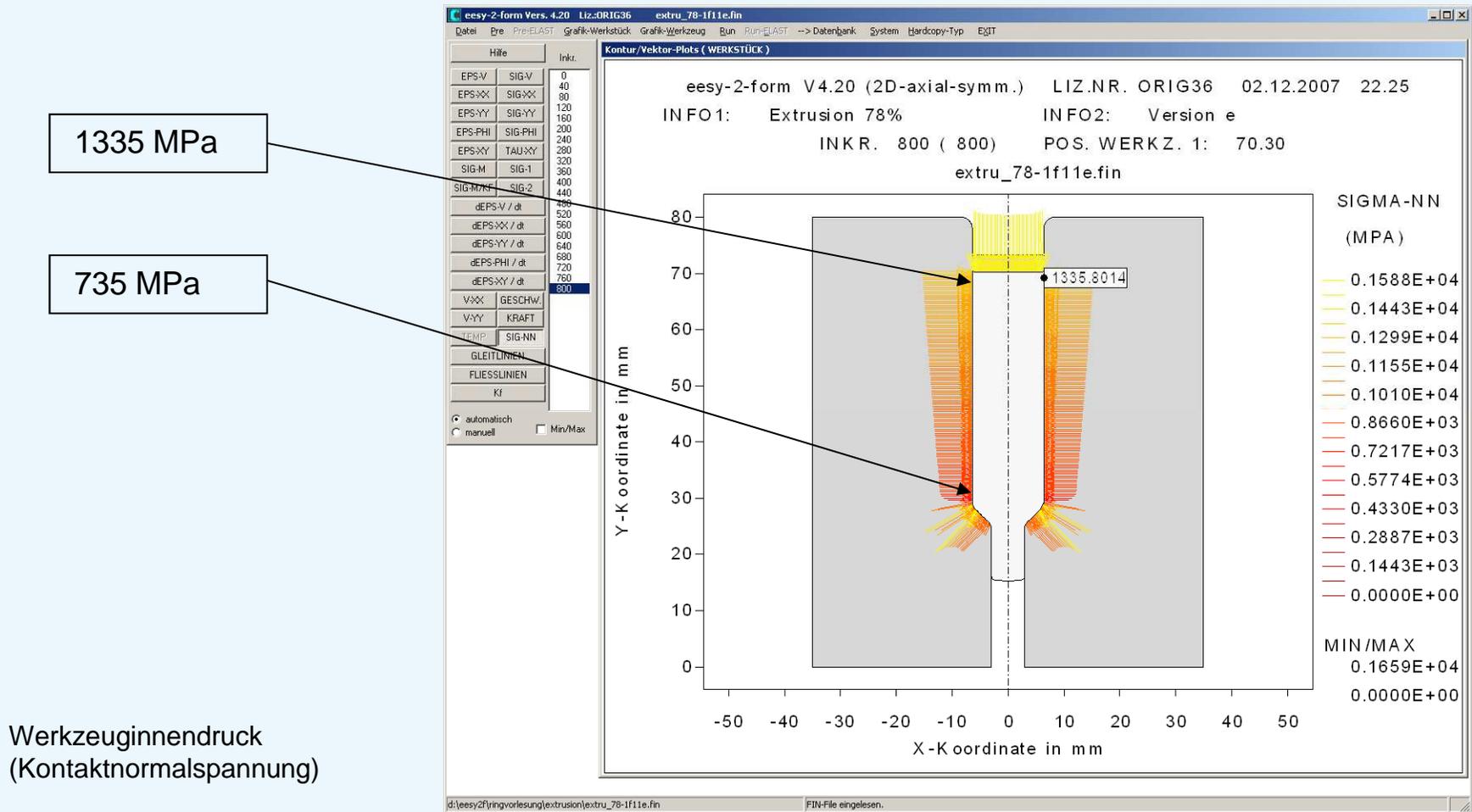


Verlauf der erforderlichen Umformkraft und darin enthaltene Reibkraft

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel V: Extrusion in mehrfach armierter Fließpressmatrize

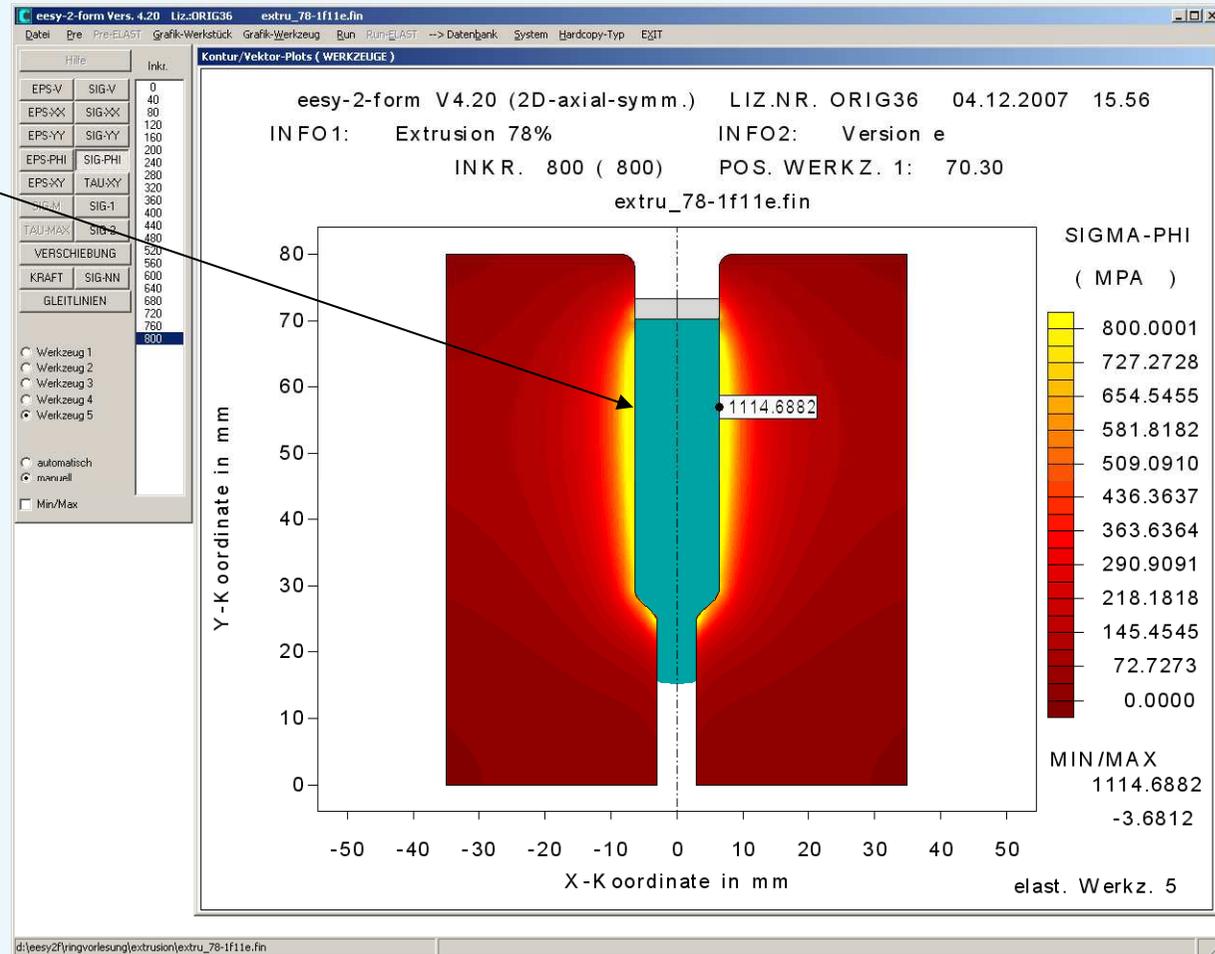


# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel V: Extrusion in mehrfach armierter Fließpressmatrize

+ 1114 MPa (Zug !)



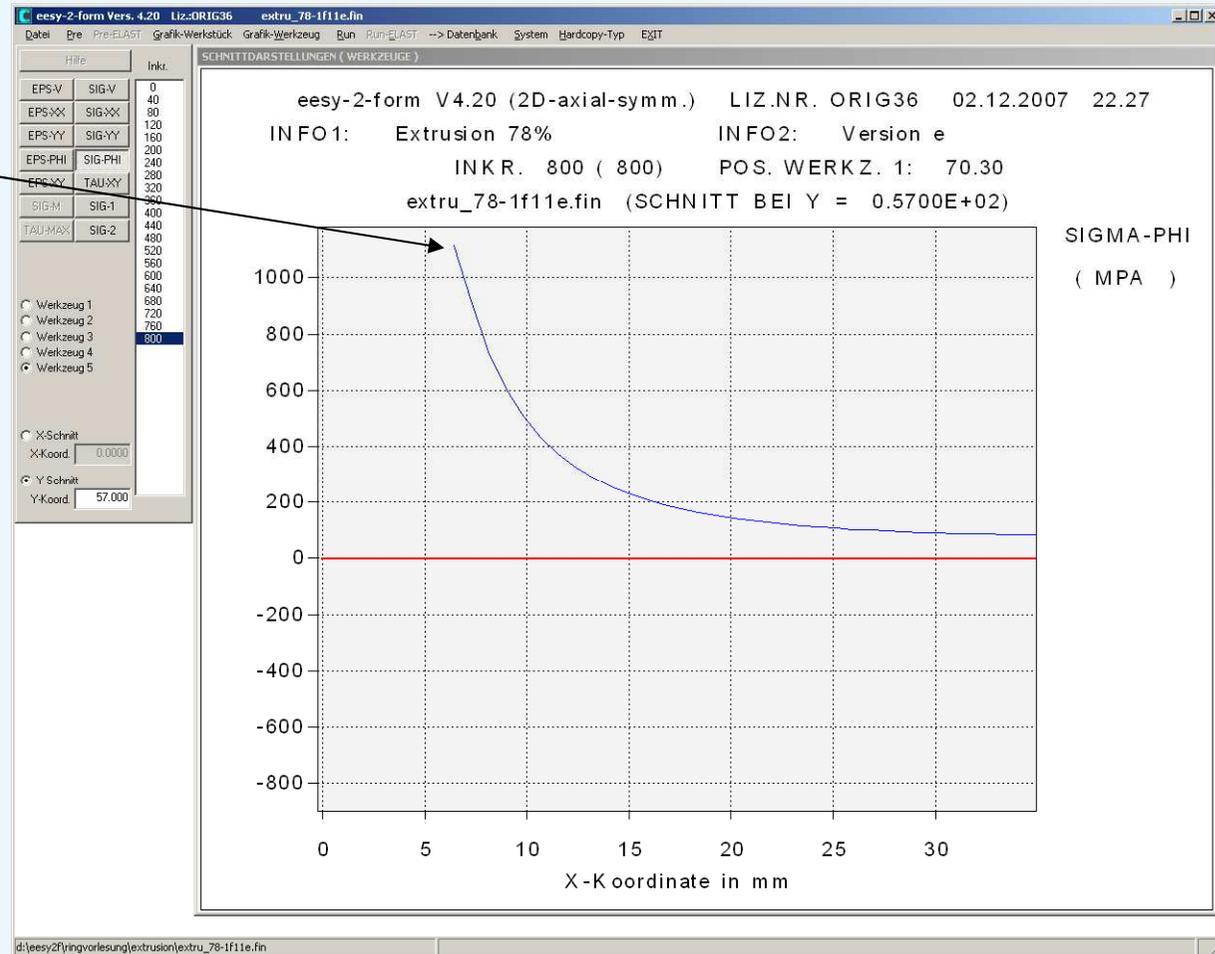
Tangentialspannung in der Matrize (ohne Armierung) (hohe Zugspannung)

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel V: Extrusion in mehrfach armierter Fließpressmatrize

**+ 1114 MPa (Zug !)**



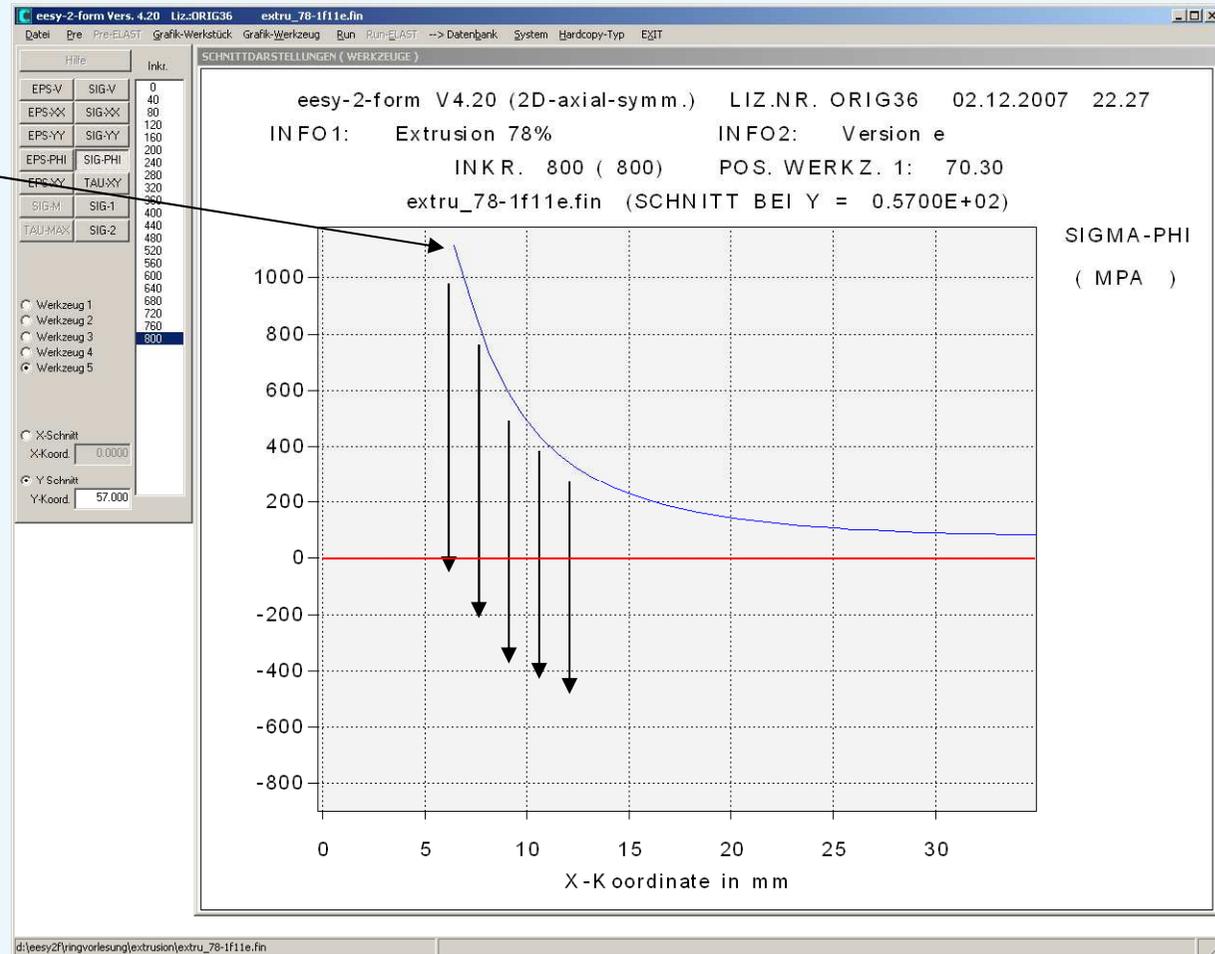
Tangentialspannung in der Matrize (im höchstbeanspruchten Querschnitt)

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel V: Extrusion in mehrfach armierter Fließpressmatrize

**+ 1114 MPa (Zug !)**



**wünschenswerte Verschiebung der Tangentialspannung in der Matrize**

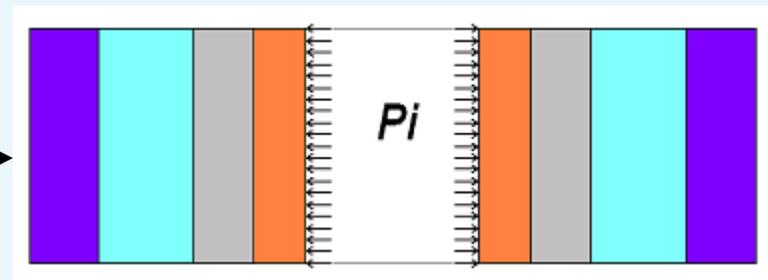
## Umformsimulation in der Massivumformung Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel V: Extrusion in mehrfach armierter Fließpressmatrize

Lösungsmöglichkeit über einen “**hybriden**“ **Ansatz** (schrittweise Anwendung von Verfahren unterschiedlicher Komplexität und unterschiedlichem Anspruch)

1. **Genaue Ermittlung** der tatsächlichen Werkzeugbelastung (Umformsimulation, FE-Analyse, numerisches Verfahren)

2. Matrizenauslegung/-optimierung für **vereinfachte Matrizengeometrie** (Lamé'sche-Beziehungen, analytisches Verfahren mit Optimierungsschleife)



3. **Umsetzung der optimierten Auslegung** auf die reale Werkzeuggeometrie (numerisches Modell für die Matrize mit Teilungen, Untermaßen und Vorspannungen)

4. **Überprüfung der optimierten Matrizenauslegung** unter der tatsächlichen Werkzeugbelastung aus 1. (Belastungssimulation, FE-Analyse, numerisches Verfahren)

## Umformsimulation in der Massivumformung Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel V: Extrusion in mehrfach armierter Fließpressmatrize

**easy-DieOpt Vers. 2.04** Lizenz für: CPM GmbH, Herzogenrath, Deutschland

Datei - 2-RING-SYSTEM (kalt) 2-RING-SYSTEM (warm) 3-RING-SYSTEM 4-RING-SYSTEM - Sprache System EXIT

**3-RING-SYSTEM** Lizenz für: CPM GmbH, Herzogenrath, Deutschland

	Einsatz	1. Schrupfring	2. Schrupfring
benutzerdefinierte Werkstoffe	S-6-5-2 (M2)	1.2343, 52.1	1.2343, 48.0
Werkstoffname	S-6-5-2	X38CrMoV51	X38CrMoV51
Werkstoffnummer	1.3343	1.2343	1.2343
E-Modul [MPa]	208000.	216000.	216000.
Poisson'sche Zahl [-]	0.28	0.28	0.28
Zugfestigkeit [MPa]		1800.0	1570.0
Streckgrenze [MPa]		1600.0	1370.0
Anlasstemperatur [°C]		550.	600.

Vorgaben:

- Innendurchmesser Di: 12.83 mm
- Aussendurchmesser Da: 70.00 mm
- Fugendurchmesser D1: 0.00 mm
- Schrumpmaß S1: 0.000 mm
- Fugendurchmesser D2: 0.00 mm
- Schrumpmaß S2: 0.000 mm
- Innendruck Pi: 0.0 MPa
- Fugendruck P1: MPa
- Fugendruck P2: MPa
- Konus-Winkel (für D1): 1.0 °
- Pressweg: mm

Vergleichsspannung [MPa]:

Tangentialspannung [MPa]:

Verengung (-) / Aufweitung (+): von Di mm von Da mm

Zusammenbau:

- (2.Schrupfring + 1.Schrupfring) <-> Einsatz
- (Einsatz + 1.Schrupfring) -> 2.Schrupfring
- Ohne Zwischenbearbeitung

Buttons: Neu Berechnung, Optimierung (Schrumpmaß), Optimierung (Gesamt), Optimierung (nur S1,D2,S2), Hilfe, Grafik

Footer: D:\CPM\easy2f\Ringvorlesung\Extrusion\12\_83-70\_00-2R3R.edo 01.12.2007 13:47

Matrizenauslegung  
(als 3-Ring-System)

## Umformsimulation in der Massivumformung Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel V: Extrusion in mehrfach armierter Fließpressmatrize

**23 mm Fugendurchm.**

**0,17 mm Schrumpfmaß**

**889 MPa Fugendruck**

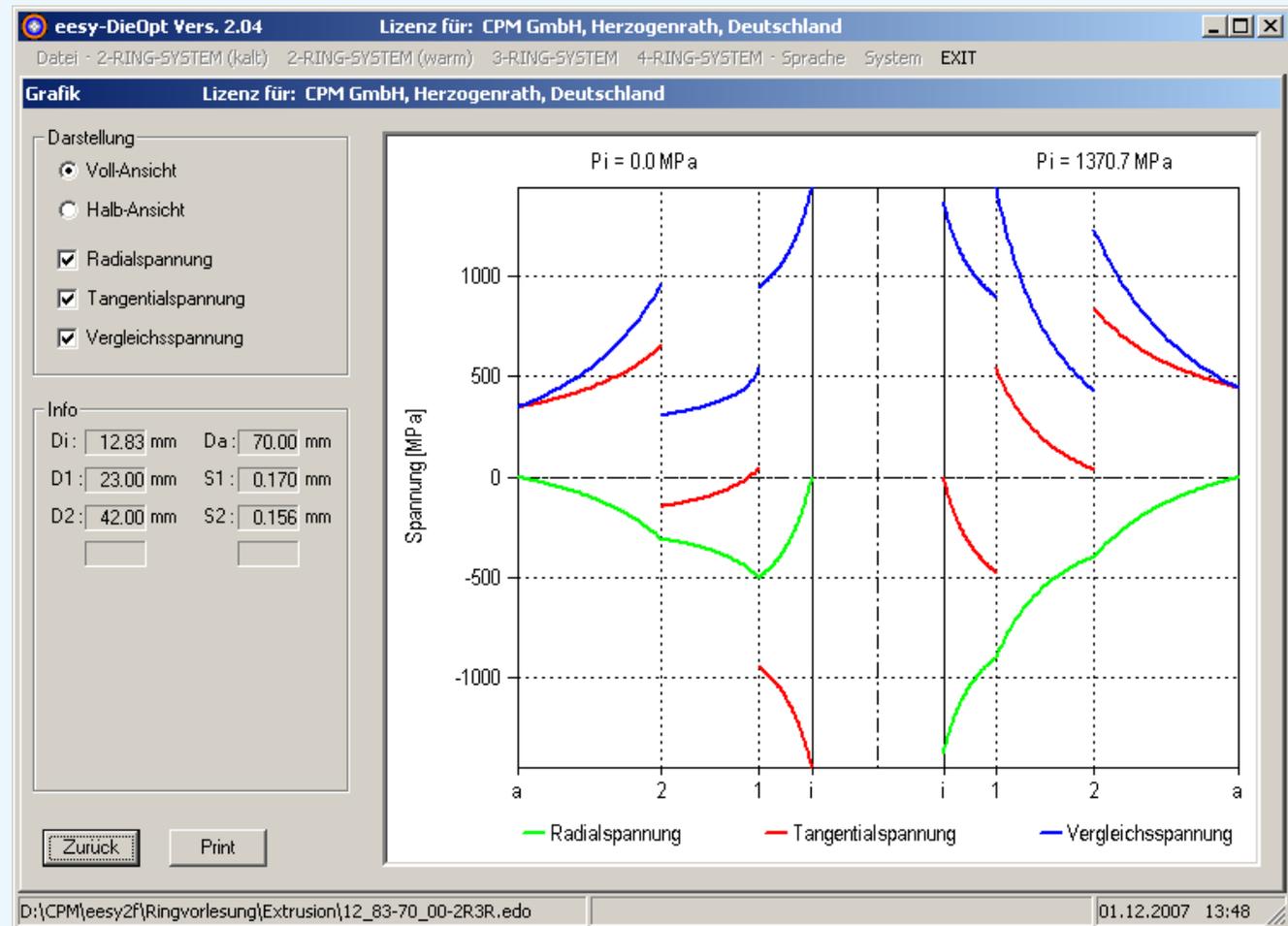
3-RING-SYSTEM		Einsatz	1. Schrumpfring	2. Schrumpfring
Innendurchmesser Di	12.83 mm	S-6-5-2 (M2)	1.2343, 52.1	1.2343, 48.0
Aussendurchmesser Da	70.00 mm			
<b>Fugendurchmesser D1</b>	<b>23.00</b> mm	Werkstoffname	S-6-5-2	X38CrMoV51
<b>Schrumpfmaß S1</b>	<b>0.170</b> mm	Werkstoffnummer	1.3343	1.2343
	7.4 0/00	E-Modul [MPa]	208000.	216000.
<b>Fugendurchmesser D2</b>	<b>42.00</b> mm	Poisson'sche Zahl [-]	0.28	0.28
<b>Schrumpfmaß S2</b>	<b>0.156</b> mm	Zugfestigkeit [MPa]		1800.0
	3.7 0/00	Streckgrenze [MPa]		1600.0
<b>Innendruck Pi</b>	<b>1370.7</b> MPa	Anlasstemperatur [°C]		550.
<b>Fugendruck P1</b>	<b>898.6</b> MPa	Vergleichsspannung [MPa]	1370.7	1440.0
<b>Fugendruck P2</b>	<b>394.6</b> MPa	Tangentialspannung [MPa]	0.0	541.4
Konus-Winkel (für D1)	1.0 °	Verengung (-) / Aufweitung (+): von Di 0.024 mm von Da 0.144 mm		
Pressweg	4.87 mm	<input checked="" type="radio"/> (2.Schrumpfring + 1.Schrumpfring) <- Einsatz <input type="radio"/> (Einsatz + 1.Schrumpfring) -> 2.Schrumpfring <input type="radio"/> Ohne Zwischenbearbeitung		

Matrizenauslegung (als 3-Ring-System) **nach erfolgter Optimierung**

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel V: Extrusion in mehrfach armierter Fließpressmatrize

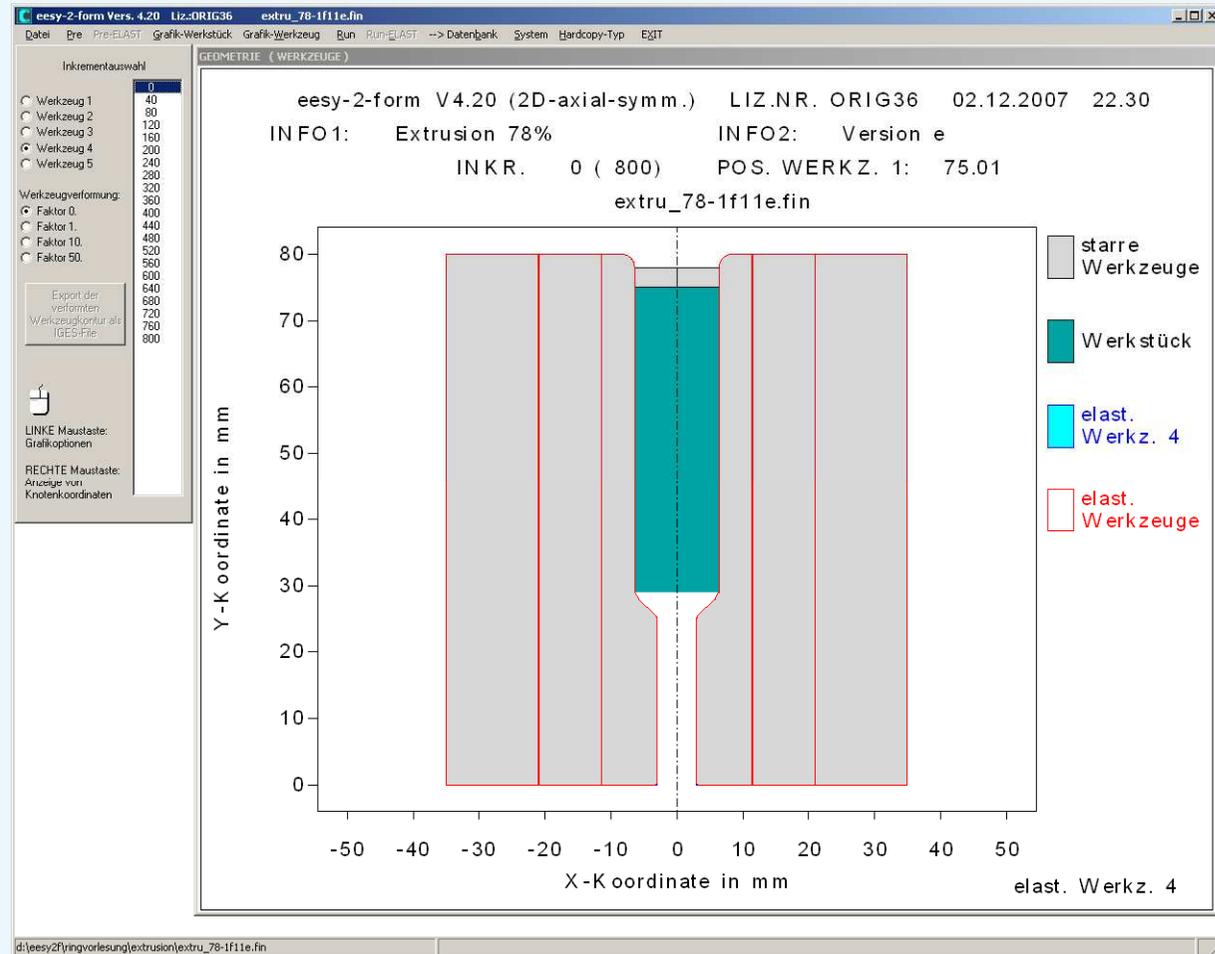


Spannungsverläufe in der Matrize, **Zusammenbau (li)**, unter **Last (re)**

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel V: Extrusion in mehrfach armierter Fließpressmatrize

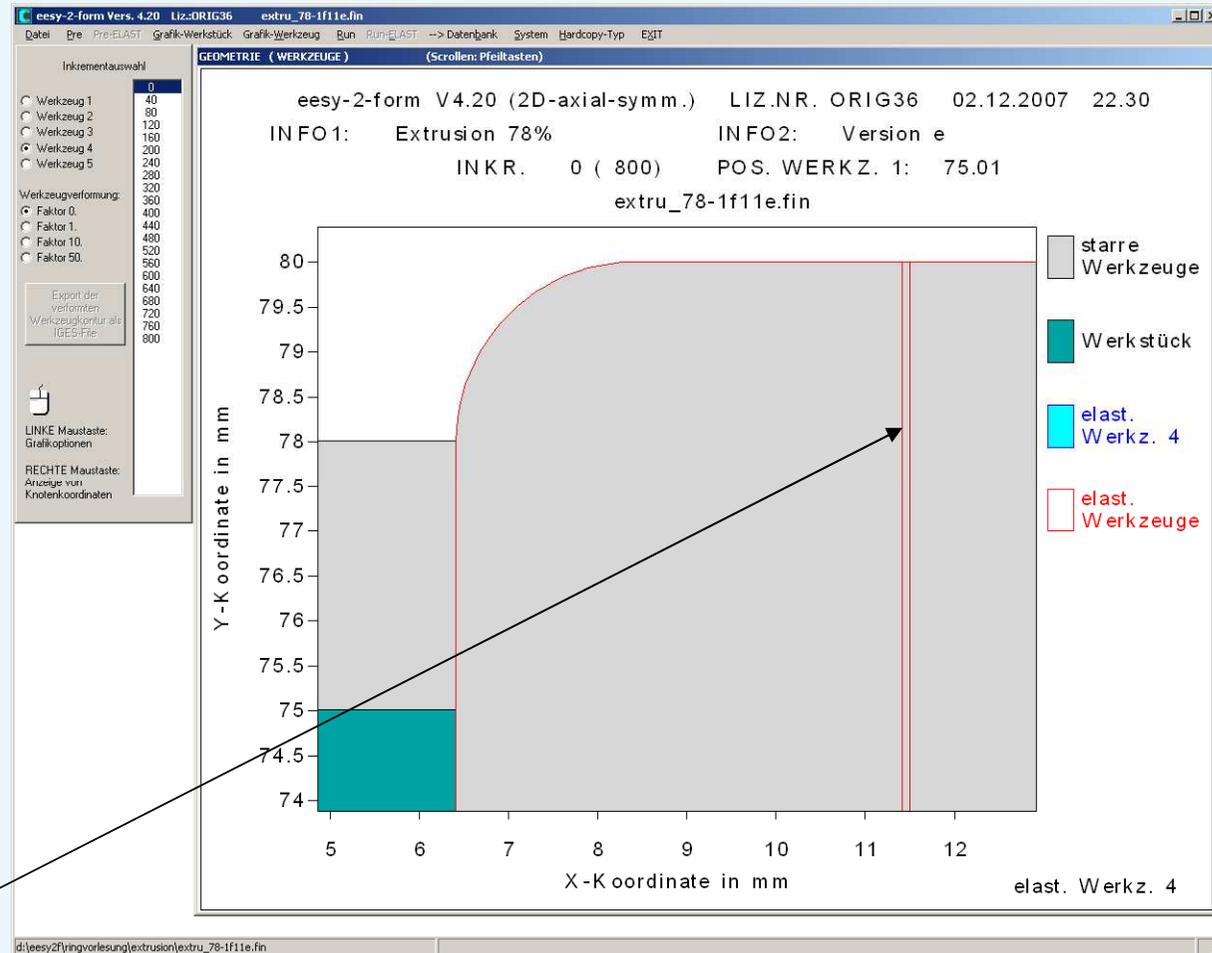


Umsetzung der Optimierung auf die reale Werkzeuggeometrie, **jetzt Matrize mit Teilungen etc.**

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

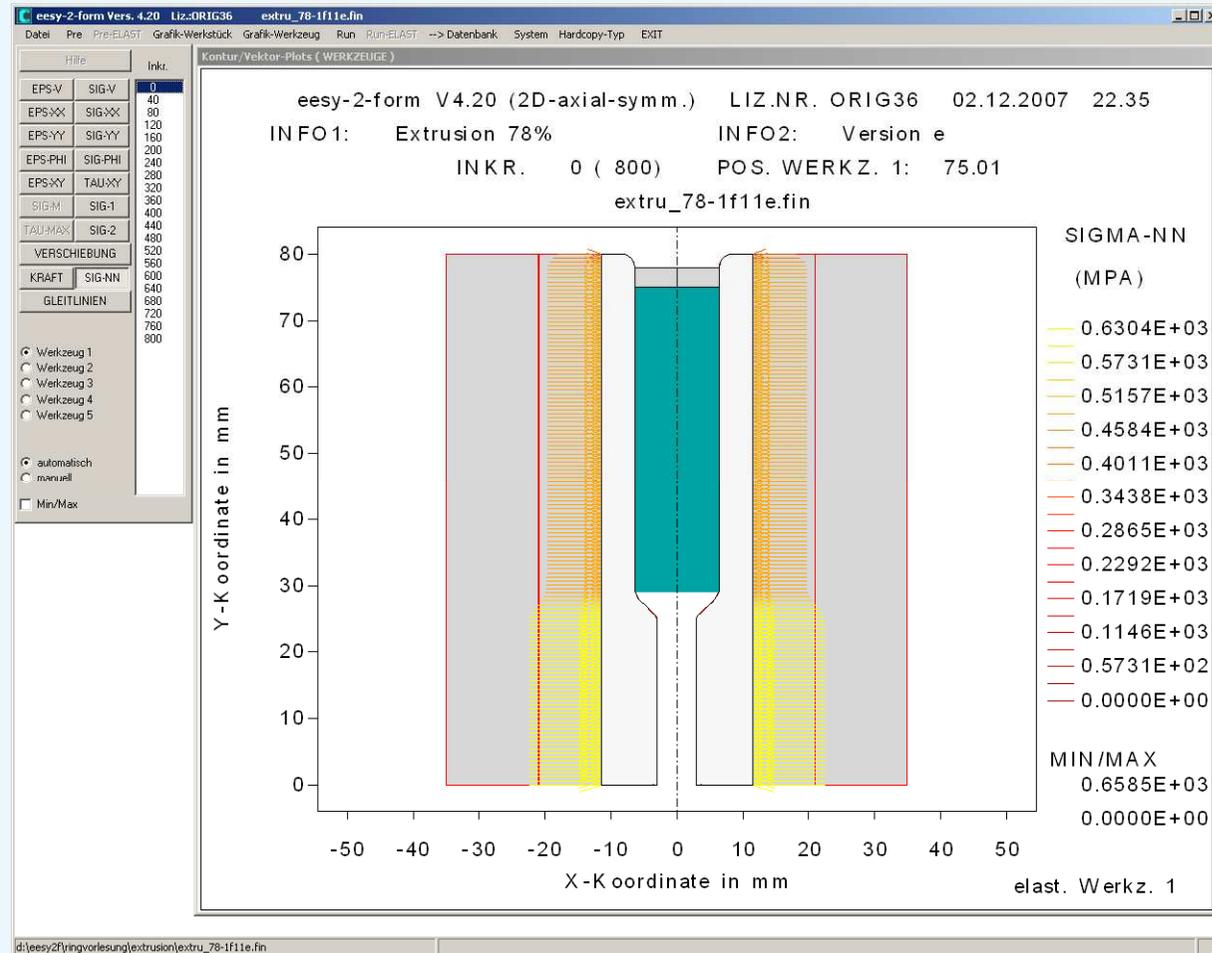
### Beispiel V: Extrusion in mehrfach armerter Fließpressmatrize



# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel V: Extrusion in mehrfach armierter Fließpressmatrize



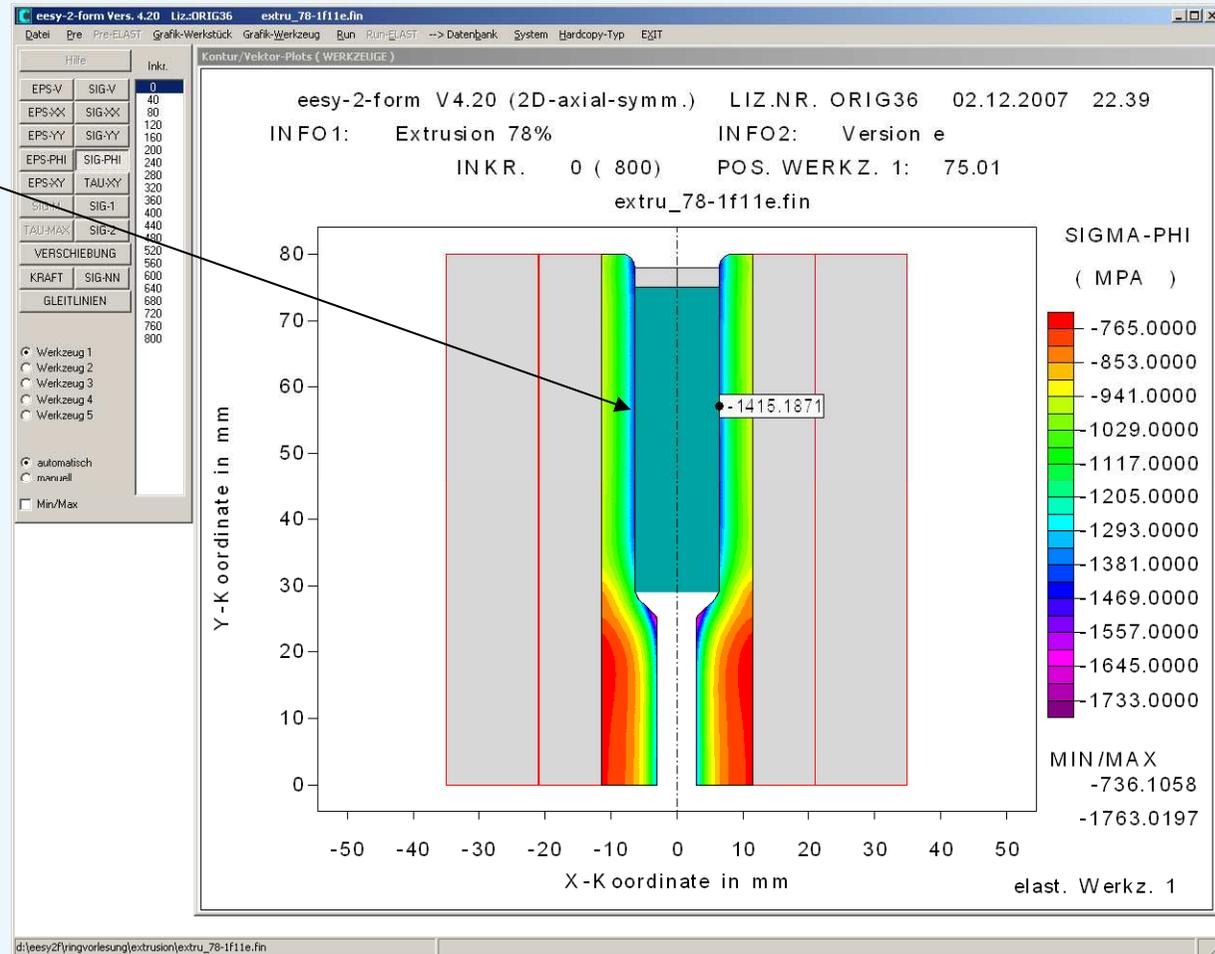
**Vorspannung** (Fugendruck) des Matrizenkerns **resultierend** aus dem **Untermaß**

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel V: Extrusion in mehrfach armierter Fließpressmatrize

- 1415 MPa (Druck !)

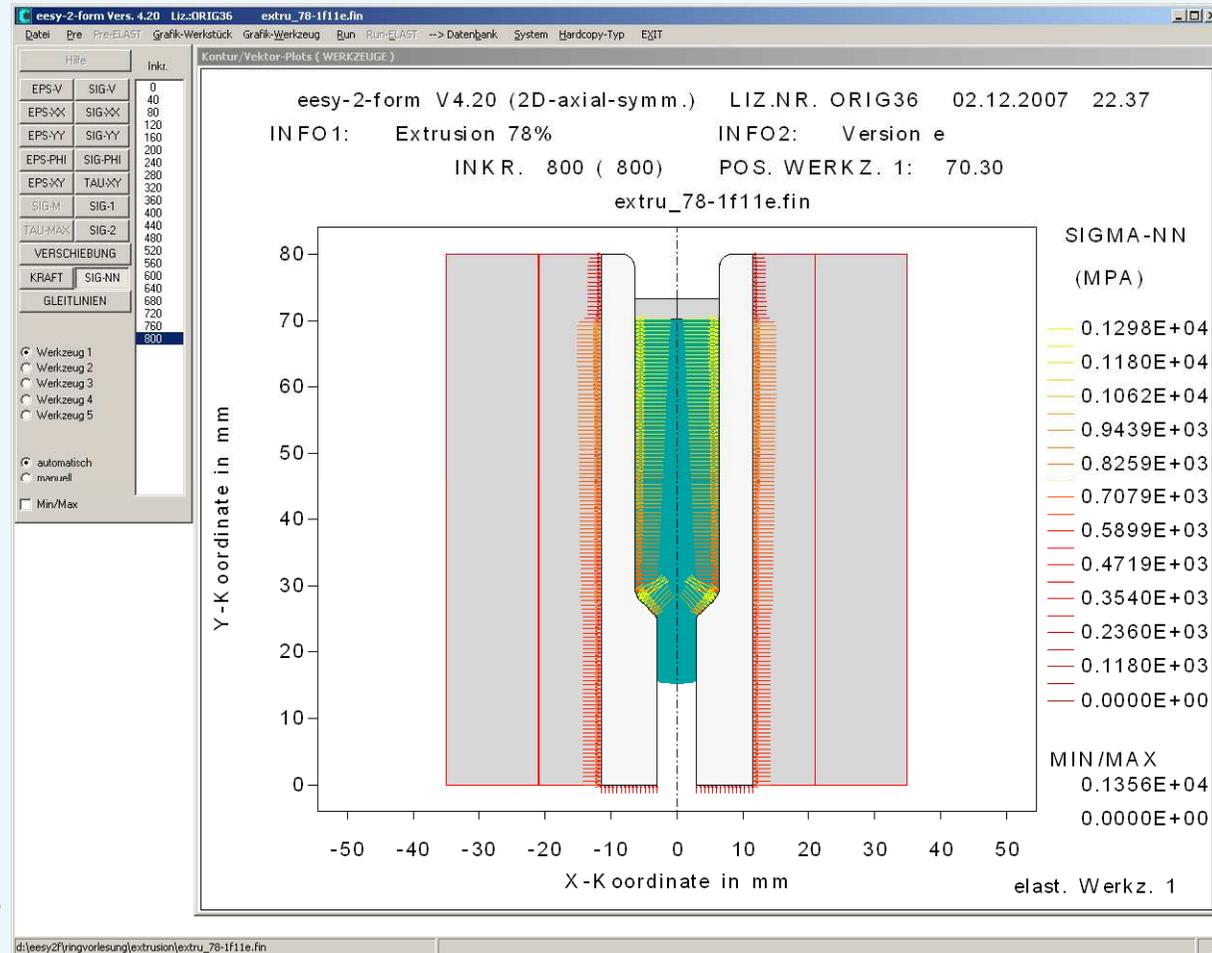


**Tangentiale Vorspannung  
 im Matrizenkern  
 (hohe Druckspannung)**

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel V: Extrusion in mehrfach armierter Fließpressmatrize

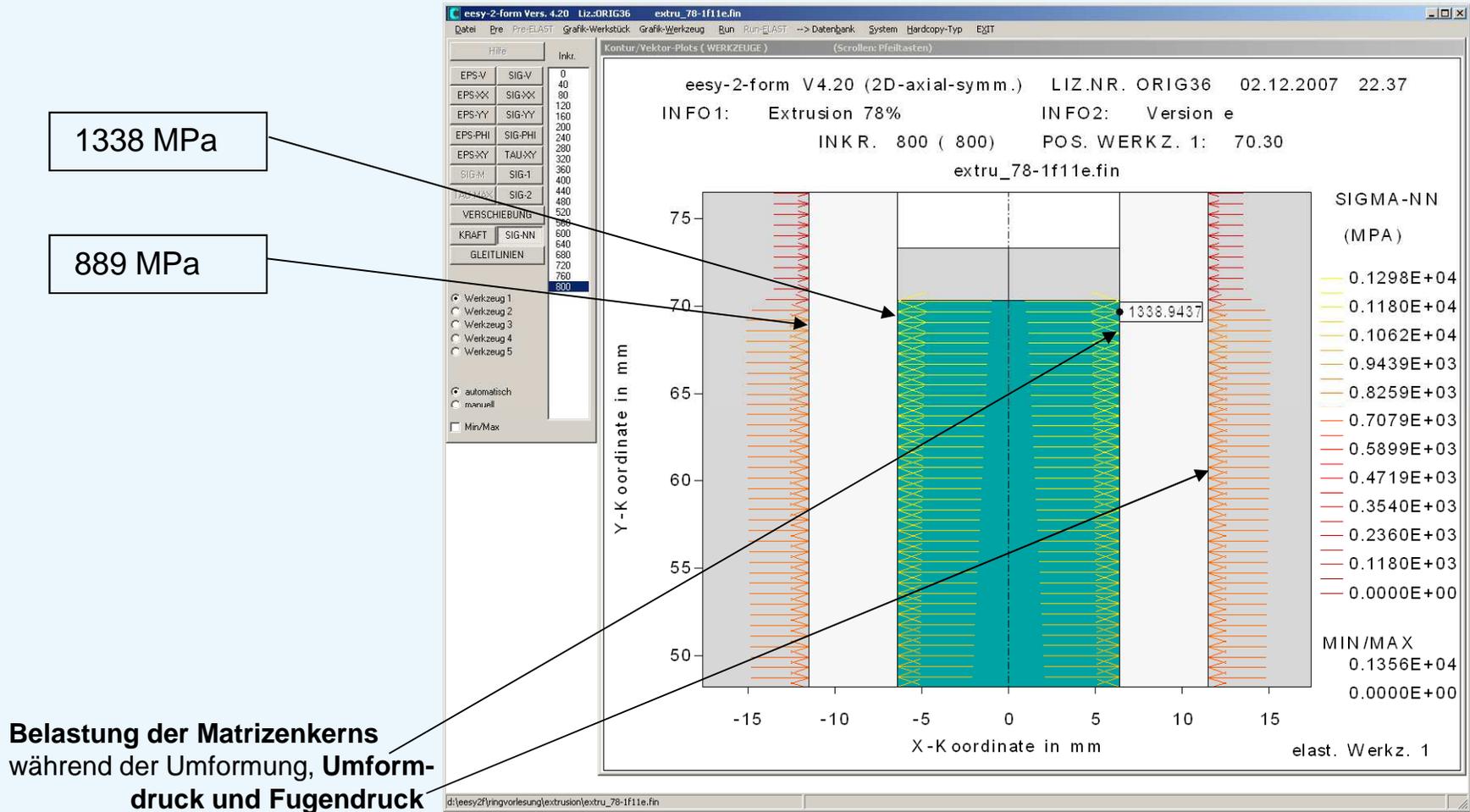


**Belastung der Matrizenkerns während der Umformung, Umformdruck und Fugendruck**

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel V: Extrusion in mehrfach armierter Fließpressmatrize

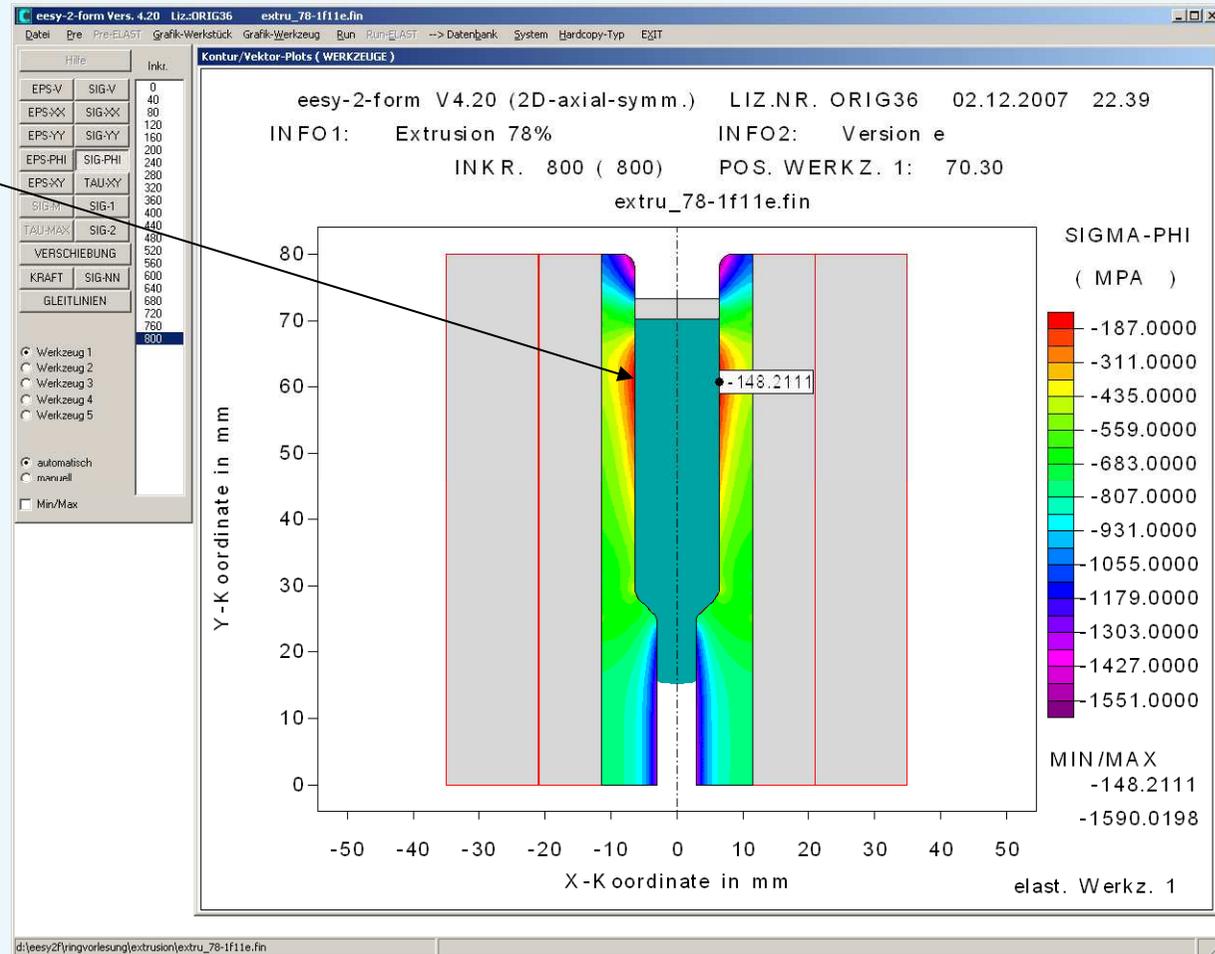


# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel V: Extrusion in mehrfach armierter Fließpressmatrize

- 148 MPa (Druck !)



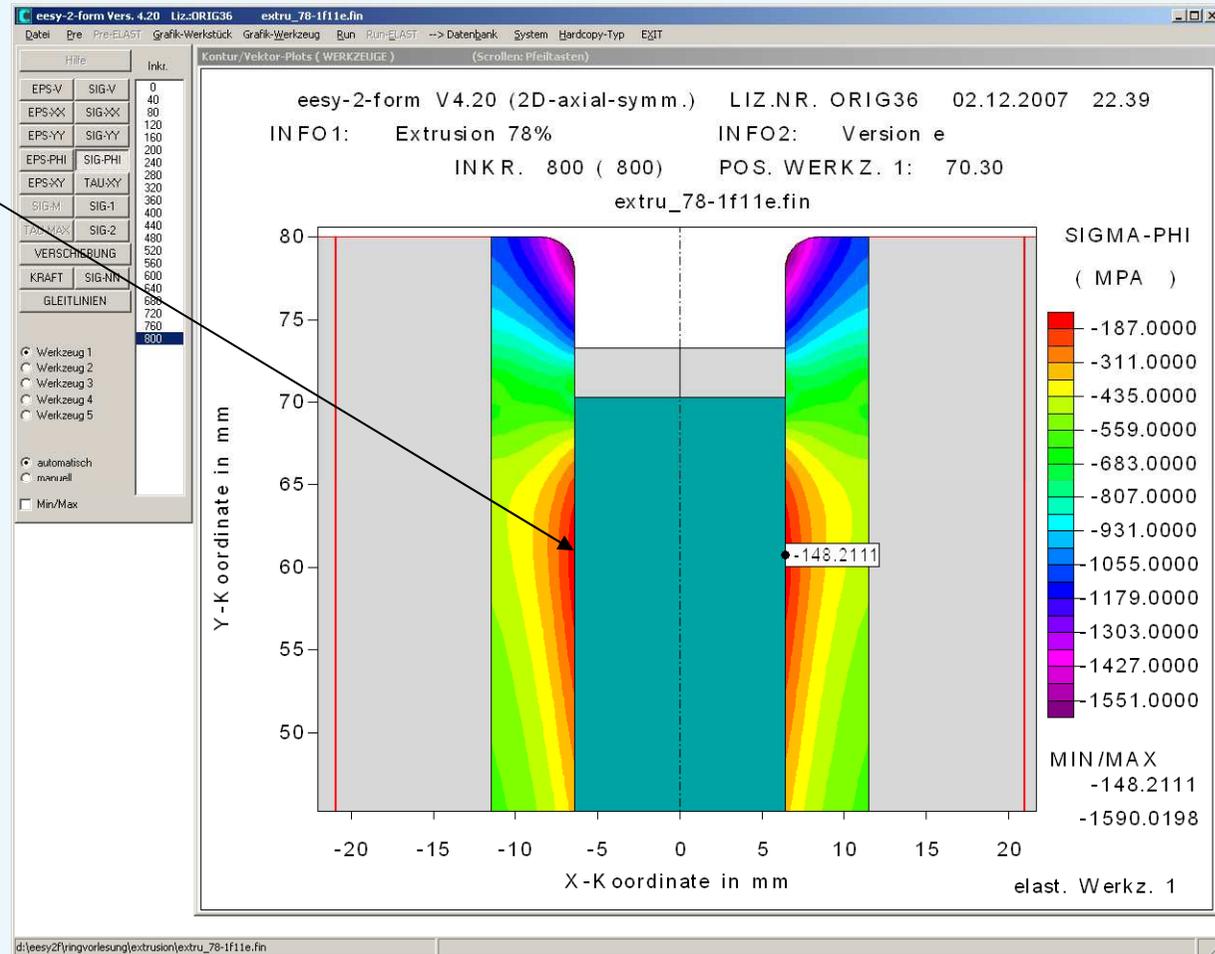
Tangentialspannung im Matrizenkern während der Umformung (jetzt Druckspannung !!!)

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Beispiel V: Extrusion in mehrfach armierter Fließpressmatrize

- 148 MPa (Druck !)



Tangentialspannung im Matrizenkern während der Umformung (jetzt Druckspannung !!!)

## *Umformsimulation in der Massivumformung*

### *Anspruch, Anwendung, Potential*

#### Beispiel V: Extrusion in mehrfach armierter Fließpressmatrize

##### **Fazit:**

Die Umformsimulation liefert realistische Werkzeuglasten, die es erlauben, präzise elastische Werkzeuganalysen (hier: für Matrizen) durchzuführen.

Ergebnisse für einfach- und mehrfach armierte Matrizen, gewonnen aus Programmen zur Matrizenoptimierung auf der Basis analytischer Ansätze, können übernommen werden.

Das Zusammenspiel von Umformsimulation und elastischer Analyse armierter Werkzeuge liefert ein sehr realistisches Abbild der Spannungs- und Belastungszustände von Umformwerkzeugen.

Der "hybride" Ansatz liefert damit eine sehr flexible und hochpräzise Bewertungs- und Optimierungsmöglichkeit.

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

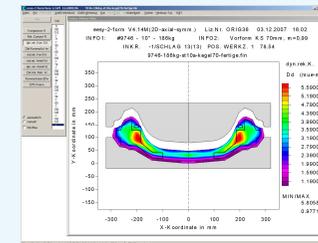
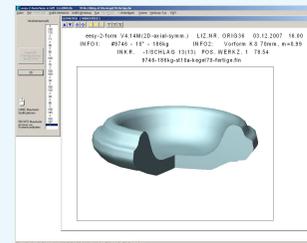
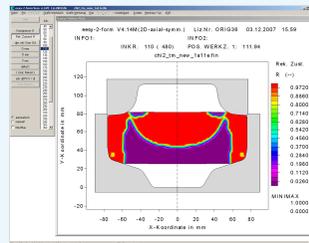
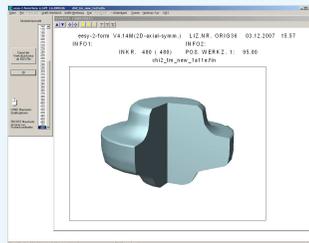
### Potential

Weitere Nutzung von Simulationsergebnissen

**Anwendungsbereich 1: Gefügevorderbestimmung (Warmumformung)**

Anwendungsbereich 2: Bauteilschädigung

Anwendungsbereich 3: Werkzeugverschleiß



# Umformsimulation in der Massivumformung

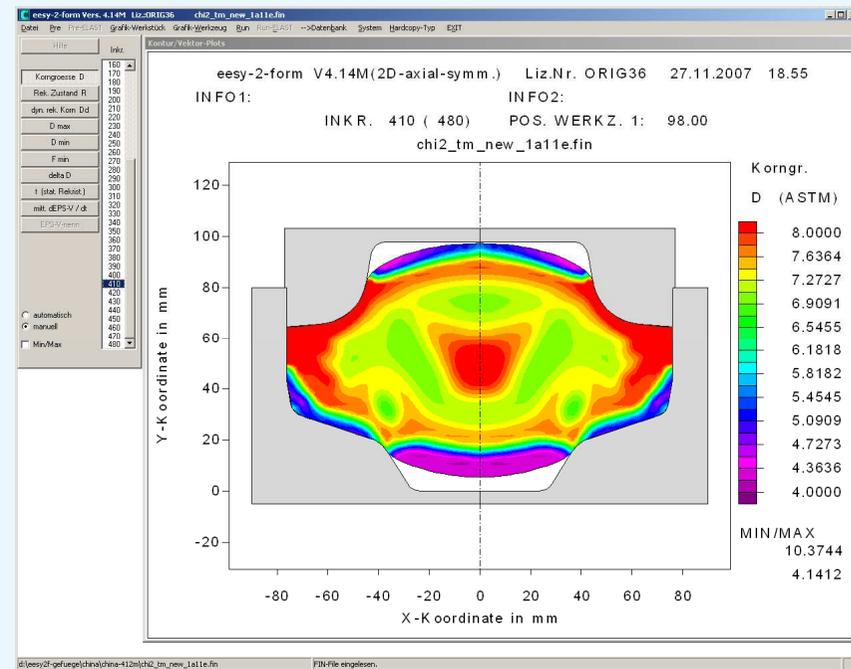
## Anspruch, Anwendung, Potential

Triebfeder für Gefügevorderbestimmungen

optimierte Eigenschaften durch gezielte Einstellung des gewünschten Gefüges

- Korngröße
- Rekristallisationsgrad
  - dynamisch rekrist. Anteil
  - statisch rekrist. Anteil
- Kornwachstum
- Pausen-/Erholungszeiten

Gewünschte Ergebnisgrößen



Korngrößenverteilung, etc.

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

### Typische Gefüge-Teilmodelle

#### 2. Modell für die statische Rekristallisation

$$D_{\text{stat. rek.}} = f(D_0, \epsilon, T, t, \text{etc.})$$

-> stat. rekristallisierte Korngröße

$$F_{\text{stat. rek.}} = f(\text{div. Prozeßparam.})$$

-> stat. rekristallisierte Fraktion

**Auftreten:** während der Pausen- bzw. Haltezeit  
nach vorausgegangener Umformung

**Besonderheiten:** eventuell vorzeitiger Rekristallisationsstop

#### 1. Modell für die dynamische Rekristallisation

$$D_{\text{dyn. rek.}} = f(D_0, \epsilon, \dot{\epsilon}, T, \text{etc.})$$

-> dyn. rekristallisierte Korngröße

$$F_{\text{dyn. rek.}} = f(\text{div. Prozeßparam.})$$

-> dyn. rekristallisierte Fraktion

**Auftreten:** während bzw. unmittelbar nach  
der Umformung

**Besonderheiten:** eventuell Ausbildung eines Duplex-Gefüges

#### 3. Modell für das Kornwachstum

$$\Delta D_{\text{xx}} = f(D_{\text{xx. rek.}}, T, t, \text{etc.}) \quad \text{mit } \text{xx} = \text{stat. oder dyn.}$$

-> Zuwachs des xx. rekristallisierten Korns

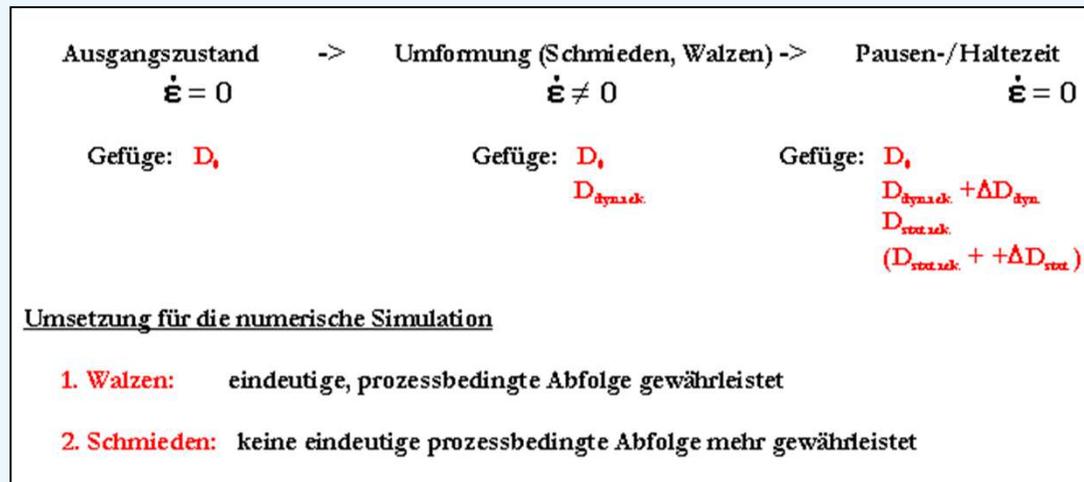
**Auftreten:** für  $\Delta D_{\text{dyn.}}$  : nach Abschluß der dynamischen  
Rekristallisation

für  $\Delta D_{\text{stat.}}$  : nach vollständiger statischer  
Rekristallisation des Restgefüges

**Besonderheiten:** ???

## Umformsimulation in der Massivumformung Anspruch, Anwendung, Potential

Typischer / theoretischer Ablauf einer Gefügebildung:



### Problem 1:

Einflussgrößen in den Gefügemodellen werden z.T. als zeitlich konstante Größen abgesetzt, im Schmiedeprozess erweisen sich diese Größen aber als lokal und zeitlich veränderliche Größen

### Problem 2:

Komplexes Zusammenspiel der einzelnen Gefügebildungsphasen, da keine eindeutige prozessbedingte Abfolge der einzelnen Gefüge-Teilmodelle in einem realen Schmiedevorgang vorliegt (Ausnahme: Walzprozess)

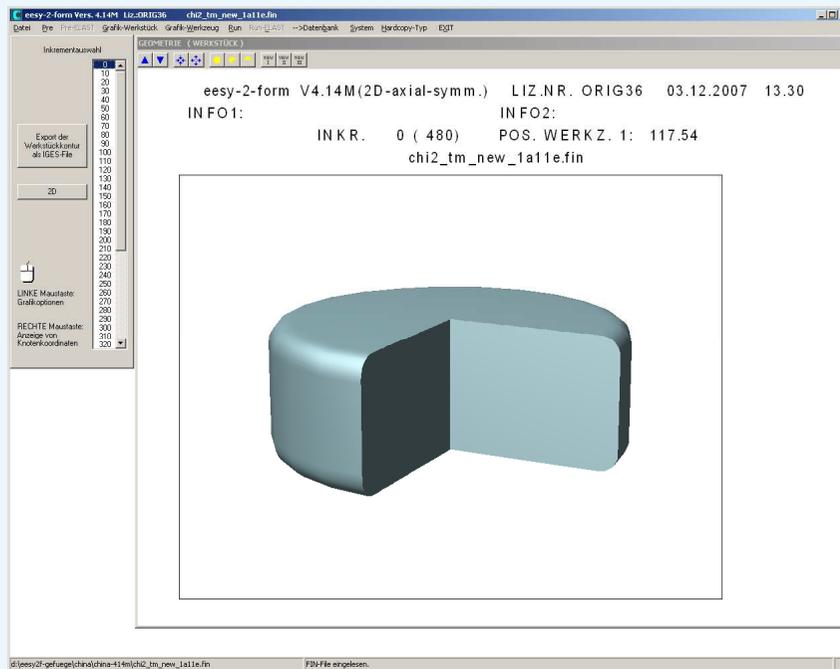
# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

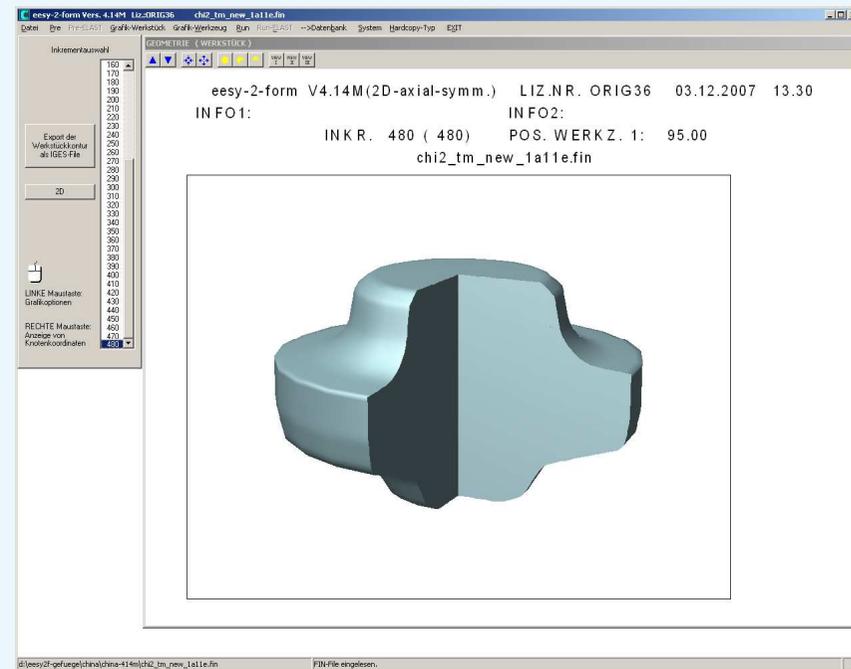
### Anwendung I: Einstufige Schmiedeoperation

Scheibe aus Inconel 718, Einsatztemperatur: 1020°C

(Gefügemodell: "Inco718 bei hoher Umformgeschwindigkeit")



Ausgangsgeometrie (Pancake)



Endgeometrie

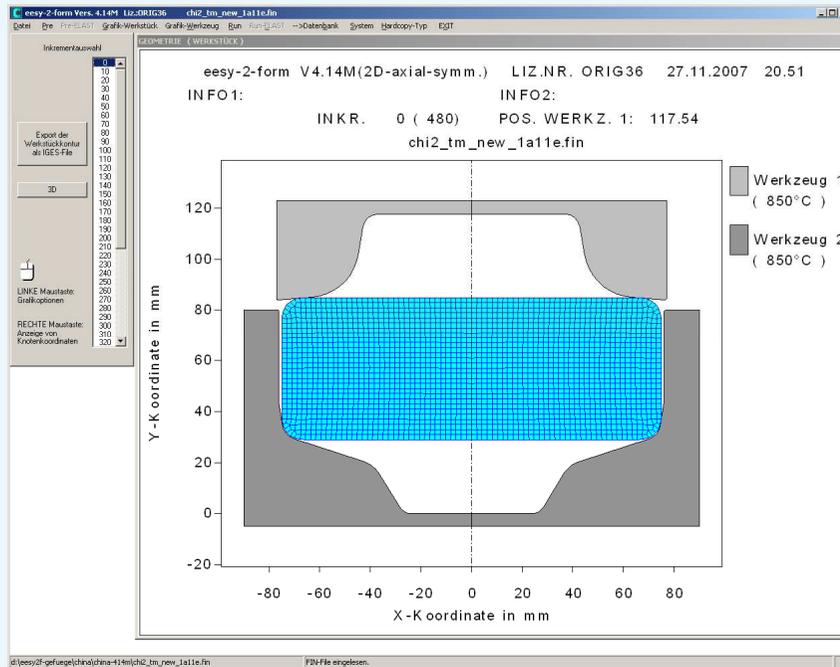
# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

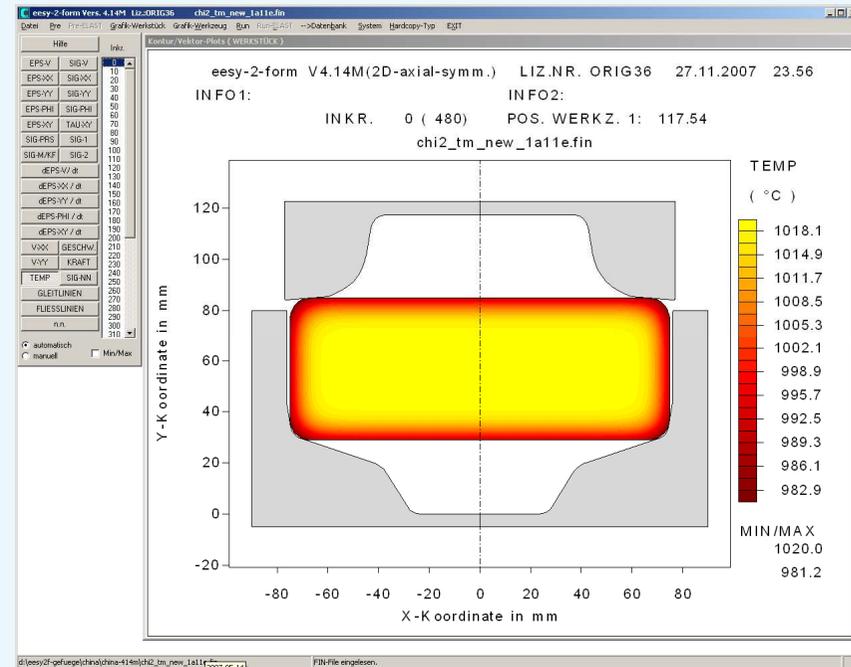
### Anwendung I: Einstufige Schmiedeoperation

Scheibe aus Inconel 718, Einsatztemperatur: 1020°C

(Gefügemodell: "Inco718 bei hoher Umformgeschwindigkeit")



Ausgangsgeometrie der Scheibe



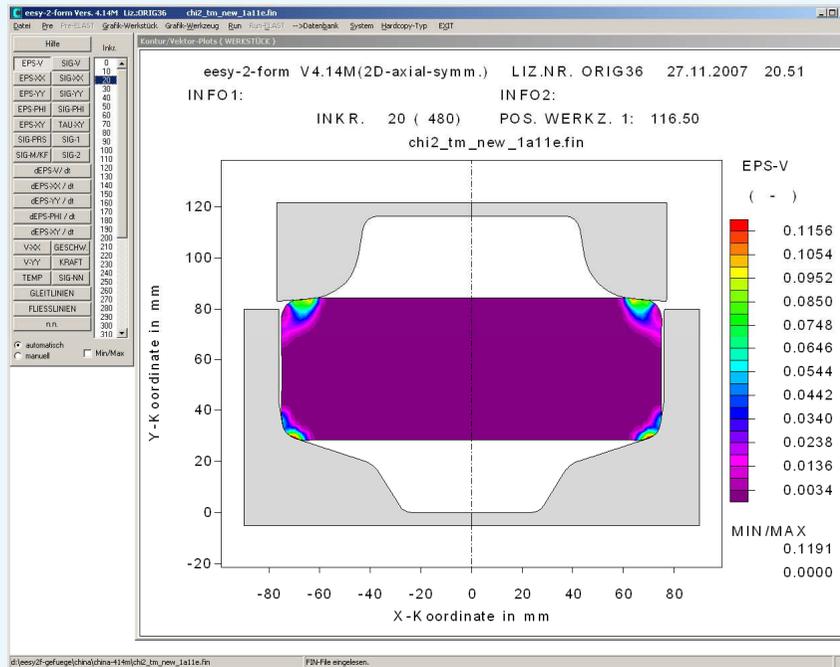
Ausgangstemperaturverteilung  
(nach Aufheizung auf 1020°C  
und Transport in die Presse)

# Umformsimulation in der Massivumformung

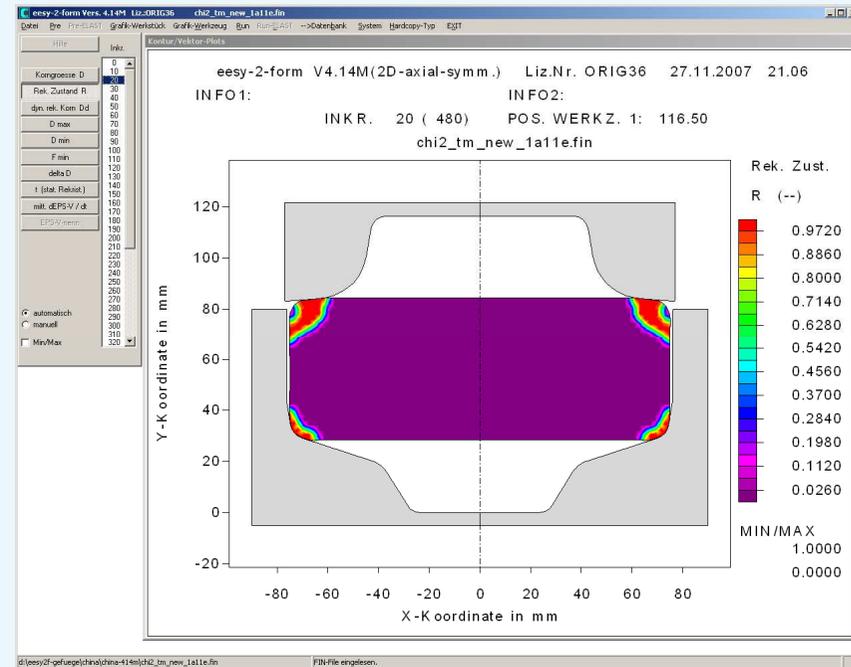
## Anspruch, Anwendung, Potential

### Anwendung I: Einstufige Schmiedeoperation

Umformung und dadurch bedingte Gefügeveränderung (Rekristallisationsgrad) nach 5% Pressenweg



Umformgradverteilung



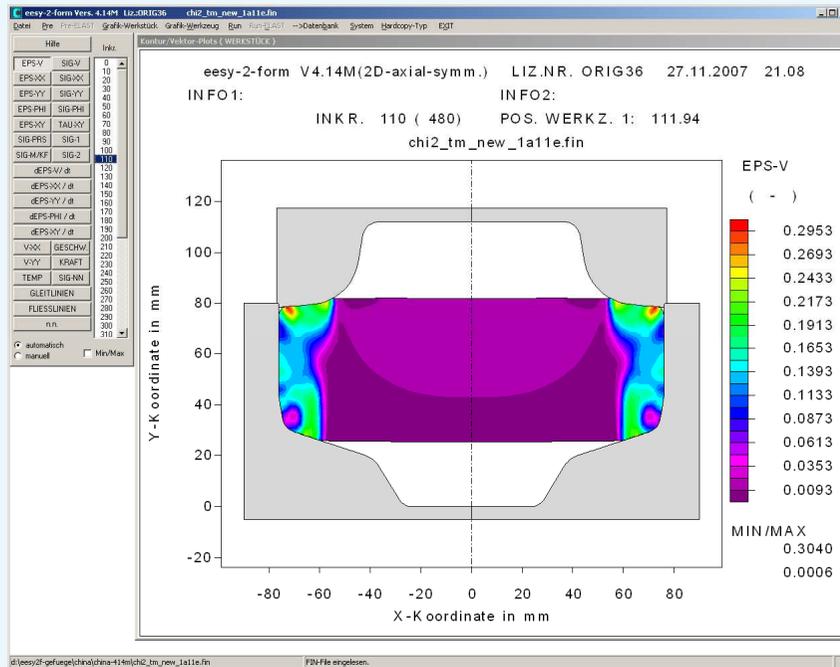
Rekristallisationsfront

# Umformsimulation in der Massivumformung

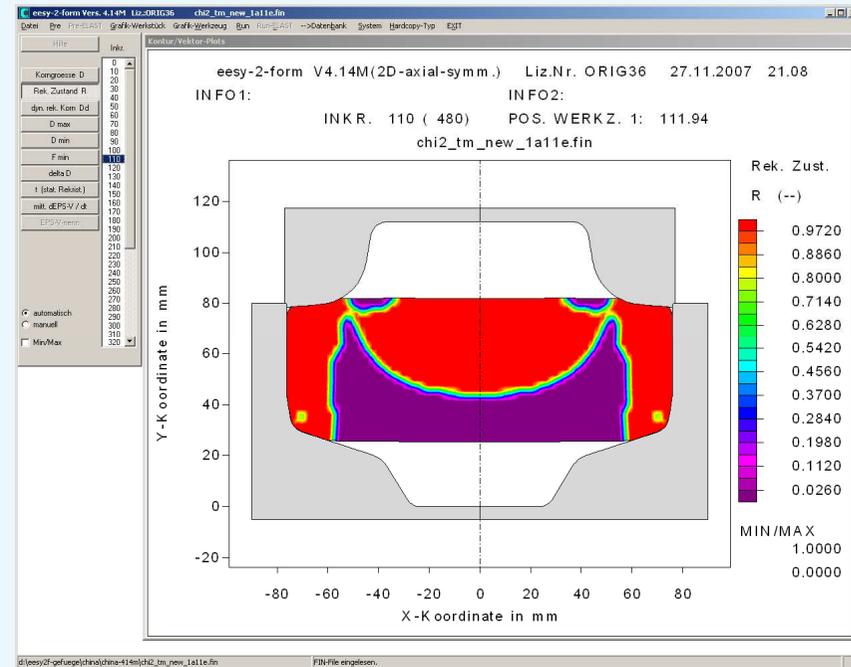
## Anspruch, Anwendung, Potential

### Anwendung I: Einstufige Schmiedeoperation

Umformung und dadurch bedingte Gefügeveränderung (Rekristallisationsgrad) nach 25% Pressenweg



Umformgradverteilung



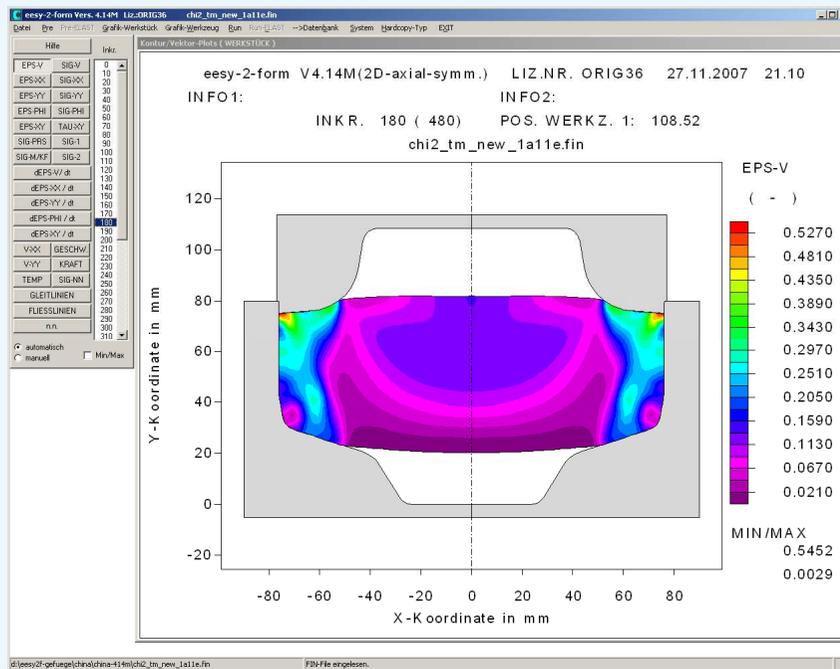
Rekristallisationsfront

# Umformsimulation in der Massivumformung

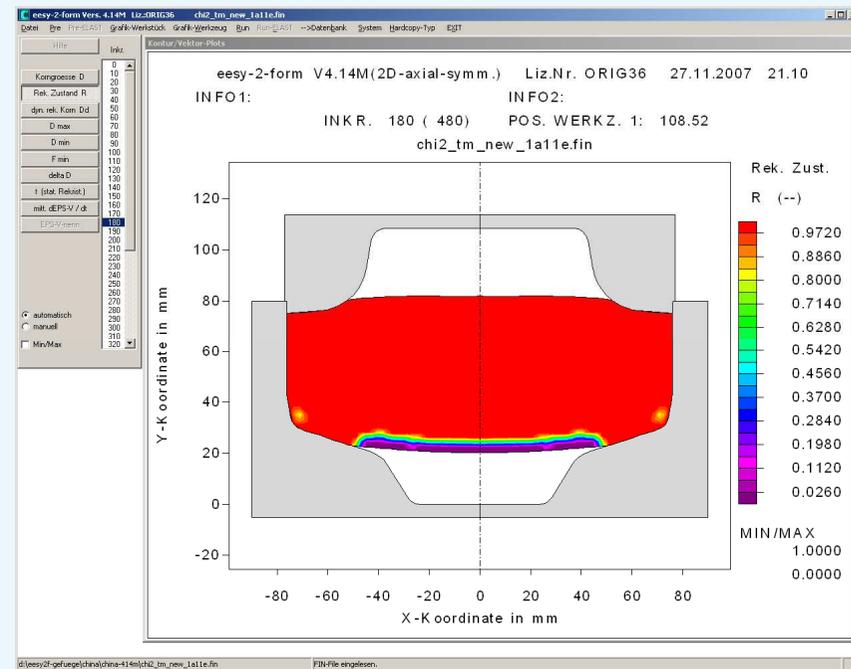
## Anspruch, Anwendung, Potential

### Anwendung I: Einstufige Schmiedeoperation

Umformung und dadurch bedingte Gefügeveränderung (Rekristallisationsgrad)  
nach 40% Pressenweg



Umformgradverteilung

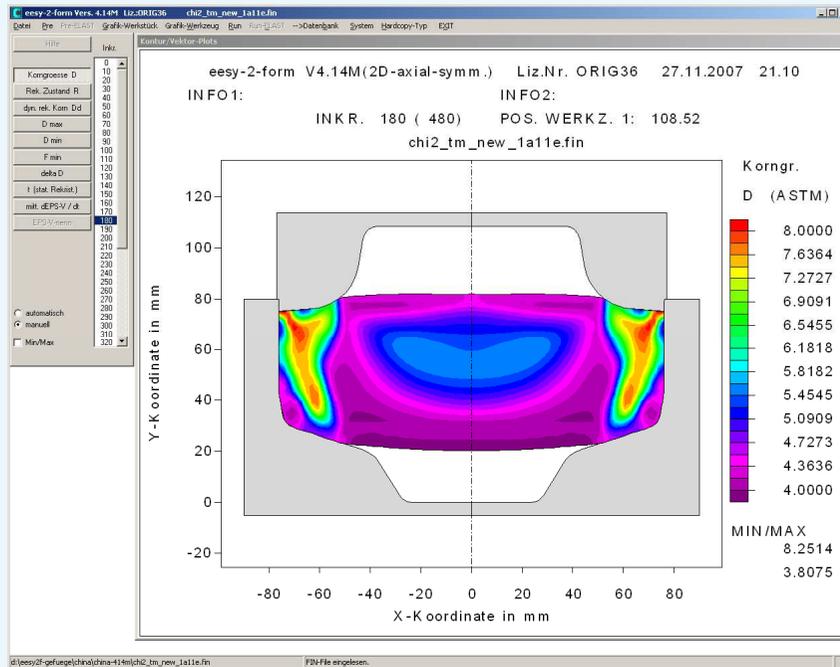


Rekristallisationsfront

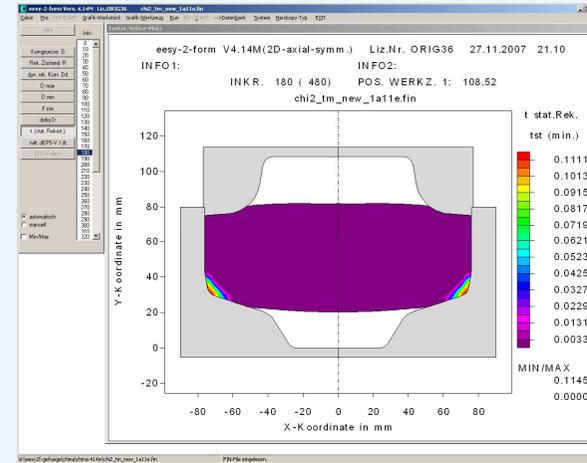
# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

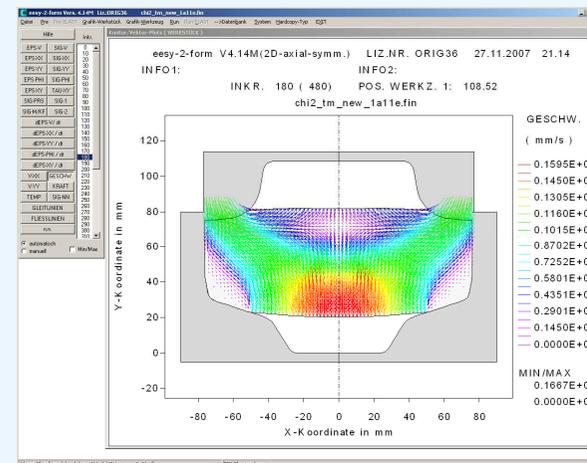
Anwendung I: Einstufige Schmiedeoperation  
 Exemplarische Gefügeergebnisse:  
 (nach 40% Pressenweg)



Korndurchmesser



Zeit in der statischen Rekristallisation

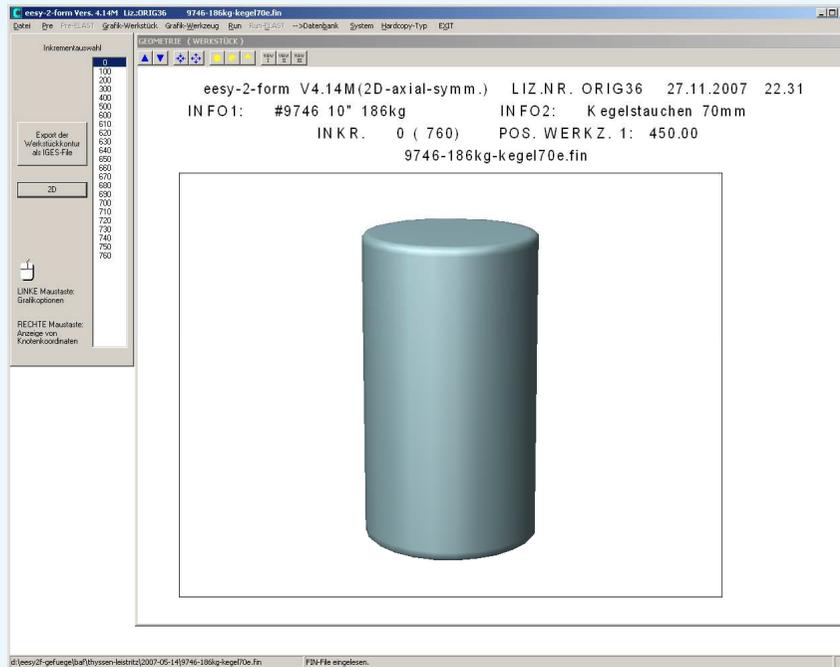


Materialfluss mit 'toter' Zone

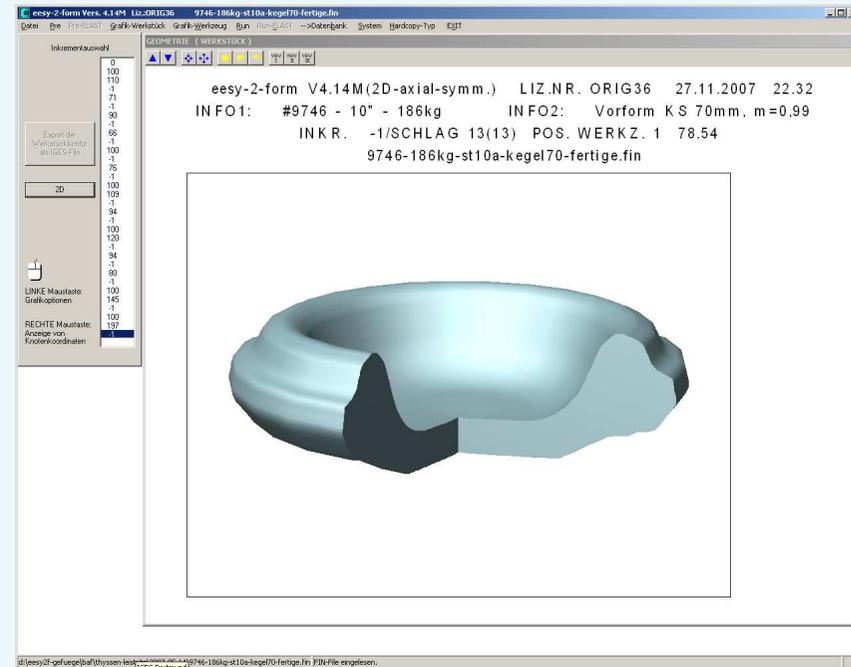
# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

Anwendung II: Hochdruckverdichterscheibe aus Inconel 718, vier Prozessschritte  
(Gefügemodell: "Superlegierung Inconel 718")



Ausgangsgeometrie (Billet)



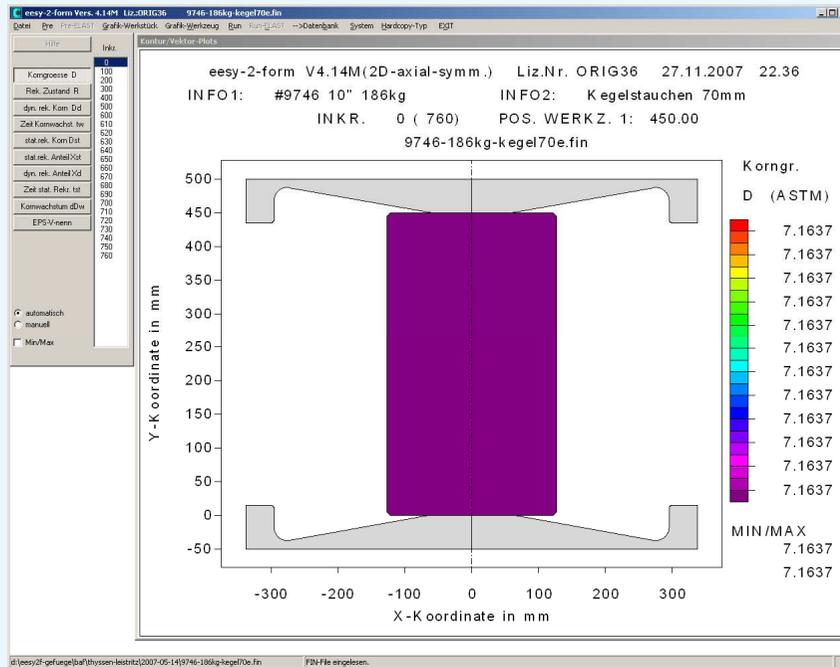
Endgeometrie

# Umformsimulation in der Massivumformung

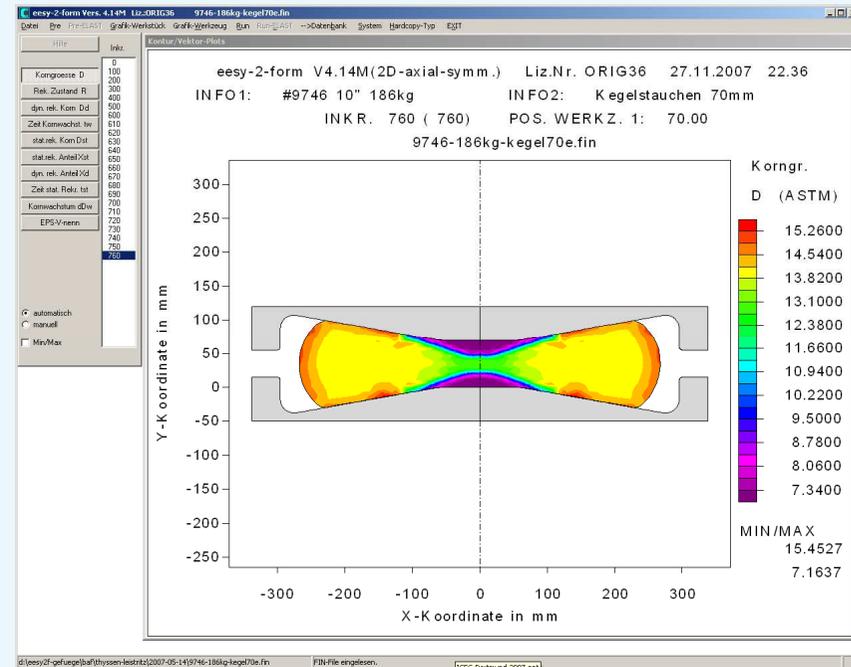
## Anspruch, Anwendung, Potential

### Prozessschritt 1: Kegelstauchen auf hydraulischer Presse, (exemplarische Ergebnisse 1)

Umformung bei ausreichend hoher Temperatur löst Rekristallisationsvorgänge aus  
=> Veränderung der Ausgangskorngröße



Ausgangsgeometrie mit  
Korngröße ASTM 7



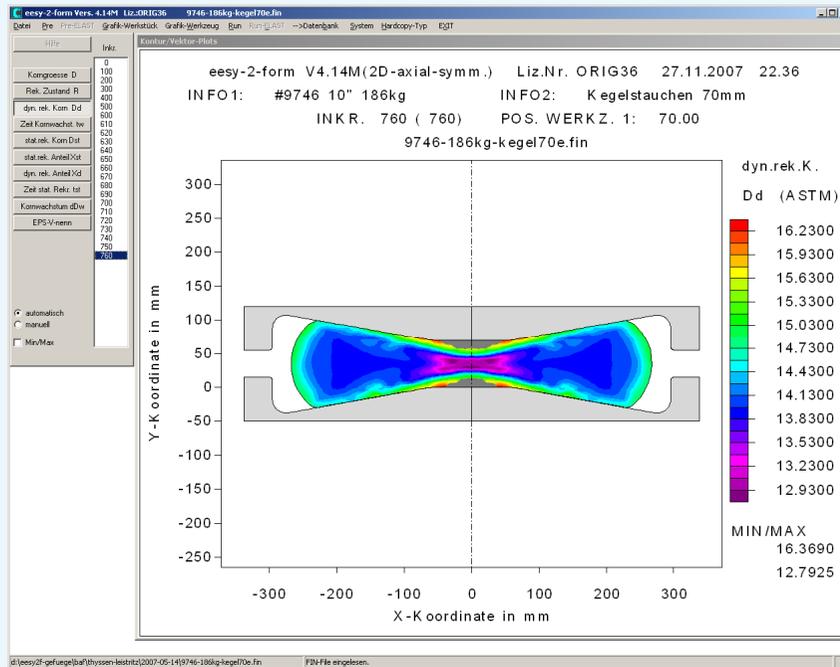
Korngrößenverteilung  
nach dem Kegelstauchen

# Umformsimulation in der Massivumformung

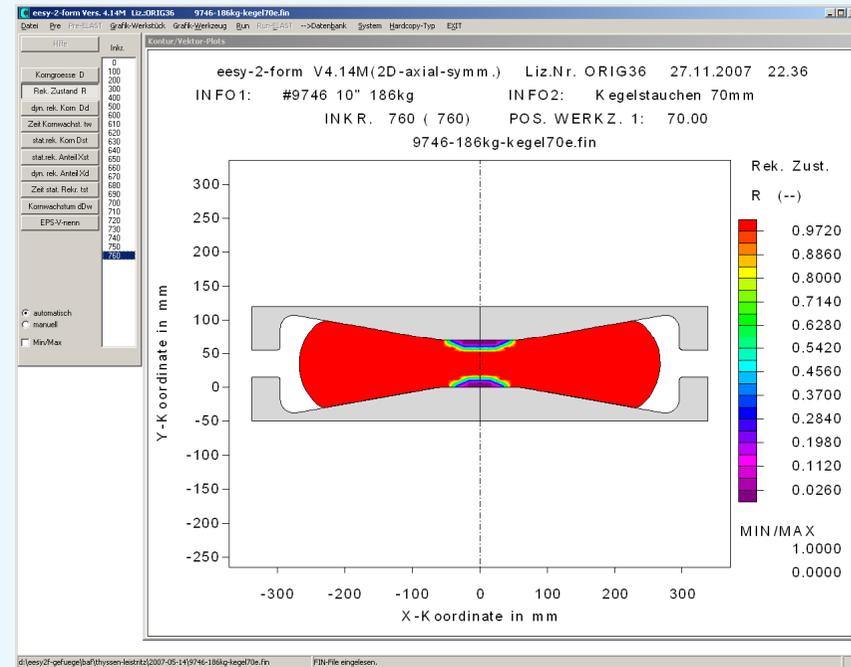
## Anspruch, Anwendung, Potential

### Prozessschritt 1: Kegelstauchen auf hydraulischer Presse, (exemplarische Ergebnisse 2)

Dynamische Rekristallisation als wesentlicher Gefügebildungsprozess; kleine noch nicht rekristallisierte Bereiche oben und unten in der Mitte des Schmiedeteils



Dynamisch rekristallisiertes Korn nach dem Kegelstauchen



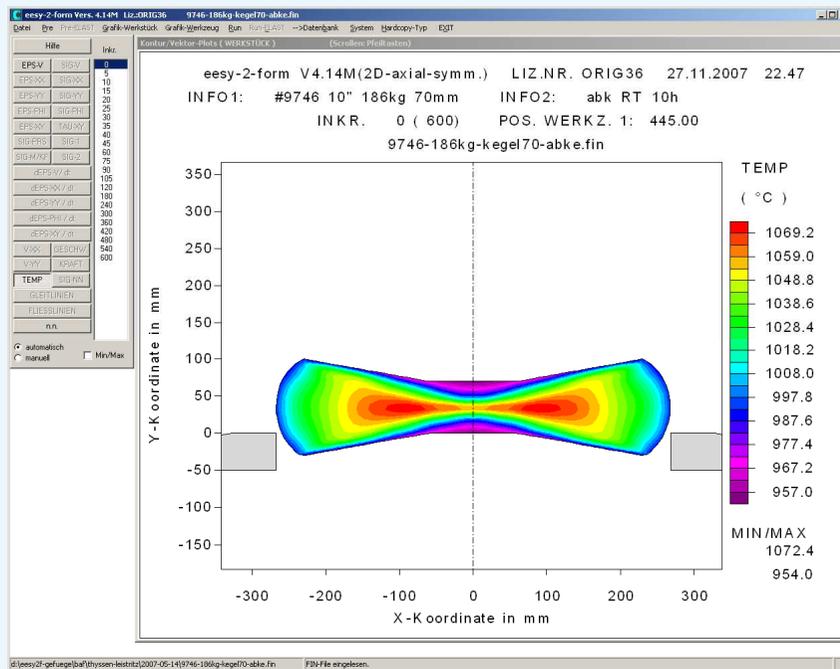
Rekristallisationsfront am Ende des Kegelstauchens

# Umformsimulation in der Massivumformung

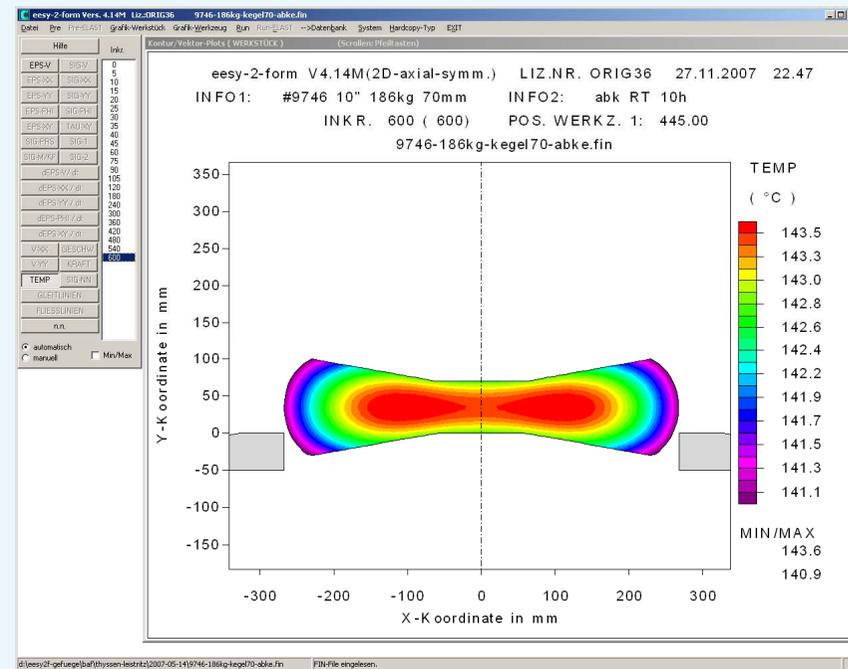
## Anspruch, Anwendung, Potential

Prozessschritt 2: Abkühlen, 10 Stunden bei 20°C, (exemplarische Ergebnisse 1)

Vorrangegangene Umformung und Teilkristallisation kann bei noch ausreichend hoher Temperatur statische Rekristallisation und/oder Kornwachstum auslösen



Temperaturverteilung zu Beginn der Abkühlphase



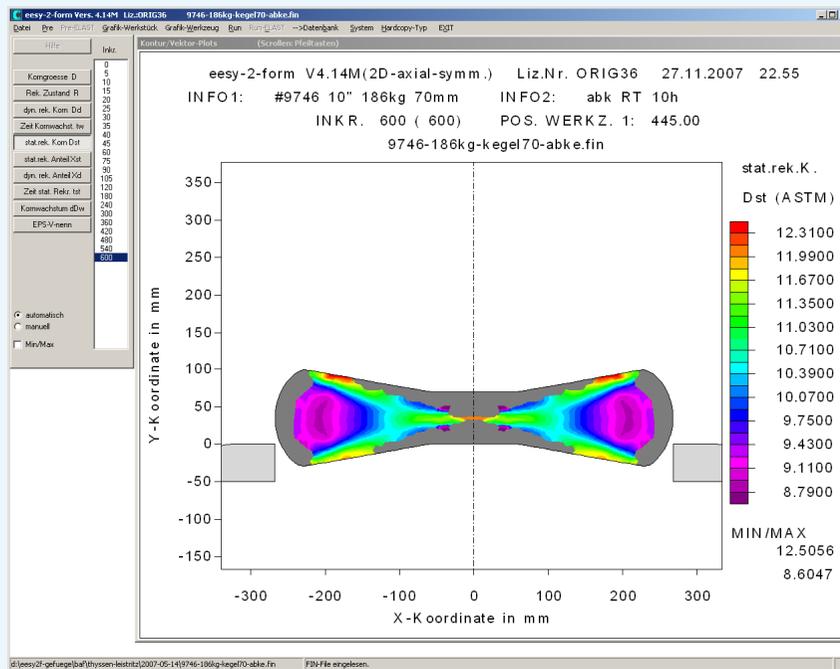
Temperaturverteilung am Ende der Abkühlphase

# Umformsimulation in der Massivumformung

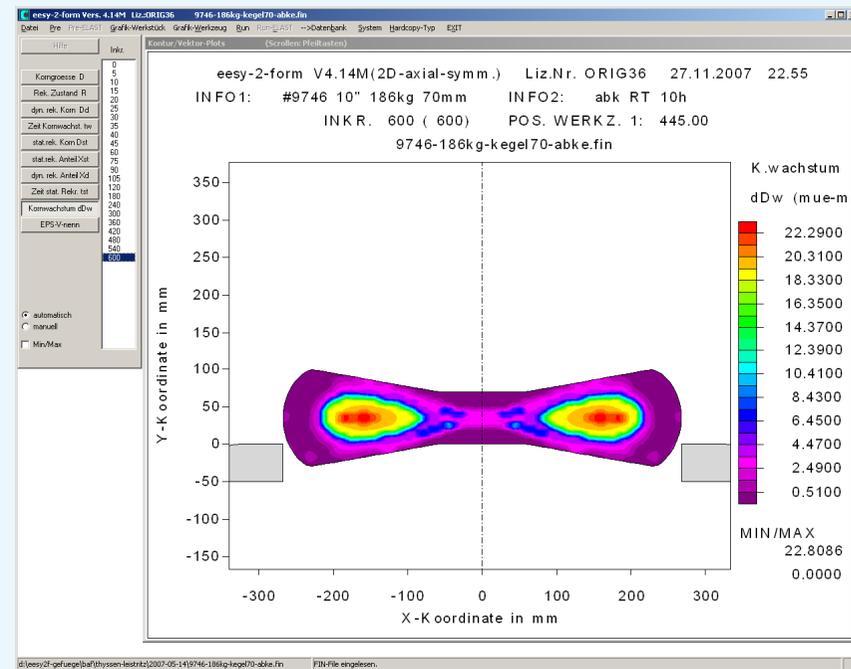
## Anspruch, Anwendung, Potential

Prozessschritt 2: Abkühlen, 10 Stunden bei 20°C, (exemplarische Ergebnisse 2)

Statische Rekristallisation als wesentlicher Gefügebildungsprozess; Kornwachstum möglich in vollständig rekristallisierten Bereichen



Statisch rekristallisiertes Korn am Ende der Abkühlphase



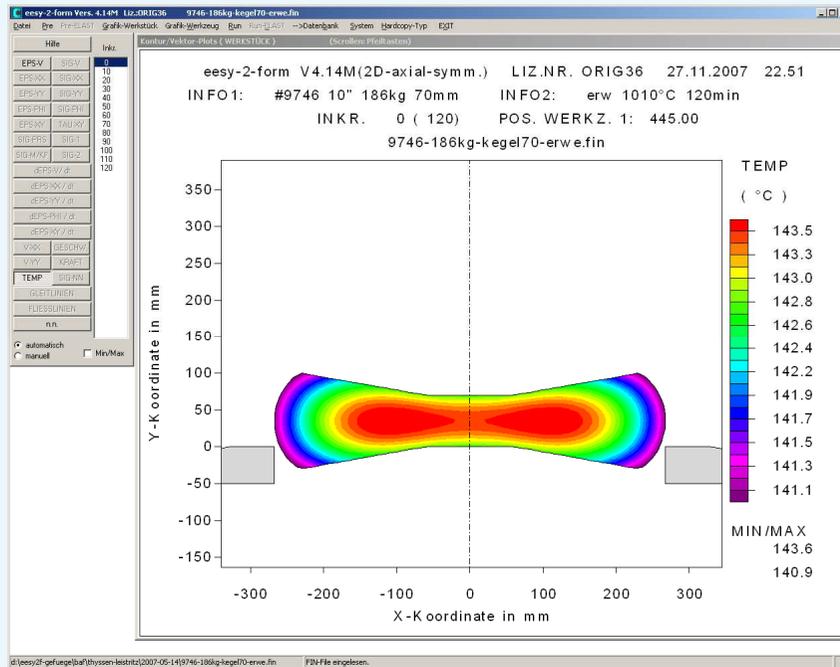
Erfolgtes Kornwachstum am Ende der Abkühlphase

# Umformsimulation in der Massivumformung

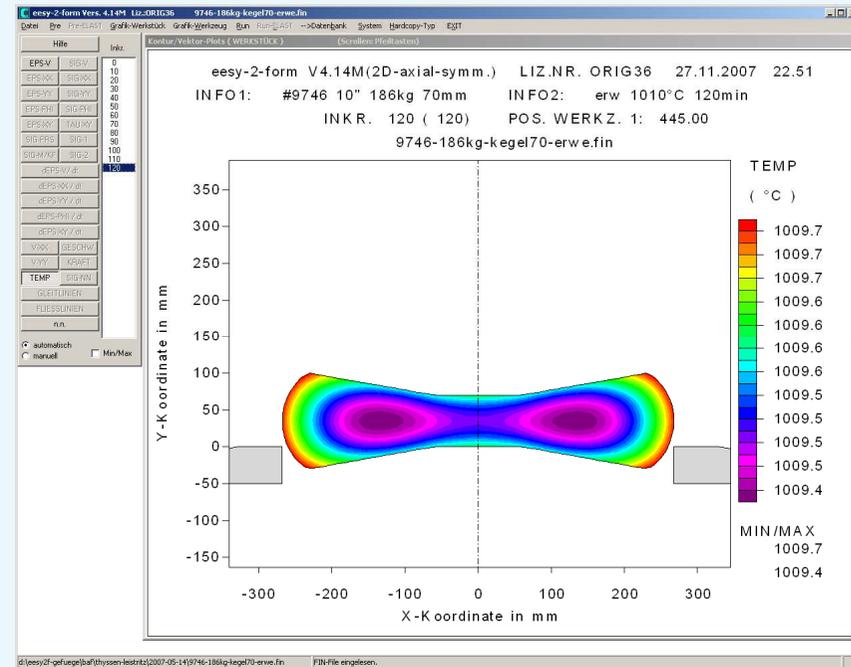
## Anspruch, Anwendung, Potential

Prozessschritt 3: Wiedererwärmen, 2 Stunden bei 1010°C, (exemplarische Ergebnisse 1)

Bei Erreichen genügend hoher Temperatur kann es zum Wiedereinsetzen von statischer Rekristallisation und/oder Kornwachstum kommen



Temperaturverteilung zu Beginn des Wiedererwärmens



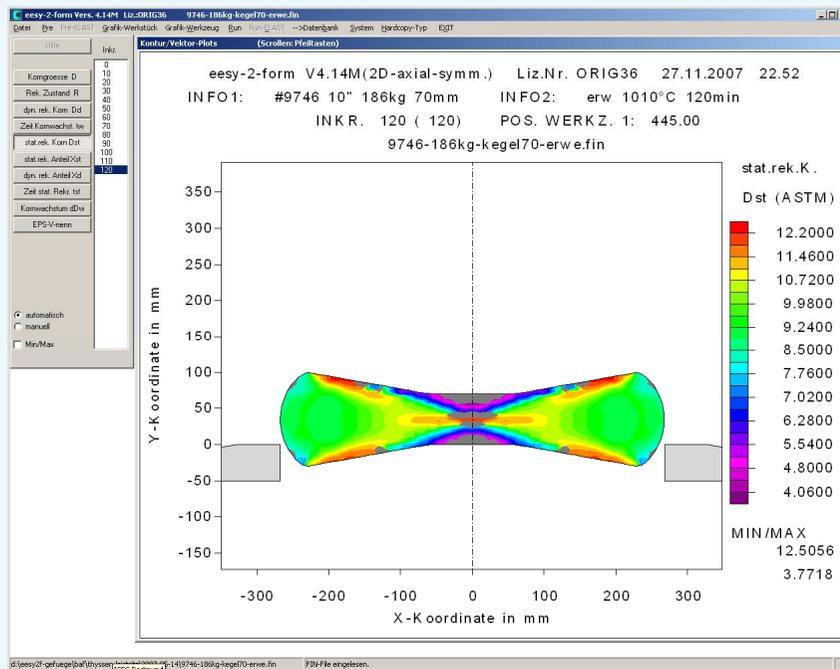
Temperaturverteilung am Ende des Wiedererwärmens

# Umformsimulation in der Massivumformung

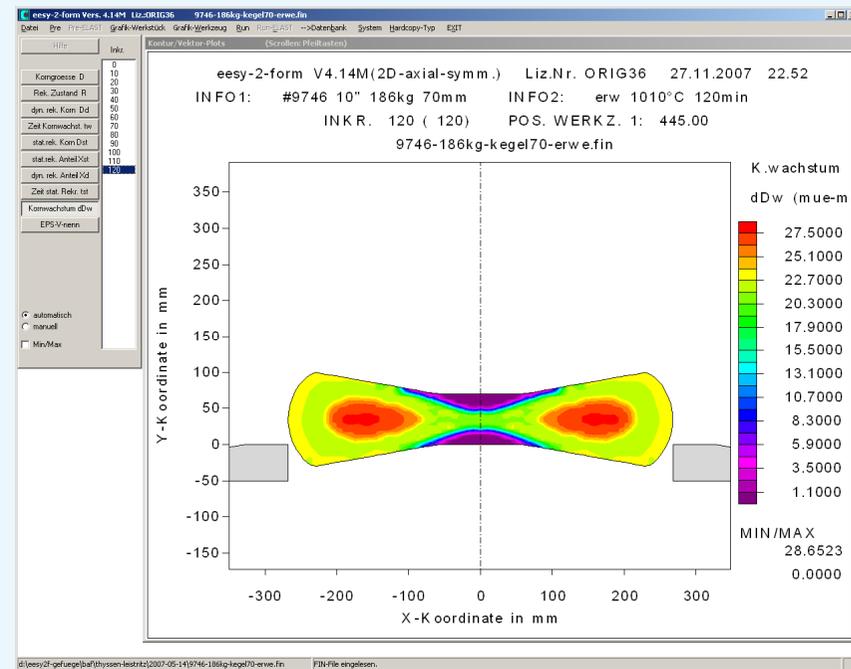
## Anspruch, Anwendung, Potential

Prozessschritt 3: Wiedererwärmen, 2 Stunden bei 1010°C, (exemplarische Ergebnisse 2)

Weitere statische Rekristallisation und weiteres Kornwachstum nach Erreichen  
genügend hoher Temperatur



Statisch rekristallisiertes Korn  
am Ende des Wiedererwärmens



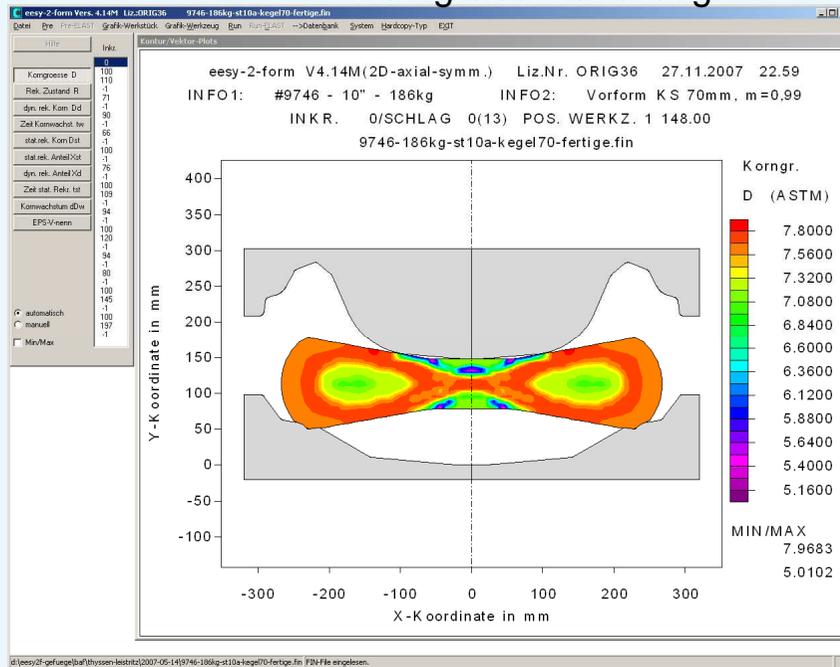
Erfolgtes Kornwachstum am Ende  
des Wiedererwärmens

# Umformsimulation in der Massivumformung

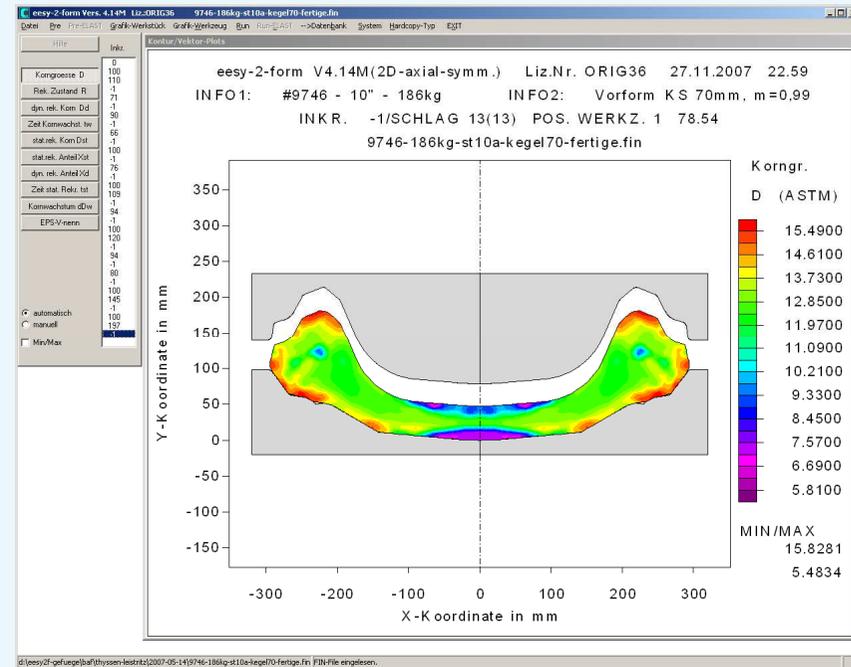
## Anspruch, Anwendung, Potential

### Prozessschritt 4: Fertigschmieden in 13 Hammerschlägen, (exemplarische Ergebnisse 1)

Hohe Umformungen bei hohen Temperaturen und hohen Geschwindigkeiten lösen erneute dynamische Rekristallisation aus, => weitere Veränderung der Korngrößenverteilung



Korngrößenverteilung zu Beginn des Fertigschmiedens



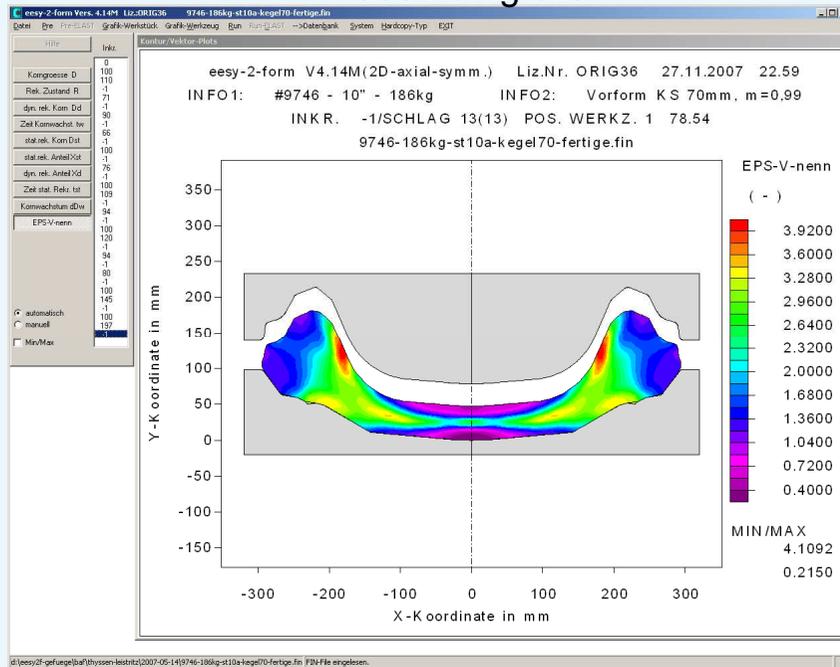
Korngrößenverteilung am Ende des Fertigschmiedens

# Umformsimulation in der Massivumformung

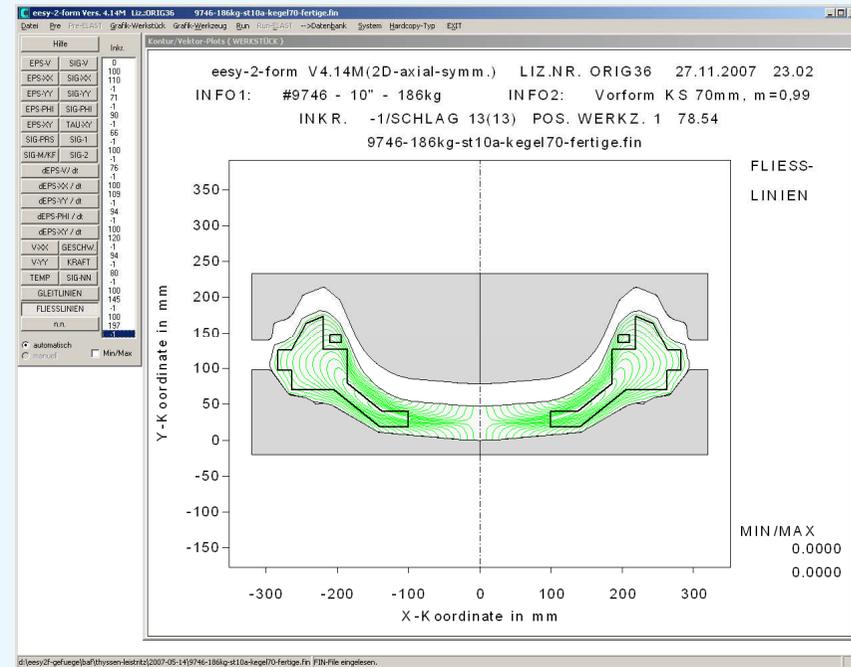
## Anspruch, Anwendung, Potential

Prozessschritt 4: Fertigschmieden in 13 Hammerschlägen, (exemplarische Ergebnisse 2)

Nenn-Umformgradverteilung (Umformgrad ohne Berücksichtigung der die Verfestigung abbauenden Rekristallisation) und Faserverlauf zur Charakterisierung des Fertigteils



Nenn-Umformgradverteilung am Ende des Fertigschmiedens

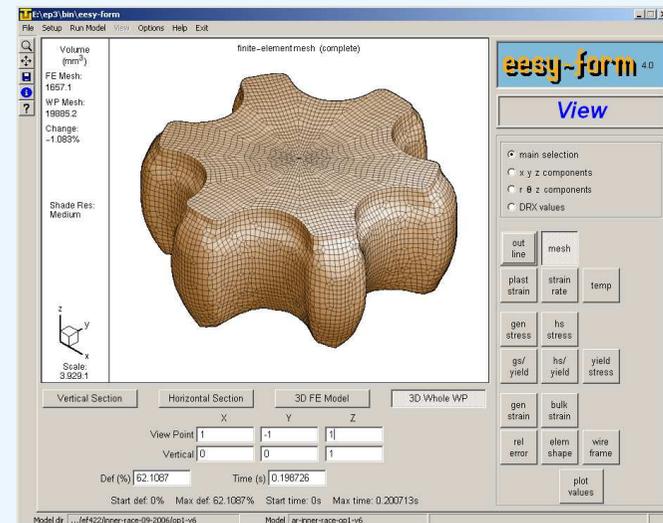
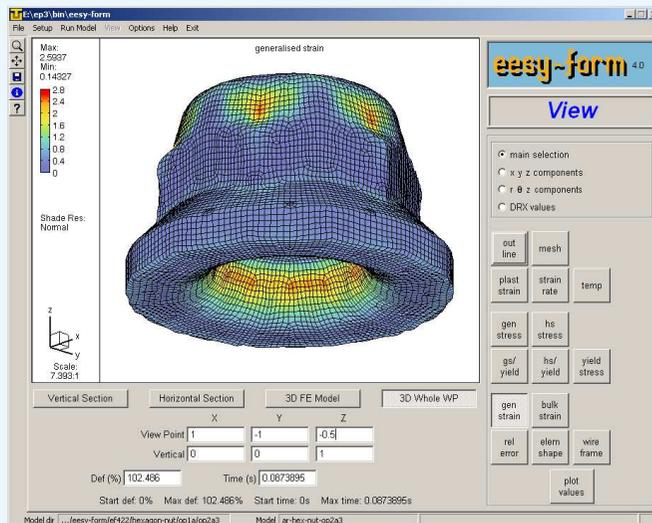
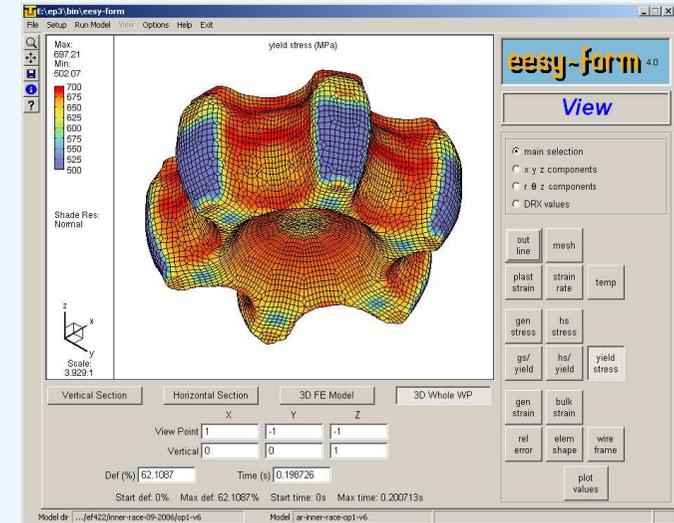
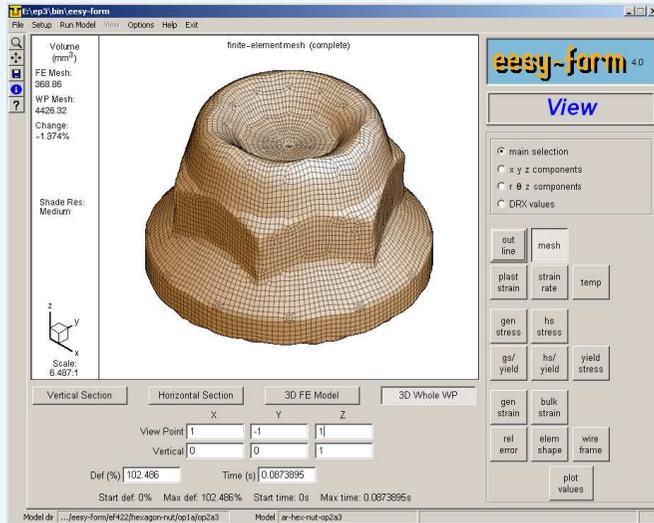


Faserverlauf (Fließlinien) am Ende des Fertigschmiedens

# Umformsimulation in der Massivumformung

## Anspruch, Anwendung, Potential

Herzlichen Dank für  
Ihre  
Aufmerksamkeit



(c) Dr. Michael Twickler - Ringvorlesung Umformtechnik - Wintersemester 2007/2008 - IUL-Universität Dortmund