

*ICFG Workshop Dortmund 2007*  
*Eigenschaften von kalt umgeformten Bauteilen*

*Gefügevorderbestimmung mittels*  
*FEM Simulation*

*Ein Beitrag zur erweiterten Nutzung von Simulationsergebnissen*

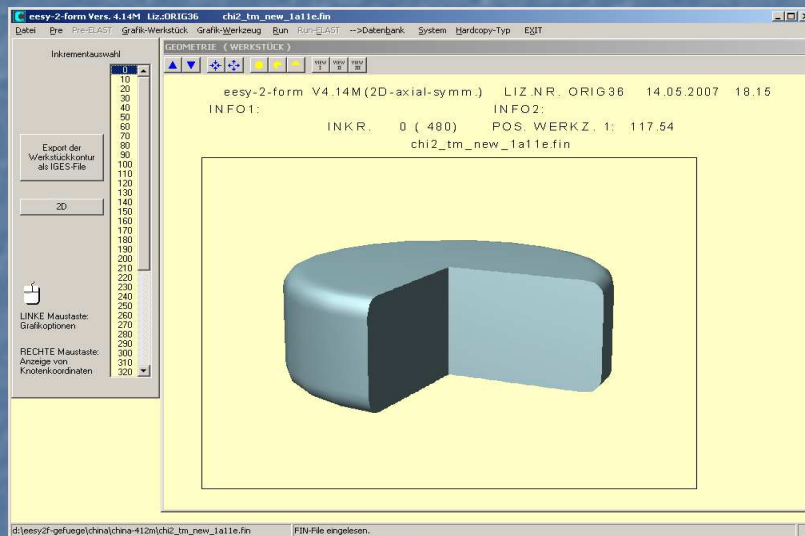
*Dr. Michael Twickler, Dr. Gerhard Arfmann*  
*CPM GmbH, Herzogenrath*

# ICFG Workshop Dortmund 2007

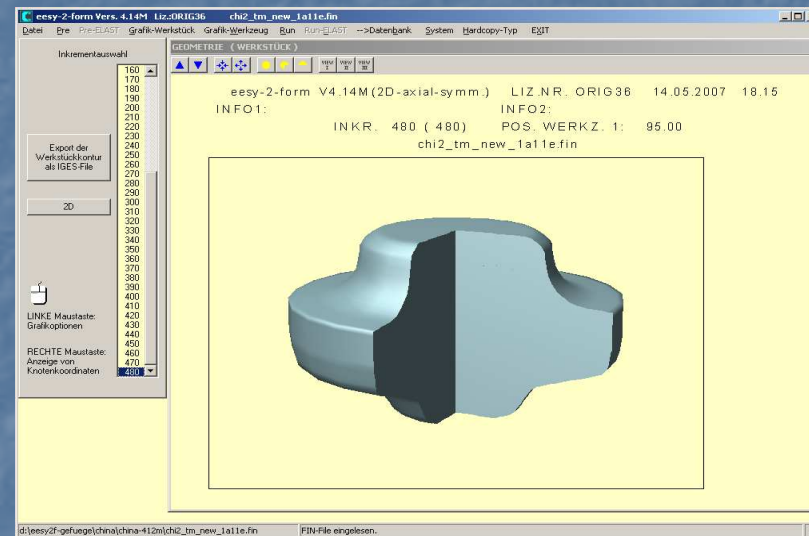
## Eigenschaften von kalt umgeformten Bauteilen

### Schmiedebeispiel I: Scheibe aus Inconel 718

(Gefügemodell: "Inco718 bei hoher Umformgeschwindigkeit")



Ausgangsgeometrie (Pancake)



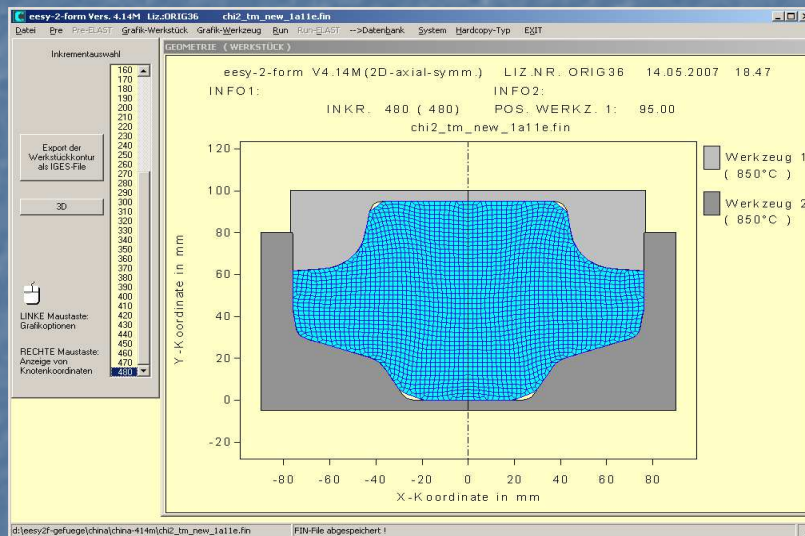
Endgeometrie

# ICFG Workshop Dortmund 2007

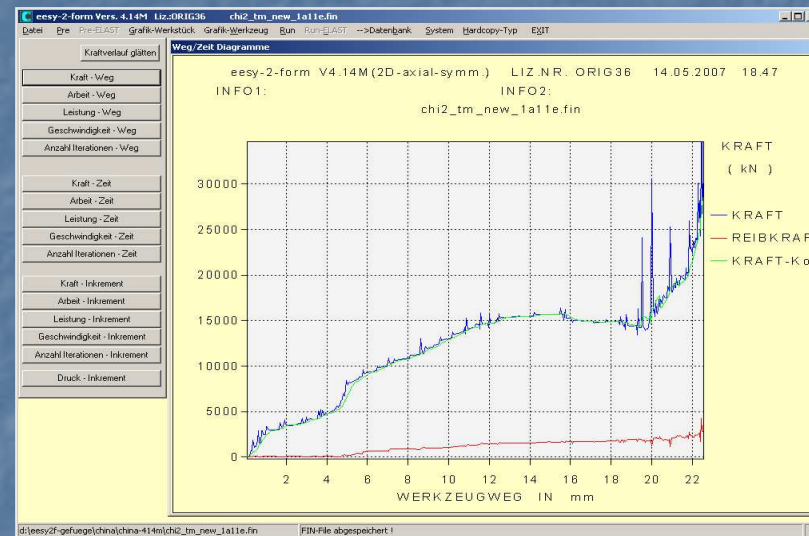
## Eigenschaften von kalt umgeformten Bauteilen

Triebfeder für Umformsimulationen:

a) zunächst: Vorausberechnungen, Ablösung der 'Trial and Error' Vorgehensweise  
Zielgrößen:



Geometrie, Formfüllung, etc.



Kraft-/Arbeitsbedarf



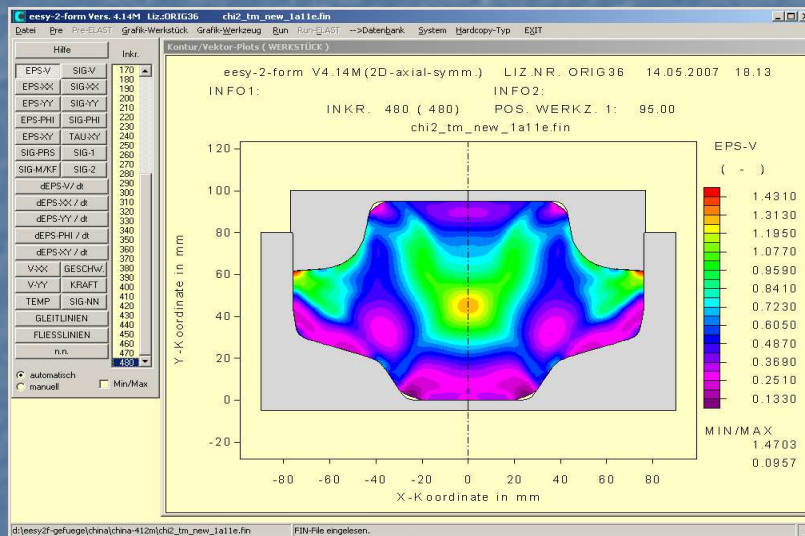
# ICFG Workshop Dortmund 2007

## Eigenschaften von kalt umgeformten Bauteilen

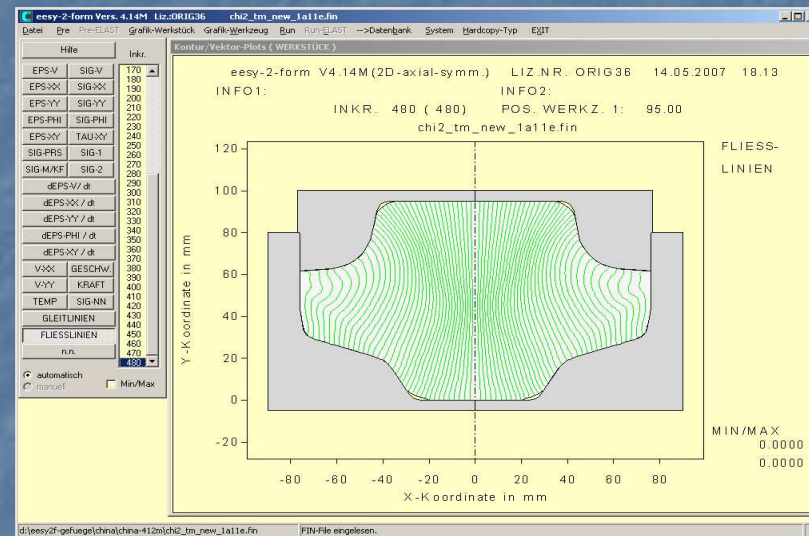
Triebfeder für Umformsimulationen:

b) danach: Qualitative Eigenschaftseinstellung, Schmiedeteil ist 'High-Tech' Produkt

Zielgrößen:



Umformgradverteilung, etc.



Faserverlauf (Fließlinien)

# ICFG Workshop Dortmund 2007

## Eigenschaften von kalt umgeformten Bauteilen

Triebfeder für Umformsimulationen:

c) heute: optimierte Eigenschaften durch **gezielte Einstellung des gewünschten Gefüges**  
Zielgrößen:

- Korngröße

- Rekristallisationsgrad

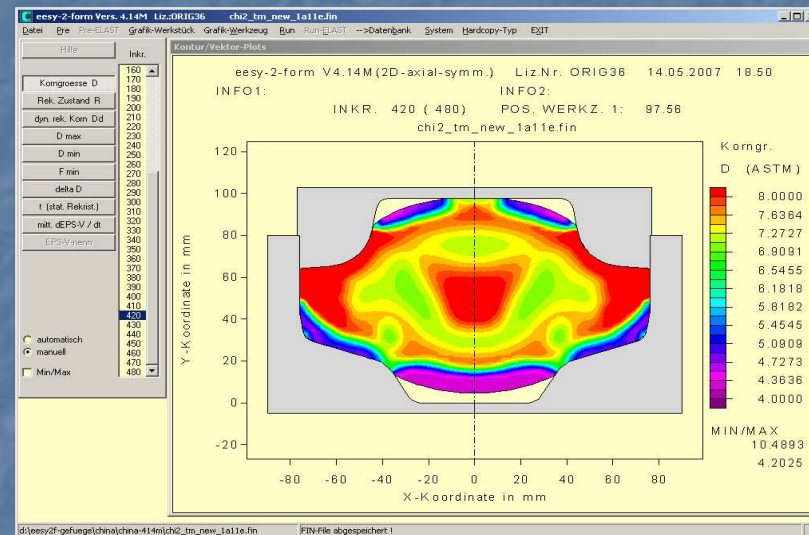
- dynamisch rekrist. Anteil

- statisch rekrist. Anteil

- Kornwachstum

- Pausen-/Erholungszeiten

Gewünschte Ergebnisgrößen



Korngrößenverteilung, etc.

# ICFG Workshop Dortmund 2007

## Eigenschaften von kalt umgeformten Bauteilen

### 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

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

->dyn. rekristallisierte Korngröße

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

->dyn. rekristallisierte Fraktion

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

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

#### 3. Modell für das Kornwachstum

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

->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

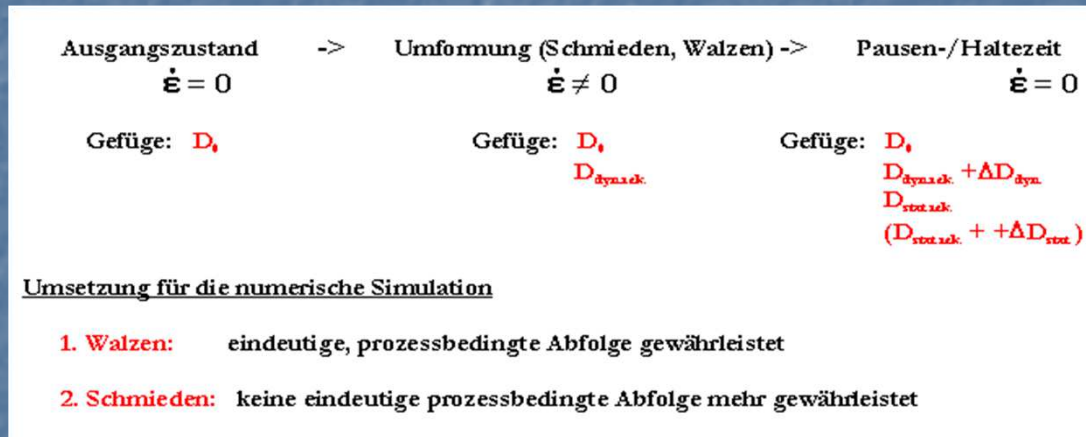
**Besonderheiten:** ???



# ICFG Workshop Dortmund 2007

## Eigenschaften von kalt umgeformten Bauteilen

### 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:

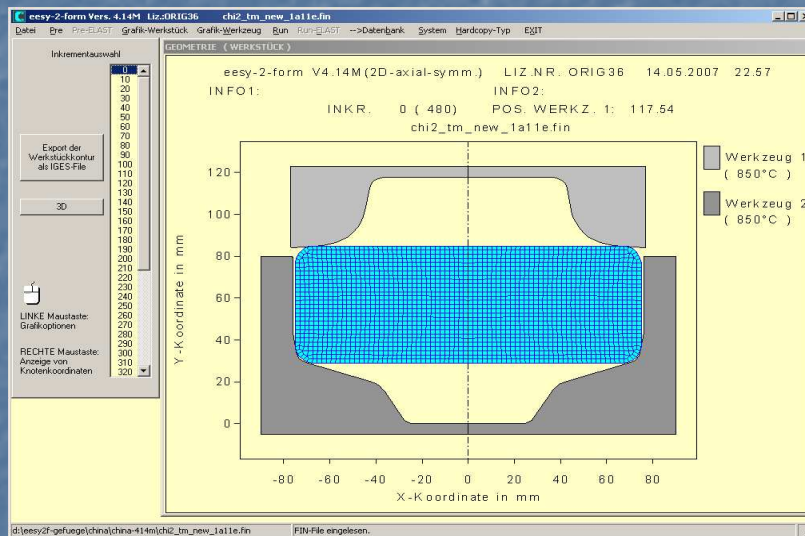
Komplexes Zusammenspiel der einzelnen Gefügebildungsphasen, da keine eindeutige prozessbedingte Abfolge der einzelnen Gefüge-Teilmodelle in einem realen Schmiedevorgang vorliegt (Ausnahme: Walzprozess)

# ICFG Workshop Dortmund 2007

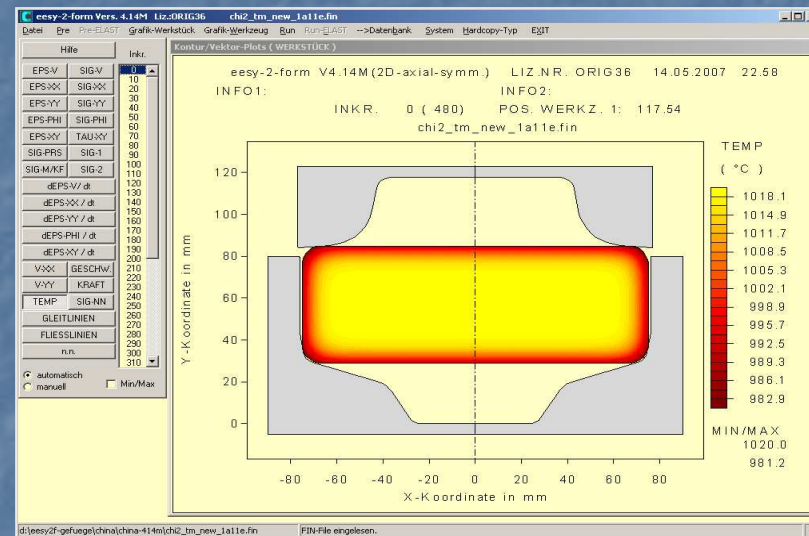
## Eigenschaften von kalt umgeformten Bauteilen

Anwendung auf einstufige Schmiedeoperation:

Scheibe aus Inconel 718, Einsatztemperatur: 1020°C



Ausgangsgeometrie der Scheibe



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

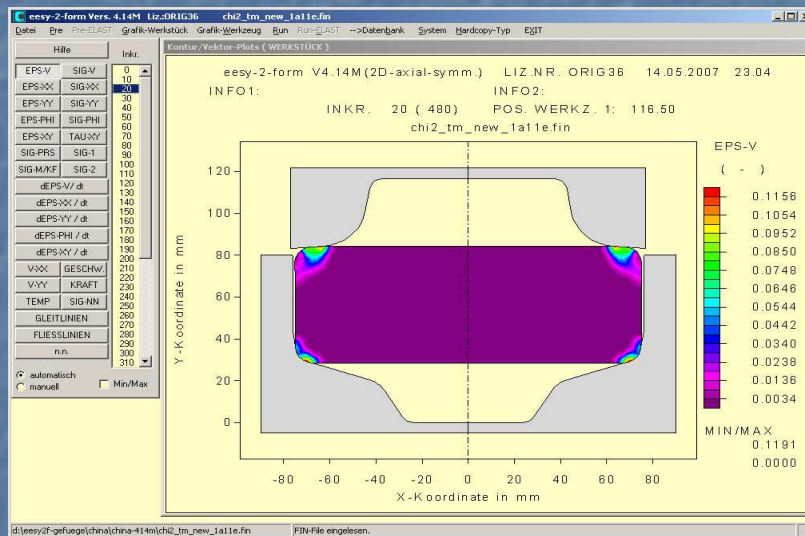


# ICFG Workshop Dortmund 2007

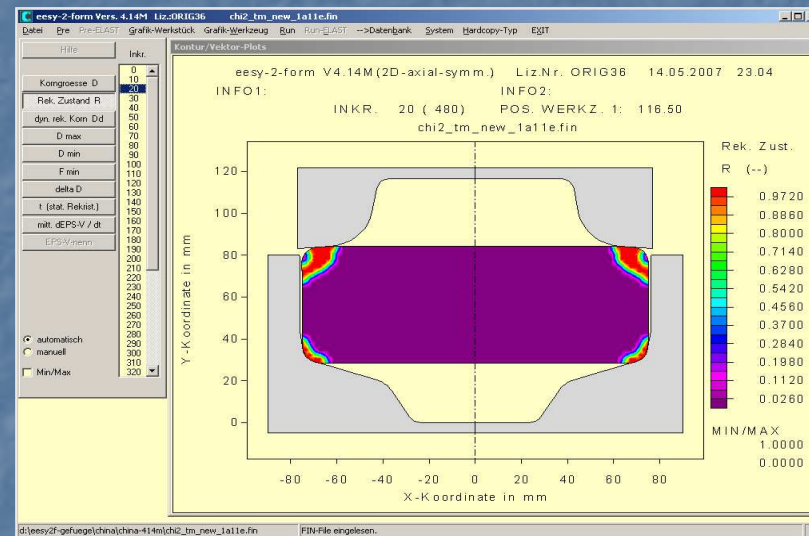
## Eigenschaften von kalt umgeformten Bauteilen

### Anwendung auf einstufige Schmiedeoperation:

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



Umformgradverteilung



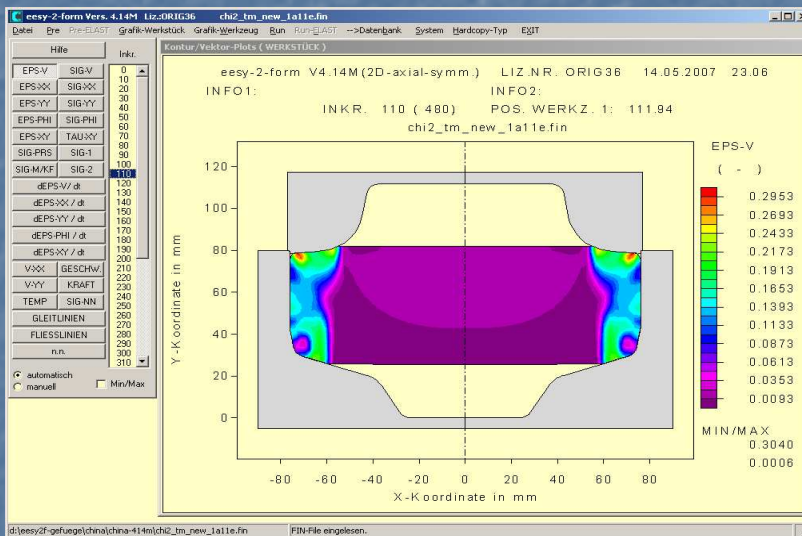
Rekristallisationsfront

# ICFG Workshop Dortmund 2007

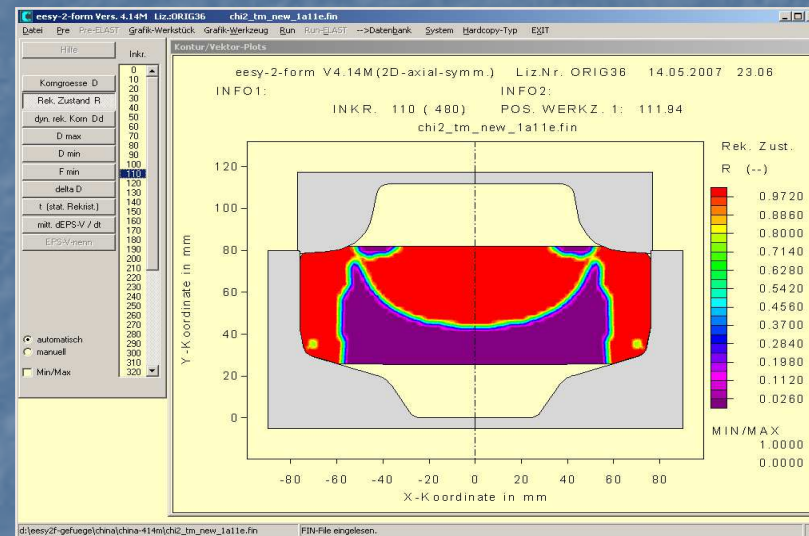
## Eigenschaften von kalt umgeformten Bauteilen

### Anwendung auf einstufige Schmiedeoperation:

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



Umformgradverteilung



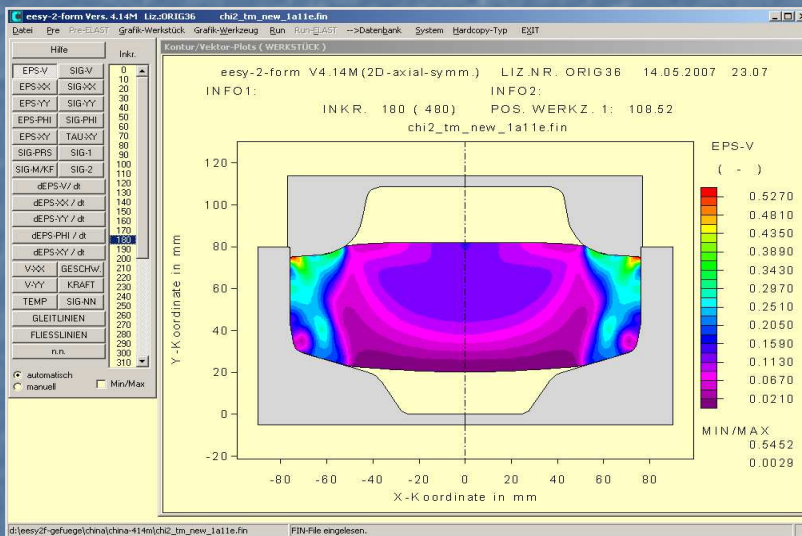
Rekristallisationsfront

# ICFG Workshop Dortmund 2007

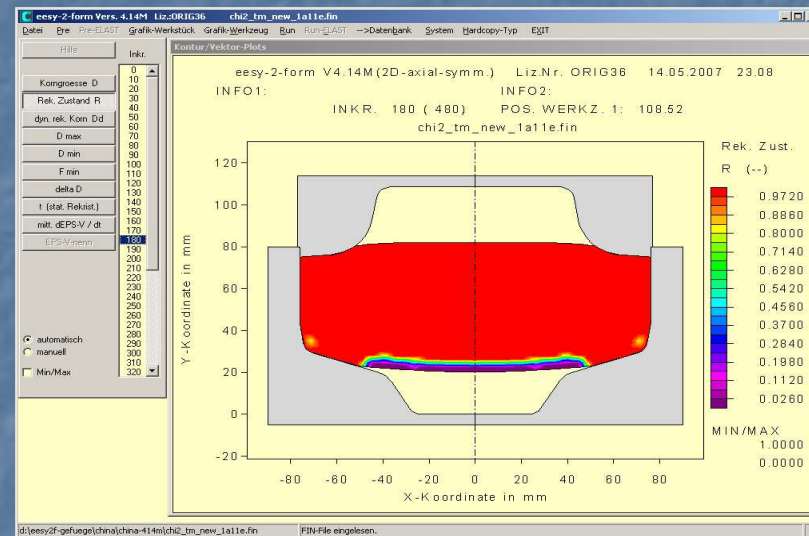
## Eigenschaften von kalt umgeformten Bauteilen

### Anwendung auf einstufige Schmiedeoperation:

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



Umformgradverteilung



Rekristallisationsfront

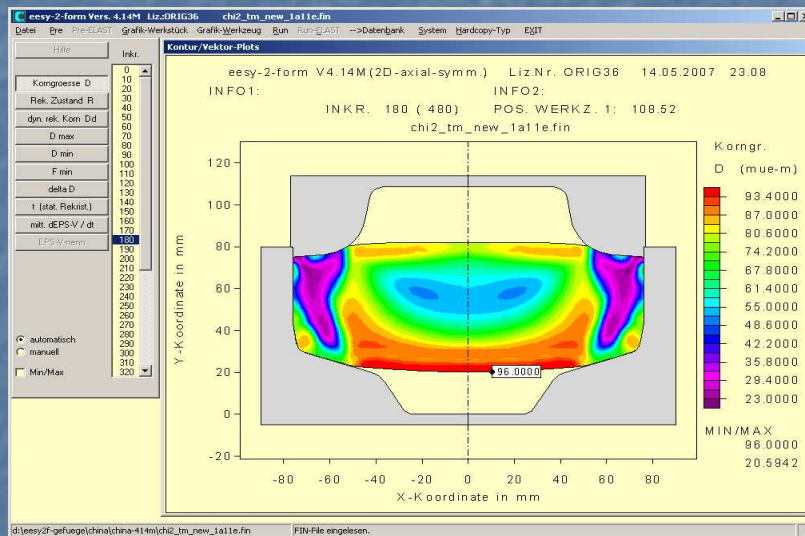


# ICFG Workshop Dortmund 2007

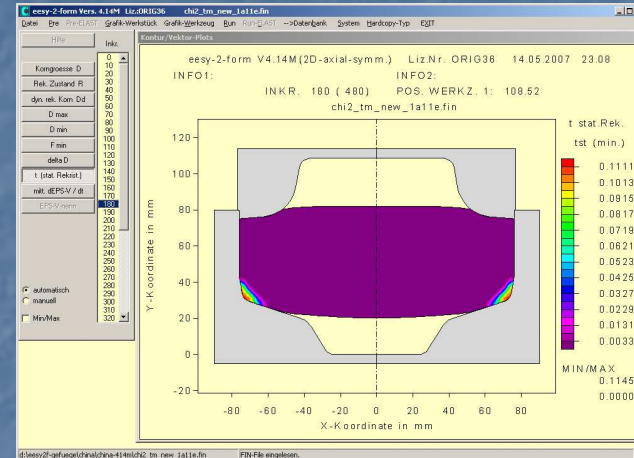
## Eigenschaften von kalt umgeformten Bauteilen

### Exemplarische Gefügeergebnisse:

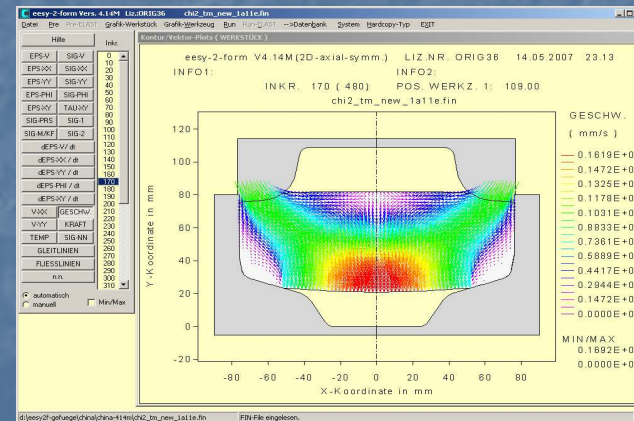
(nach 40% Pressenweg)



Korndurchmesser



Zeit der statischen Rekristallisation



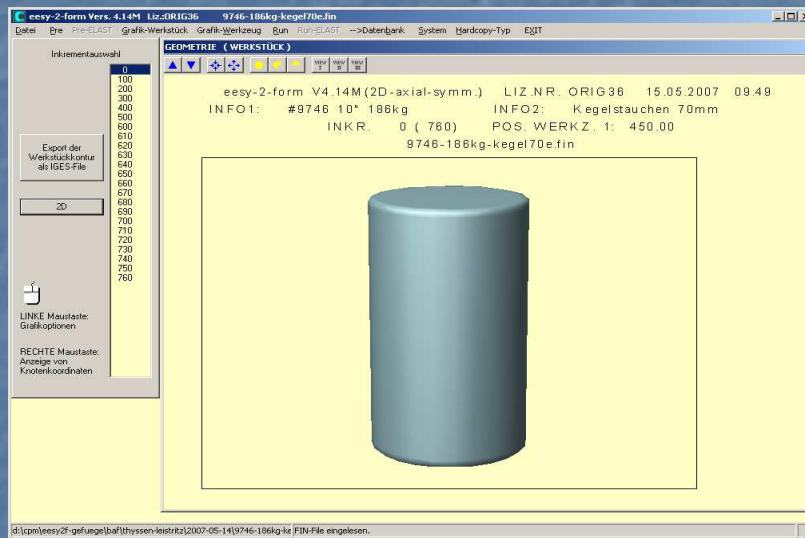
Materialfluss mit 'toter' Zone

# ICFG Workshop Dortmund 2007

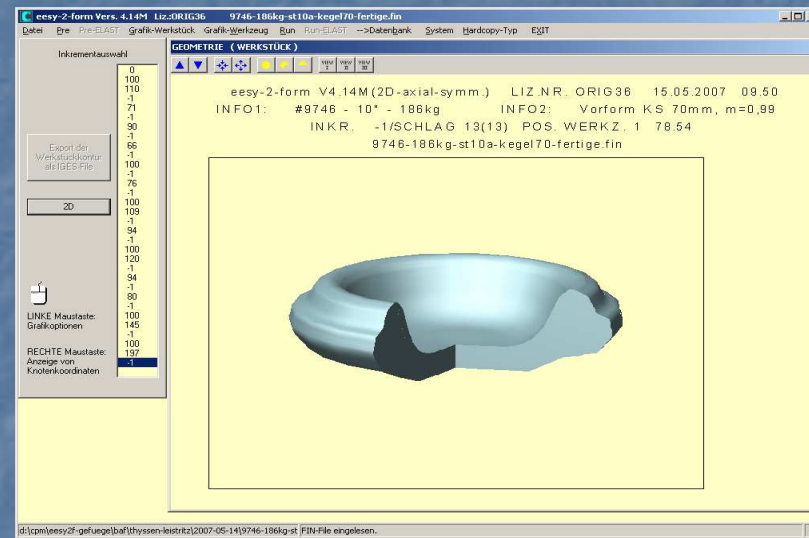
## Eigenschaften von kalt umgeformten Bauteilen

### Schmiedebeispiel II: Hochdruckverdichterscheibe aus Inconel 718, vier Prozessschritte

(Gefügemodell: "Superlegierung Inconel 718")



Ausgangsgeometrie (Billet)



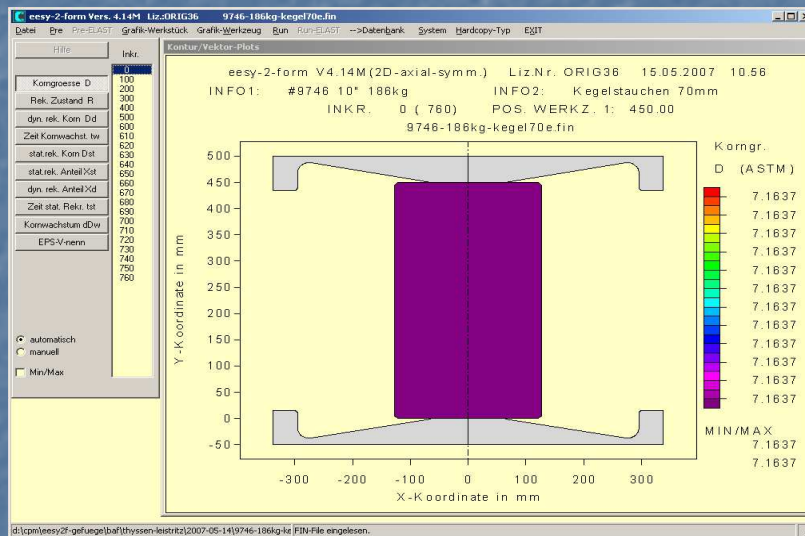
Endgeometrie

# ICFG Workshop Dortmund 2007

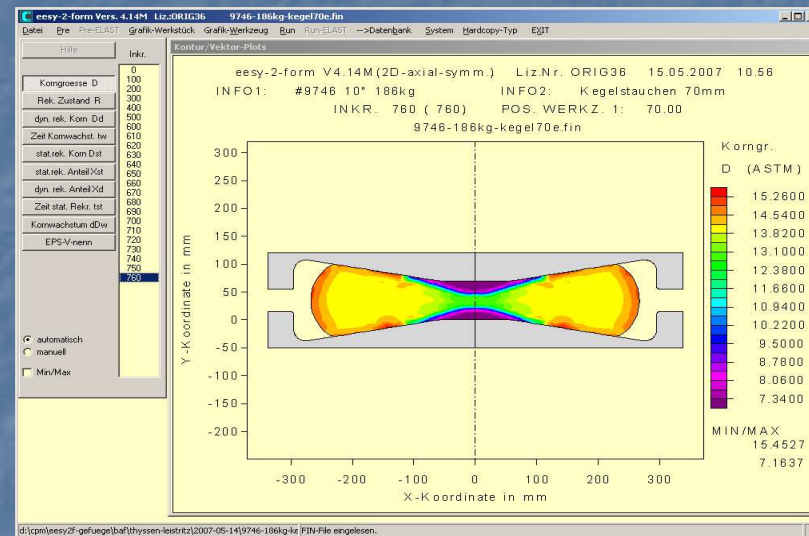
## Eigenschaften von kalt umgeformten Bauteilen

### 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

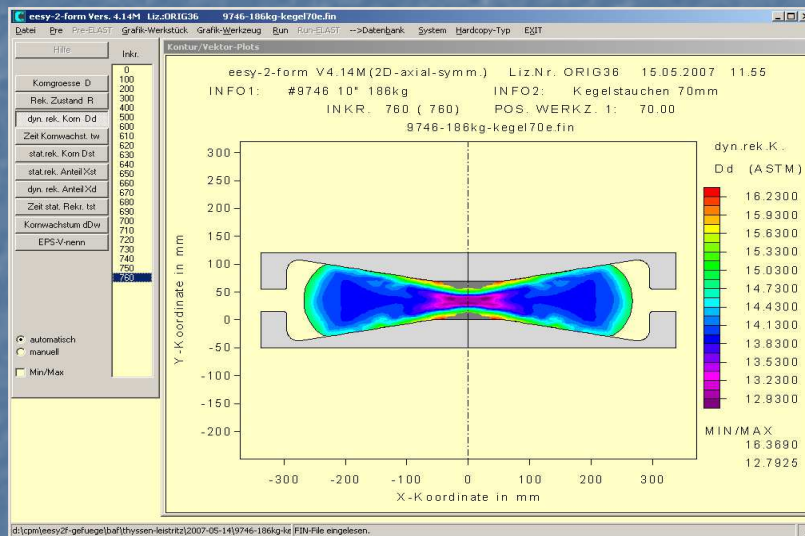


# ICFG Workshop Dortmund 2007

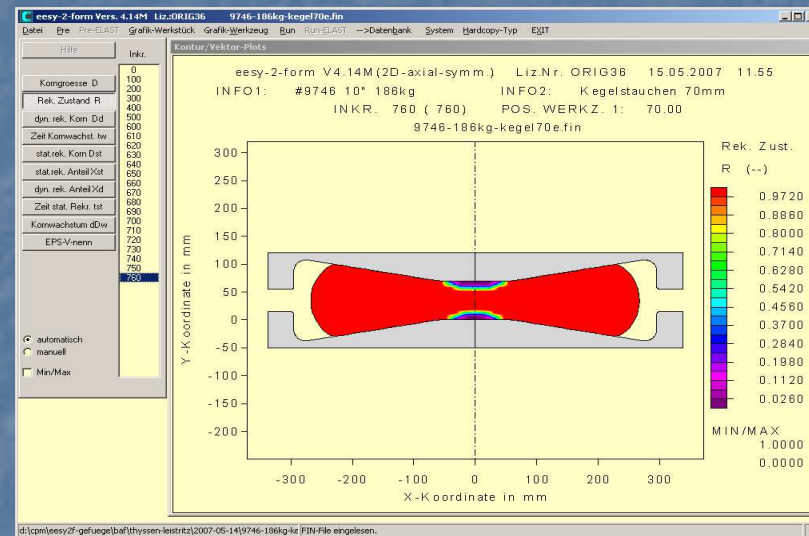
## Eigenschaften von kalt umgeformten Bauteilen

### 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



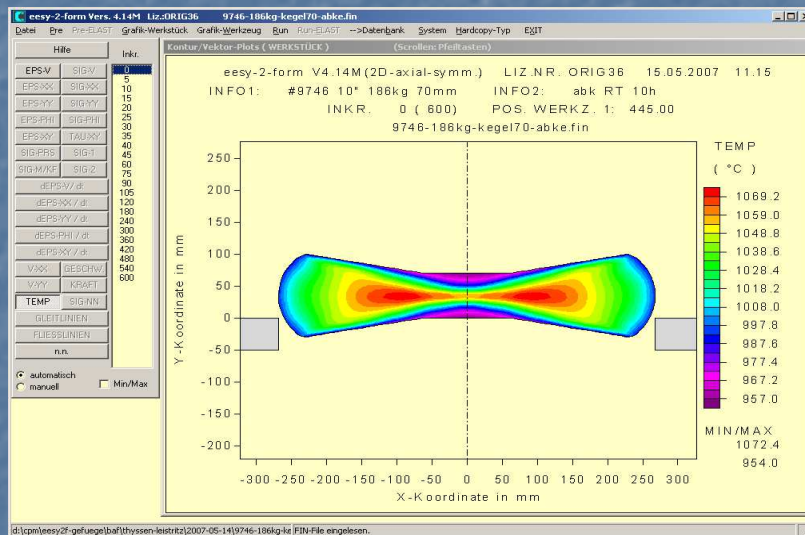
Rekristallisationsfront am Ende des Kegelstauchens

# ICFG Workshop Dortmund 2007

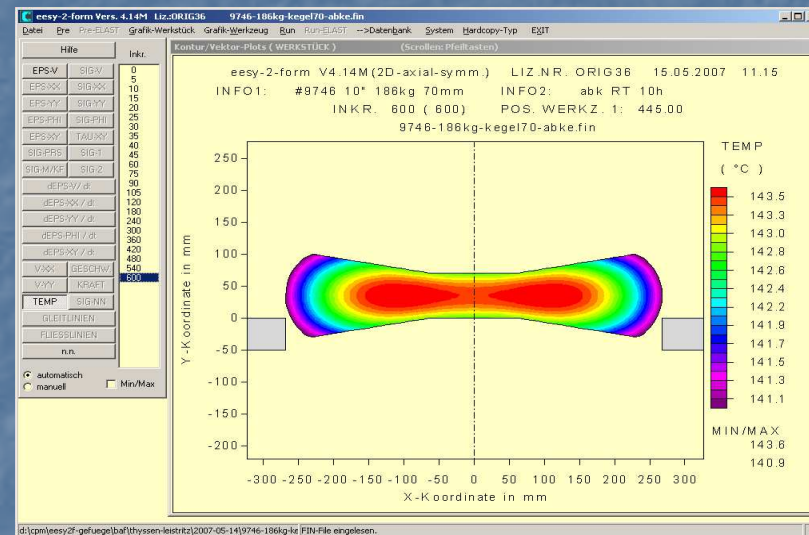
## Eigenschaften von kalt umgeformten Bauteilen

### 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



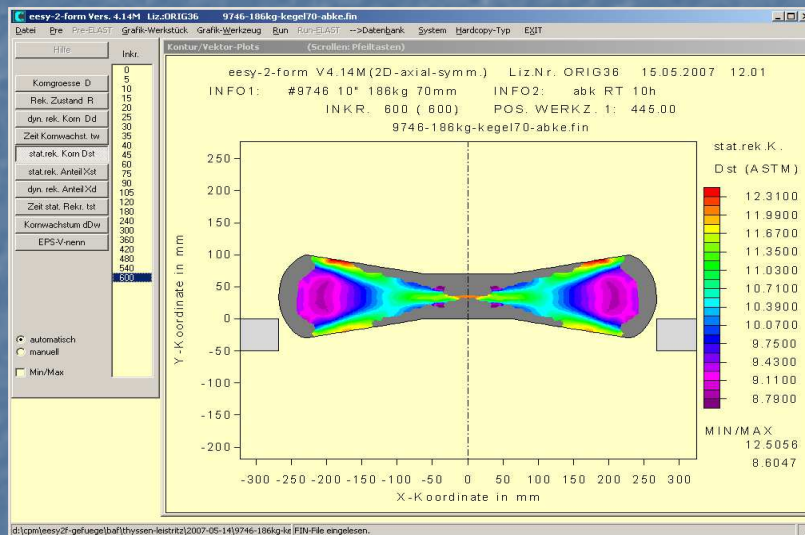
Temperaturverteilung am Ende der Abkühlphase

# ICFG Workshop Dortmund 2007

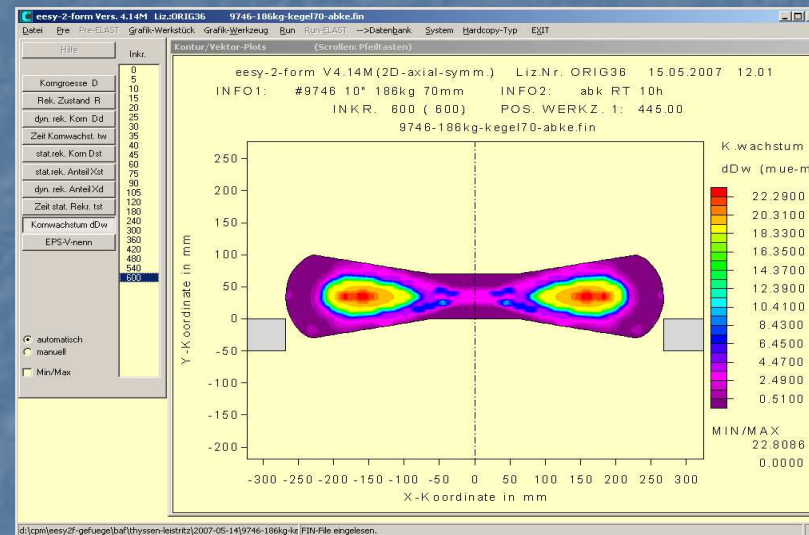
## Eigenschaften von kalt umgeformten Bauteilen

### 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

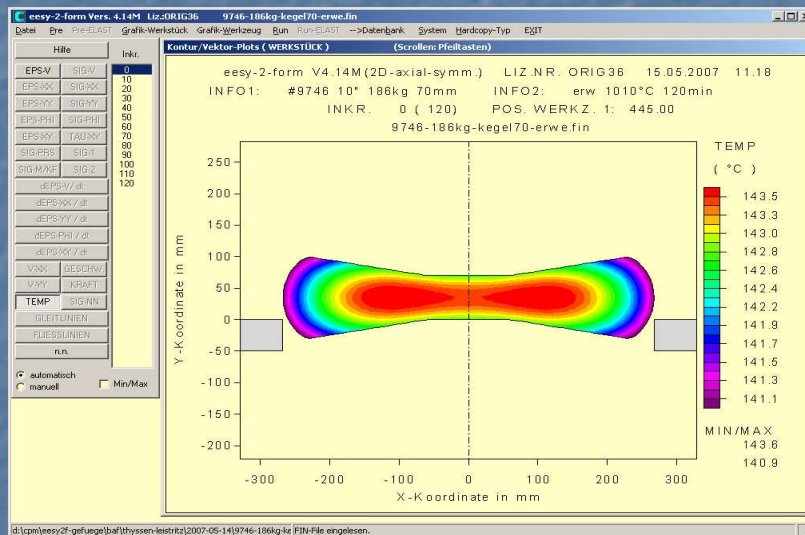


# ICFG Workshop Dortmund 2007

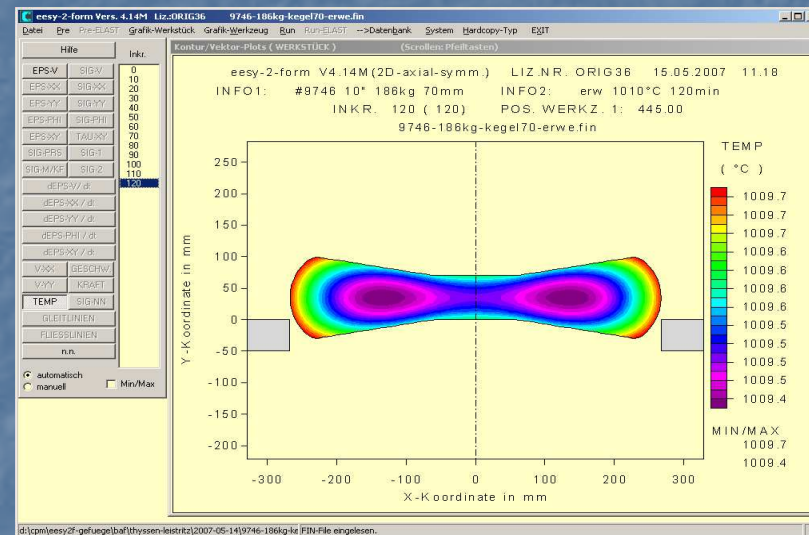
## Eigenschaften von kalt umgeformten Bauteilen

### 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



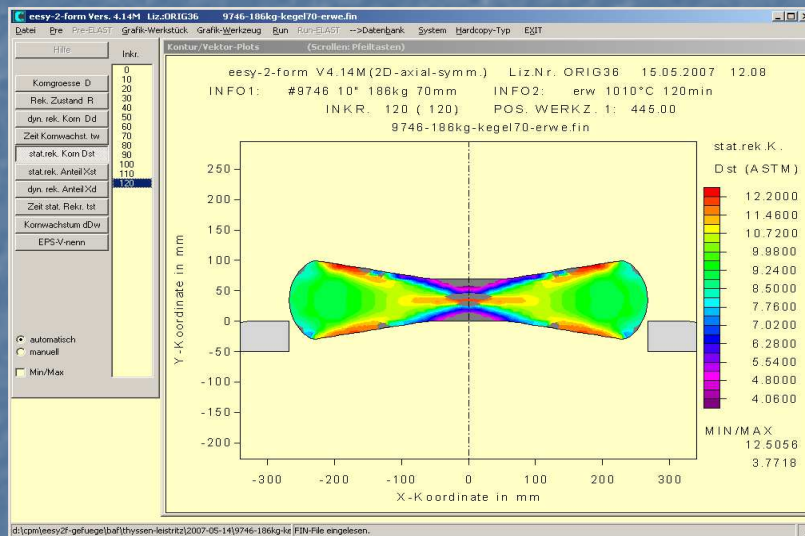
Temperaturverteilung am Ende des Wiedererwärmens

# ICFG Workshop Dortmund 2007

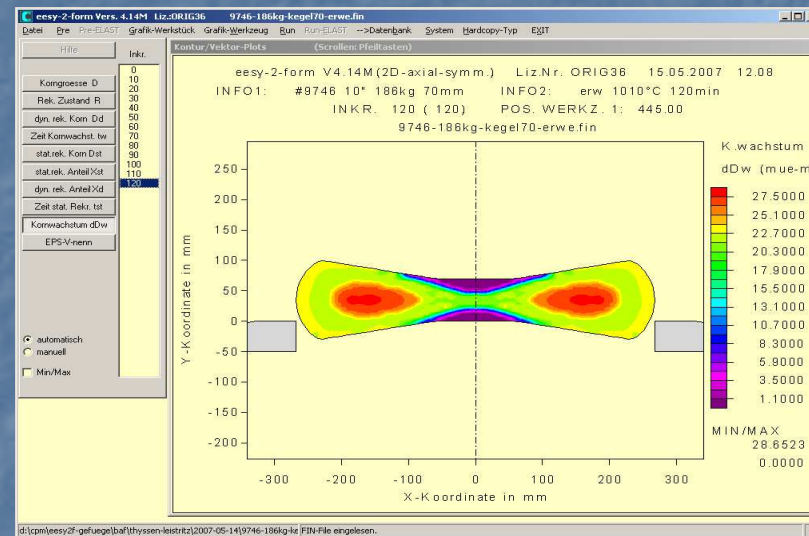
## Eigenschaften von kalt umgeformten Bauteilen

### 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



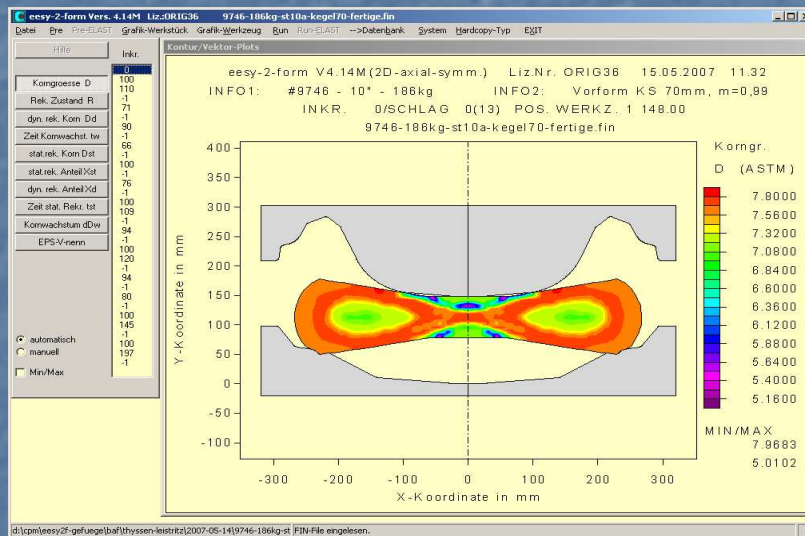
Erfolgtes Kornwachstum am Ende des Wiedererwärmens

# ICFG Workshop Dortmund 2007

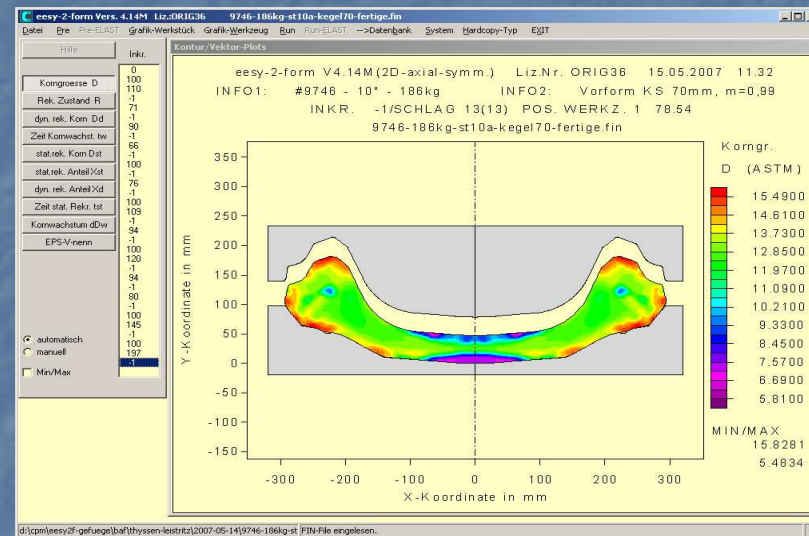
## Eigenschaften von kalt umgeformten Bauteilen

### 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

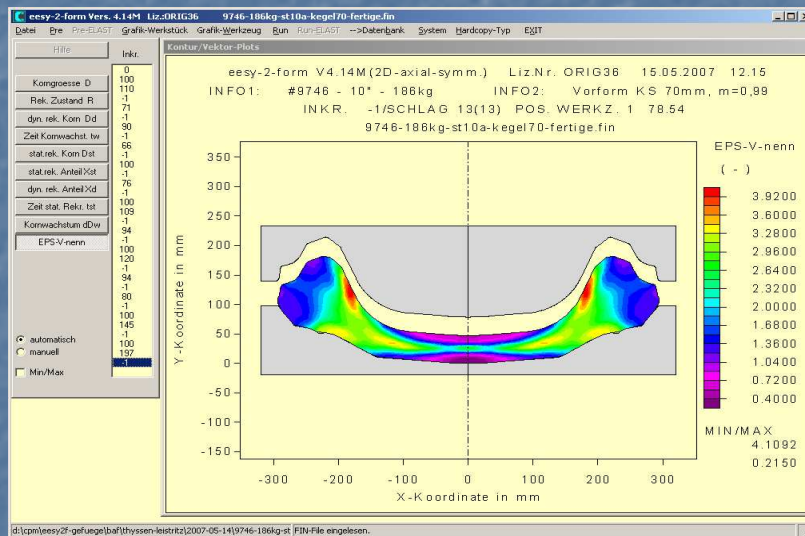


# ICFG Workshop Dortmund 2007

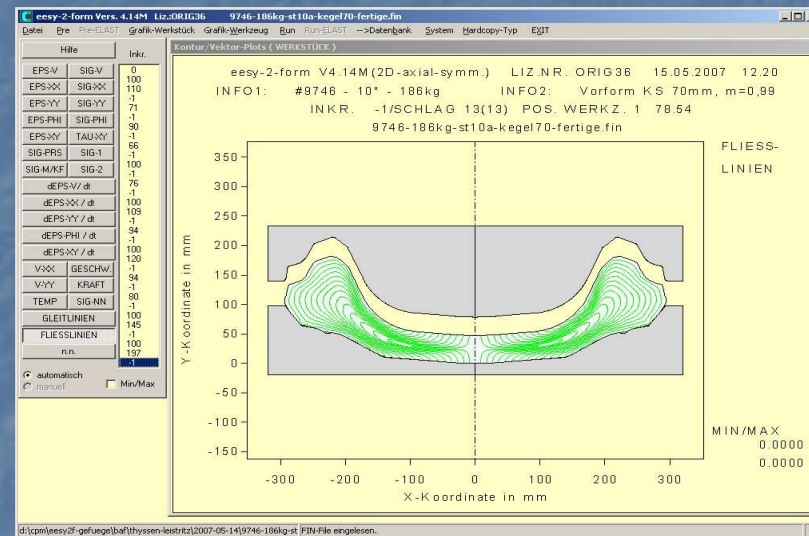
## Eigenschaften von kalt umgeformten Bauteilen

### 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

# *ICFG Workshop Dortmund 2007*

## *Eigenschaften von kalt umgeformten Bauteilen*

### **Anmerkung:**

Diese Ausführungen sind gedacht als ein Beitrag zur erweiterten Nutzung von Simulationsergebnissen.

Die Beispiele sind - bedingt durch die Thematik 'Gefügeberechnung' - aus dem Warm Schmiedebereich entnommen, doch lassen sich sicher auch für den Bereich der Kaltformgebung Themen benennen, für die eine ähnliche Vorgehensweise empfehlenswert wäre.

### **Danksagung:**

Wir bedanken uns bei der Firma Leistritz Turbinenkomponenten Remscheid GmbH für die Zurverfügungstellung der Schmiedebeispiele sowie für die gemeinsame Entwicklung und Umsetzung der hier verwendeten Gefügemodelle.

Dortmund, 22. Mai 2007