

## FOSTA-Forschungsvorhaben

### Optimierte Einsatzhärten

Simulationsgestützte Optimierung des lokalen Werkstoffzustandes  
im Bereich zyklisch hochbeanspruchter einsatzgehärteter  
Konstruktionsdetails mit Kerbwirkung

IGF 17779 BR

Bauhaus-Universität Weimar  
Juniorprofessur Simulation und Experiment



Materialforschungs- und -prüfanstalt an der  
Bauhaus-Universität Weimar



Sitzung des AWT-Fachausschusses 21 - Gefüge und mechanische Eigenschaften -  
26.02.2014 - Schaeffler Technologies AG & Co. KG Schweinfurt

## Gliederung

- 1 Vorstellung des Forschungsvorhabens
  - 1.1 Allgemeine Projektdaten
  - 1.2 Problemstellung
  - 1.3 Zielsetzung und Lösungsweg
  - 1.4 Analytisches und experimentelles Untersuchungsprogramm
- 2 Projektstand
  - 2.1 Erweiterung SYSWELD-Funktionalität
  - 2.2 Numerische Untersuchungen

## Gliederung

### 1 Vorstellung des Forschungsvorhabens

#### 1.1 Allgemeine Projektdaten

#### 1.2 Problemstellung

#### 1.3 Zielsetzung und Lösungsweg

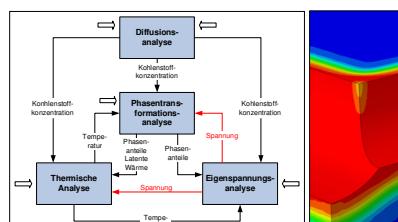
#### 1.4 Analytisches und experimentelles Untersuchungsprogramm

### 2 Projektstand

#### 2.1 Erweiterung SYSWELD-Funktionalität

#### 2.2 Numerische Untersuchungen

### Simulationsgestützte Optimierung des lokalen Werkstoffzustandes im Bereich zyklisch hochbeanspruchter Einsatzgehärteter Konstruktionsdetails mit Kerbwirkung



#### Ausgangslage:

- Bauteilermüdung durch funktionsbedingte Konstruktionsdetails mit Kerbwirkung bei zyklischer Bauteilebeanspruchung
- Form der Konstruktionsdetails beeinflusst signifikant das lokale Wärmebehandlungsergebnis
- Häufig lokale Eigenspannungen und Festigkeiten nicht optimal

#### FOSTA Forschungsvorhaben (P 993):

- Numerische Simulation mittels Finite Elemente Methode (FEM)
- Modifizierung technologischer Parameter des Einsatzhärteprozesses
- Lokal optimale höherfeste Gefügezustände und Druckeigenspannungen bezogen auf die Form der Konstruktionsdetails
- Signifikante Steigerung der Dauerfestigkeit
- Verifikation der Simulationsergebnisse mittels Experiment

#### Beteiligte Industriepartner



#### Forschungsstellen



Gesamtvolumen: 487.150 € (bZ + vAW)  
 Projektlaufzeit: 01.07.2013 – 30.06.2015  
 FOSTA-Projektstatus: laufend

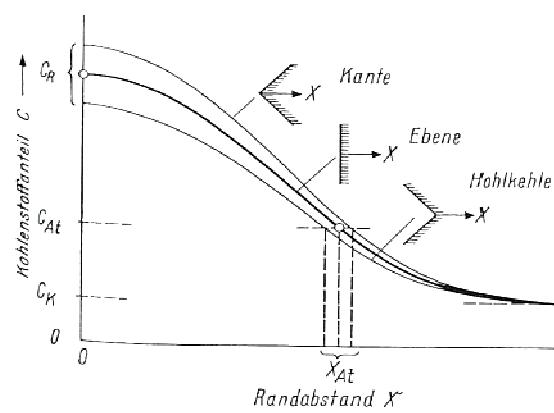
## 1.2 Problemstellung

- Konstruktionsdetails in Bauteilen
  - z.B. Welle mit Querbohrung, ausgerundete Wellenabsätze
  - Kerbwirkung, lokale Extremwerte der Spannung
  - zyklische Beanspruchung: Ausbildung von AnrisSEN und Ermüdung des Bauteils
- Konstruktionsdetail beeinflusst:
  - Kohlenstoffaufnahme
  - Kohlenstoffdiffusion im Bauteil
  - Wärmeübergang während des Abschreckens
  - ⇒ Werkstofffestigkeiten und Eigenspannungen



## 1.2 Problemstellung

- Einfluss des Konstruktionsdetails auf das Aufkohlungsprofil



- Gasaufkohlung, zweistufiges Sättigungs-Ausgleichsverfahren

J. WÜNNING, G. LEYENS, G. WOELK: Gesteuerte Aufkohlung in CO-freien Atmosphären.  
In: HTM 31 (1976), S. 132-135.

### 1.3 Zielsetzung

- Simulationsgestützte Optimierung des lokalen Werkstoffzustandes im Bereich zyklisch hochbeanspruchter Einsatzgehärteter Konstruktionsdetails
    - Besseres Verständnis der Wirkung von Bauteilkerben innerhalb der Teilprozesse des Einsatzhärtens
    - Weiterentwicklung von Konzepten zur Dauerfestigkeitsabschätzung
    - Erweiterung des Wissensstandes zur Dauerfestigkeitssteigerung durch Anwendung der Technologie des Einsatzhärtens
- ⇒ Effizienterer Einsatz des Werkstoffes Stahl und Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit

### 1.3 Lösungsweg

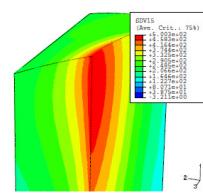
- Untersuchung von verschiedenen Einsatzgehärteten Modellbauteilproben im Dauerfestigkeitsbereich
  - Modifizierung technologische Parameter Einsatzhärteprozess
  - Identifikation festigkeitsrelevanter Bauteilbereich durch FE-Analyse
  - Simulation des Einsatzhärtens in Kopplung mit Optimierungssolvern
- ⇒ Ziel: Lokale Maximierung der Werkstofffestigkeiten und (Druck-)Eigenspannungen
- Abschätzung der Dauerfestigkeit als Bezugsgröße zum Nachweis Maximierung Festigkeiten und Druckeigenspannungen

## 1.4 Analytisches Untersuchungsprogramm

- Erweiterung Funktionsumfang SYSWELD
  - Entwicklung eines Mehrfeldsolvers
    - Berücksichtigung des Einflusses des Spannungszustandes auf das Phasenumwandlungsverhalten in SYSWELD
    - Basis: theoretische Modelle aus Literatur
    - Verifikation: anhand Literaturdaten
  - Simulation von Niederdruckaufkohlungsprozessen
    - bisher nur Gasaufkohlungsprozesse in SYSWELD implementiert
    - Verifikation anhand vorhandener eigener Untersuchungen

## 1.4 Analytisches Untersuchungsprogramm

- Simulation modifizierte Einsatzhärtung
  - Identifikation des versagensmaßgebenden Bauteilbereiches
    - Elastische Analyse der äußeren Beanspruchung
  - Variation der technologischen Parameter
    - Ziel: Maximierung der Festigkeiten und Druckeigenspannungen des versagensmaßgebenden Bauteilbereiches  
=> Minimierung des Auslastungsgrades
    - Grundlagen
      - Dang-Van-Vergleichsspannungskrit.
      - Wechselfestigkeit nach Murakami



## 1.4 Analytisches Untersuchungsprogramm

- Standardparameter Einsatzhärten (PbA 14.06.2013)
  - Aufkohlungstemperatur: 900 °C – 960 °C → Soll: 960 °C
  - Härtetemperatur: 840 °C – 870 °C → Soll: 960 °C
  - bei Ölabschreckung Öltemperatur: 50 – 150 °C → Soll: 60 °C
  - Anlasstemperatur: 150 °C – 180 °C → Soll: 160 °C (2 h)
  - Randkohlenstoff: 0,6 % - 0,8 % → Soll: 0,7 %
  - CHD: 0,56 mm – 0,80 mm
  - Grenzhärte: 550 HV; 610 HV (ZF)
  - Versuchsproben sollen direkt gehärtet werden

## 1.4 Analytisches Untersuchungsprogramm

- Simulation der modifizierten Einsatzhärtung

### Übersicht technologische Parameter

Einsatzhärtungsverfahren	Parameter	Variation
Gasaufkohlung mit Ölabschreckung	Aufkohlungstemperatur	-
	Anzahl und Länge der Aufkohlungszyklen	X
	C-Gehalt der Aufkohlungszyklen	X
	Härtetemperatur	-
	Temperatur des Öl-Abschreckmediums	-
	Anlasstemperatur	-
Niederdruckaufkohlung mit Hochdruckgasabschreckung	Aufkohlungstemperatur	-
	Anzahl und Länge der Aufkohlungszyklen	X
	Anzahl und Länge der Diffusionszyklen	X
	Härtetemperatur	-
	Gas-Abschreckmedium	X
	Druck des Gas-Abschreckmediums	X
	Anlasstemperatur	-

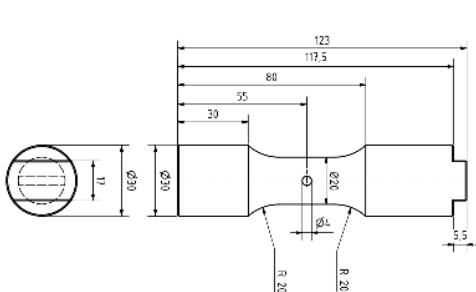
## 1.4 Experimentelles Untersuchungsprogramm

- Schwingversuche
  - Nachweis Eigenspannungsstabilität
  - Ermittlung Dauerfestigkeit und Übergangsbereich Zeitfestigkeit
  - Verifikation der Simulationsergebnisse
- Werkstoff- und Bauteilcharakterisierung
  - Gefüge
  - Eigenspannungen
  - Härteverläufe
  - Qualitätssicherung Einsatzhärtung
  - Versagensursachen

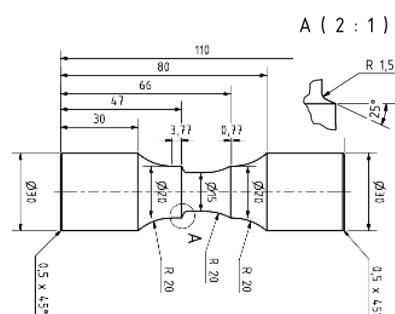


## 1.4 Experimentelles Untersuchungsprogramm

- Modellbauteilproben



**Welle mit Querbohrung**, Maße in [mm]  
Gasaufkohlung / Ölabschreckung  
18CrNiMo7-6, 20MnCr5



**Welle mit Absatz**, Maße in [mm]  
Niederdruckaufkohlung / Hochdruckgasabschreckung  
18CrNiMo7-6, 20MnCr5

## 1.4 Experimentelles Untersuchungsprogramm

### Übersicht Versuchsvarianten

Modellbauteil	Einsatzhärtung	Parameter	Werkstoff
Welle mit Querbohrung	Standard / modifiziert	Eigenspannungsstabilität Schwingfestigkeit	20MnCrB5 18CrNiMo7-6
Welle mit Absatz	Standard / modifiziert	Eigenspannungsstabilität Schwingfestigkeit	20MnCrB5 18CrNiMo7-6

⇒ Experiment: 50 Versuche Eigenspannungsstabilität  
200 Versuche Schwingfestigkeit,  $R=-1$ ,  $N_G=5 \times 10^6$

## Gliederung

- 1 Vorstellung des Forschungsvorhabens
  - 1.1 Allgemeine Projektdaten
  - 1.2 Problemstellung
  - 1.3 Zielsetzung und Lösungsweg
  - 1.4 Analytisches und experimentelles Untersuchungsprogramm
- 2 Projektstand
  - 2.1 Erweiterung SYSWELD-Funktionalität
  - 2.2 Numerische Untersuchungen

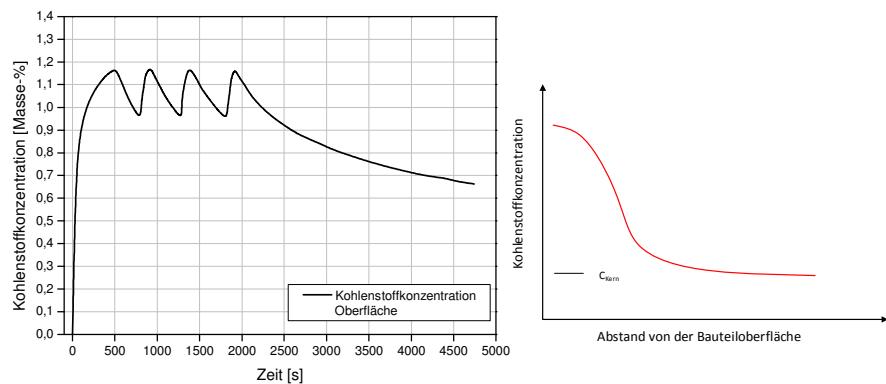
## Diffusionsanalyse, theoretische Grundlagen

- Fick'sche Gesetze
  - Stationärer Zustand an der Bauteiloberfläche => 1. Fick'sches Gesetz
  - Zeitlich veränderlicher Zustand im Bauteilvolumen => 2. Fick'sches Gesetz
- Partielle Differentialgleichung des Kohlenstoffkonzentrationsfeldes
 
$$\frac{\partial c_c(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_c \frac{\partial c_c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_c \frac{\partial c_c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_c \frac{\partial c_c}{\partial z} \right)$$

$c_c$  - Kohlenstoffkonzentration       $\mathbf{r}$  - Ortsvektor  
 $t$  - Zeit                                       $T$  - Temperatur  
 $D_c$  - Diffusionskoeffizient       $D_c = f(c_c, T)$
- Grenzbedingungen
  - Anfangsbedingung, Modellierung Kohlenstoffgrundgehalt
  - Randbedingungen 1., 2. und 3. Art, Modellierung verschiedener Aufkohlungsverfahren wie Gas- und Niederdruckaufkohlen
- Wirkung von Legierungselementen, Legierungsfaktor  $k_L$

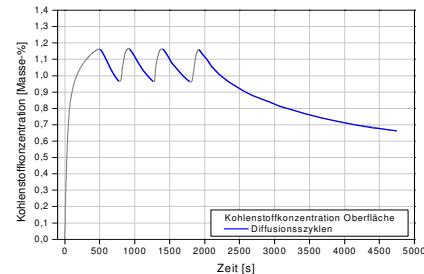
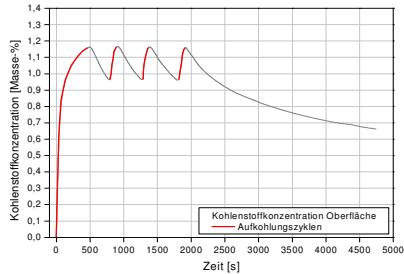
## Modellierung des Niederdruckaufkohlens

- Verwendung von Kohlenwasserstoffen als Aufkohlungsgas ( $C_2H_2$ )
- Bereits nach wenigen Minuten Kohlenstoffrandgehalt in Höhe Sättigungskonzentration
- Praxis: Verwendung von Aufkohlungs- und Diffusionszyklen



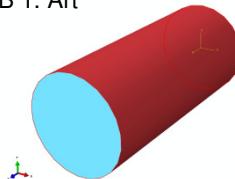
## Modellierung des Niederdruckaufkohlens

- Definition der Randbedingungen (Diemar 2007)



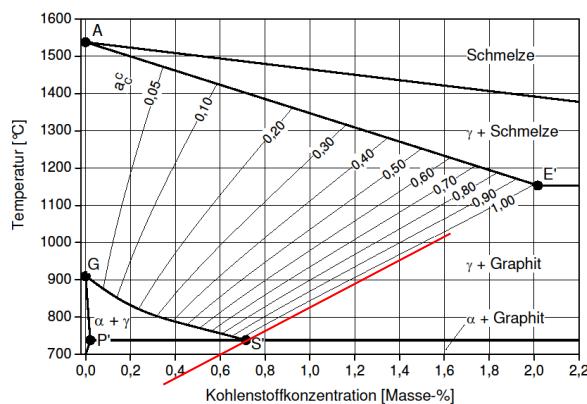
$$C_C(\mathbf{r}, t) \Big|_{\mathbf{r}^{(A)}} = C_{C, \text{Sätt.}}$$

$$j_C^{(A)}(\mathbf{r}^{(A)}, t) = 0$$



## Modellierung des Niederdruckaufkohlens

C-Sättigungskonzentration, relevanter Bereich des Eisen-Kohlenstoff-Diagramms<sup>1,2</sup>

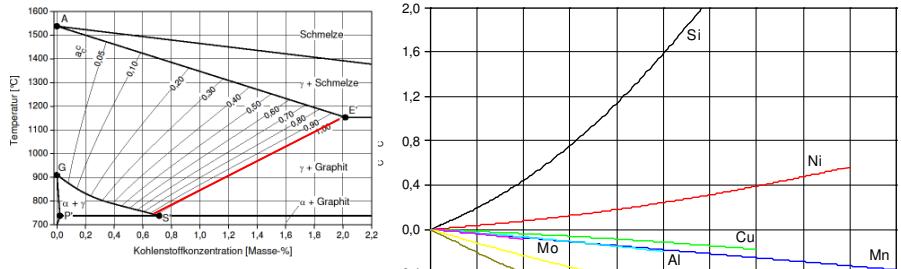


1: Grosch, J., H. Bomas, D. Liedke und H. Streng: Einsatzhären. Grundlagen – Verfahren – Anwendungen – Eigenschaften einsatzgehärteter Gefüge und Bauteile. Expert Verlag, Renningen-Malsheim, 1994

2: Liedke, D.: Merkblatt 452 Einsatzhärten. Stahl-Informations-Zentrum, Düsseldorf, 2. Auflage, 1995.

## Modellierung des Niederdruckaufkohlens

- C-Sättigungskonzentration, Wirkung von Legierungselementen<sup>1,2</sup>



- Legierungsfaktor  $k_L$

$$\lg k_L = - \sum c_x o_c^x$$

$c_x o_c^x$  : Konzentration und Wirkparameter des Legierungselementes X

- Aufkohlungszyklen, Sättigungskonzentration

$$c_{C,Sätt.} = c_C^C (a_C^C = 1) \cdot k_L$$

1: Eckstein, H. J.: Technologie der Wärmebehandlung von Stahl. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 2. Auflage, 1987.

2: Neumann, F. und B. Person: Beitrag zur Metallurgie der Gasaufkohlung. Zusammenhang zwischen dem C-Potential der Gasphase und des Werkstückes unter Berücksichtigung der Legierungselemente. HTM, 23(4):296/308, 1968.

## Implementation in SYSWELD

- Modul zur Analyse von Ausscheidungs- und Diffusionsvorgängen
  - Aufkohlungszyklen: RB 1. Art, Basis:  $c_C(\mathbf{r}, t)|_{r^{(A)}} = c_{C,Sätt.} = f(T, LE)$
  - Diffusionszyklen: RB 2. Art, Basis:  $j_C^{(A)}(\mathbf{r}^{(A)}, t) = 1.0E - 15$
  - Diffusionskoeffizient: Basis C.A.S.H.<sup>1</sup>  $D_C = f(T)$
- Verwendung des FE-Netzes der elastizitätstheoretischen Analyse (Datenaustausch)

1: Forschungsvorhaben: Computer Aided Simulation of Heat Treatment (C.A.S.H.)

## Verifikation anhand experimenteller Ergebnisse

- FKM-Forschungsvorhaben „Einsatzhärten und Dauerfestigkeit“
  - Werkstoff 20MnCrB5 (ZF-Qualität)
 

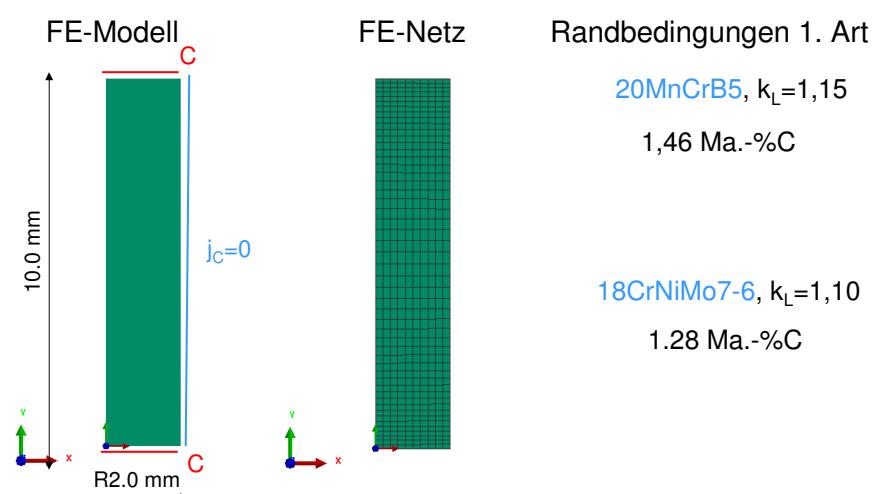
C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Al	V	N
0,178	1,361	0,224	0,131	1,350	0,106	0,025	0,001	0,036
  - Aufkohlungstemperatur 930°C - Äthin, Härtetemperatur 860 °C
 

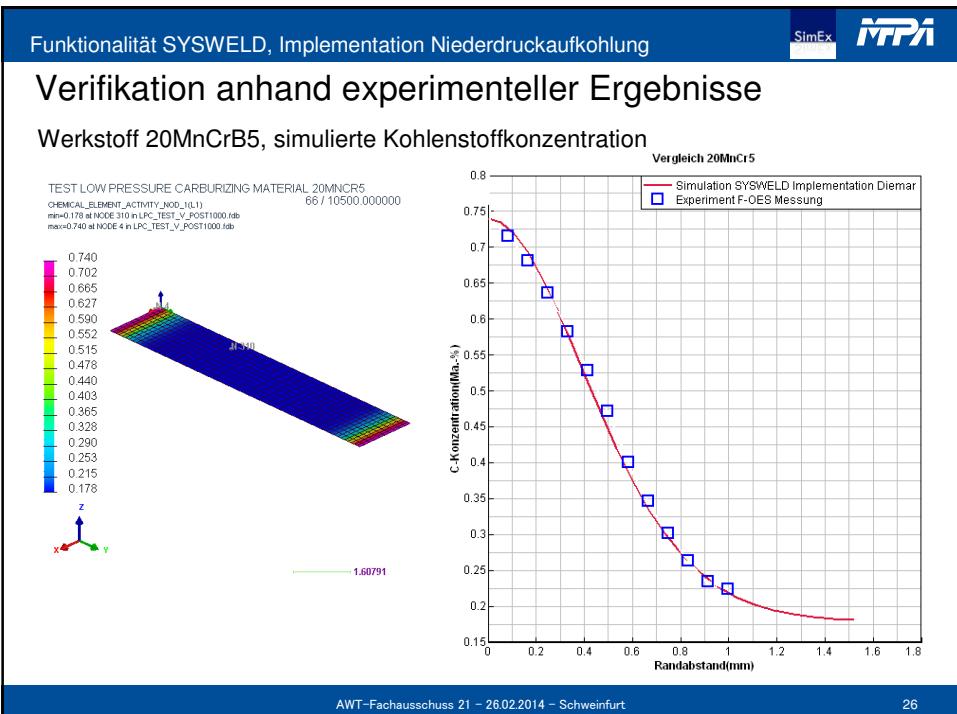
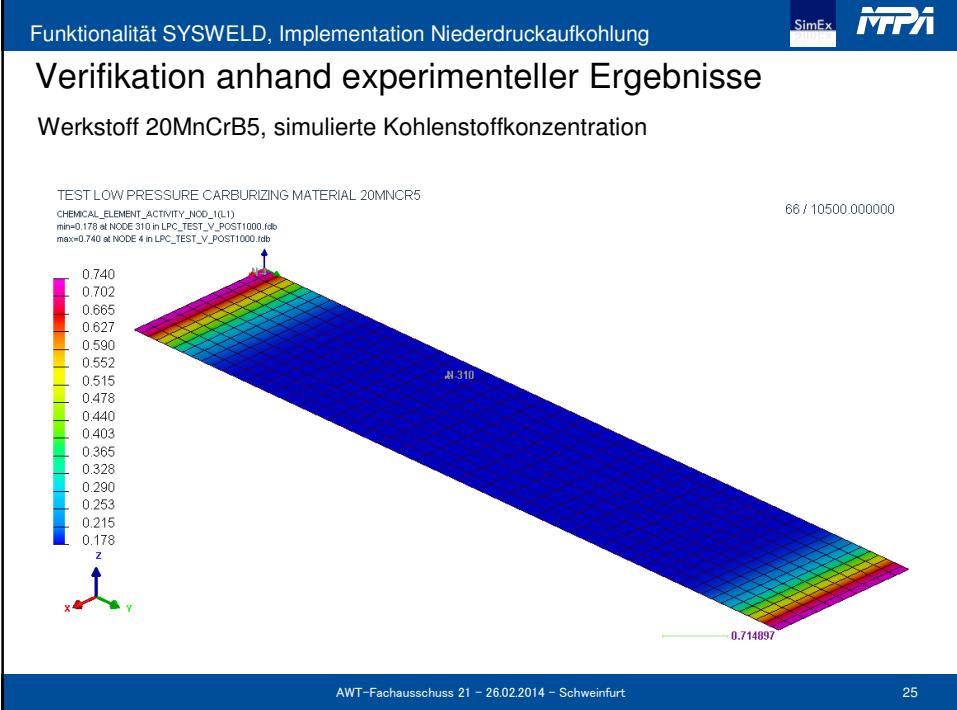
Zyklus	1	2	3	4	5	Abkühlung Härtetemperatur	Halten Härtetemperatur	2. Austen. 860 ° C
A [min]	4,0	4,0	3,0	3,0	1,0	-	-	-
D [min]	5,0	15,0	25,0	25,0	30	10,0	10,0	40,0
- FVV-Forschungsvorhaben „Betriebsfestigkeit von Hochdruckbauteilen mit kleinen Schwingspielen großer Häufigkeit“
  - Werkstoff 18CrNiMo7-6
 

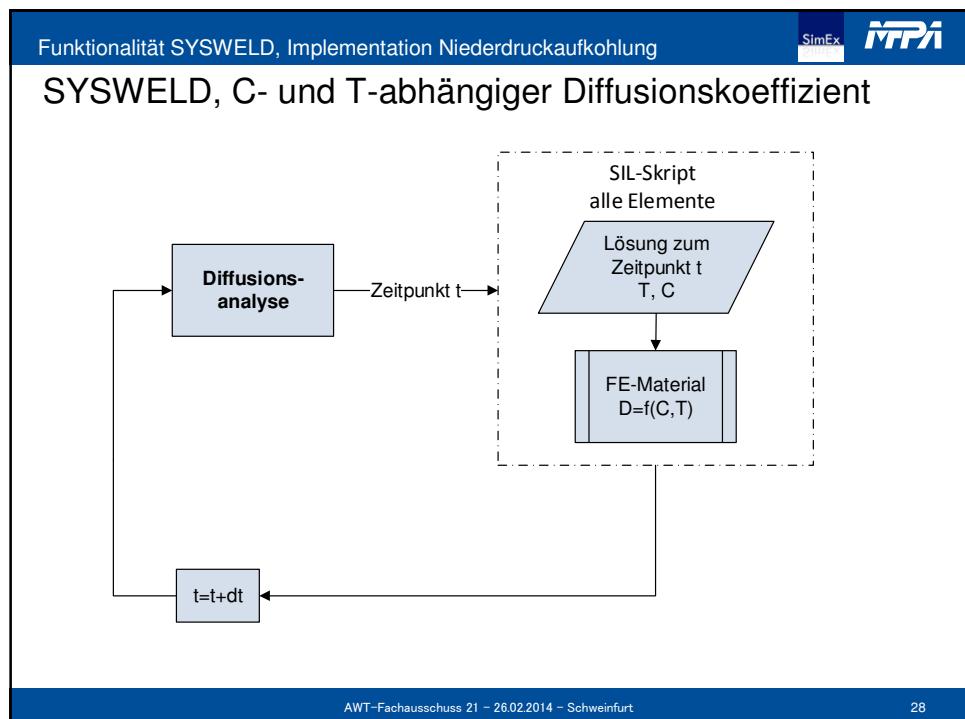
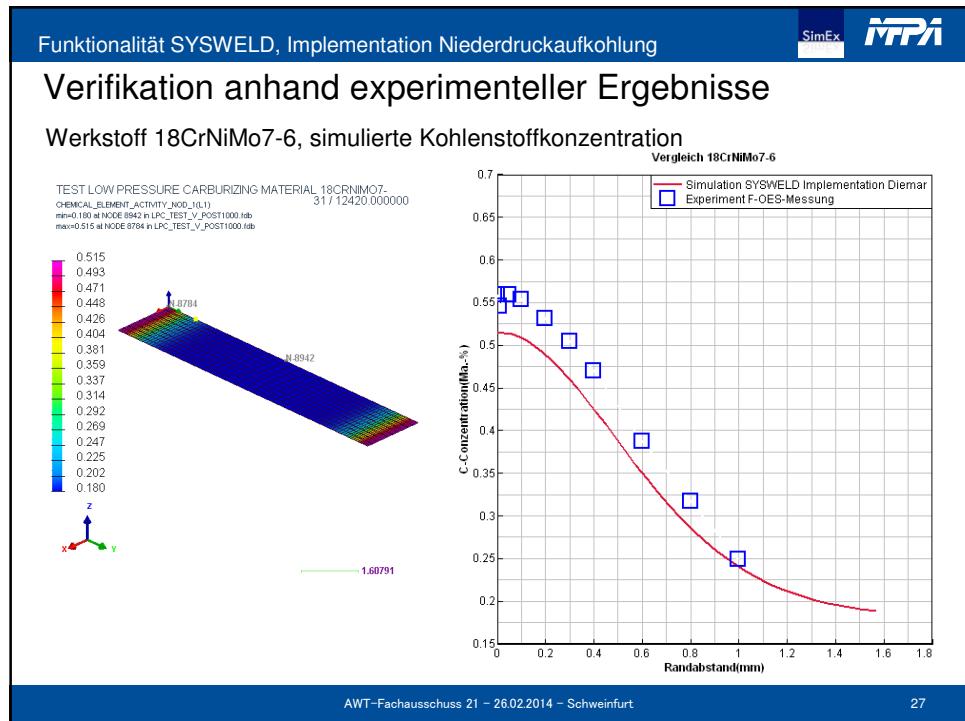
C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Al	V	N
0,178	1,361	0,224	0,131	1,350	0,106	0,025	0,001	0,036
  - Aufkohlungstemperatur 930°C - Äthin, Härtetemperatur 830 °C
 

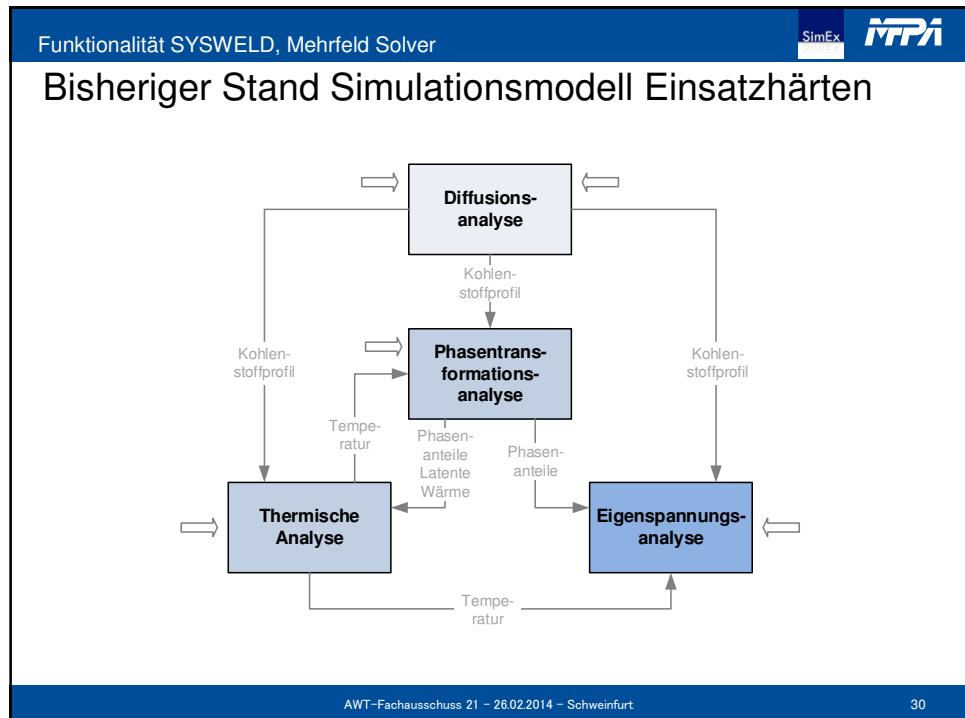
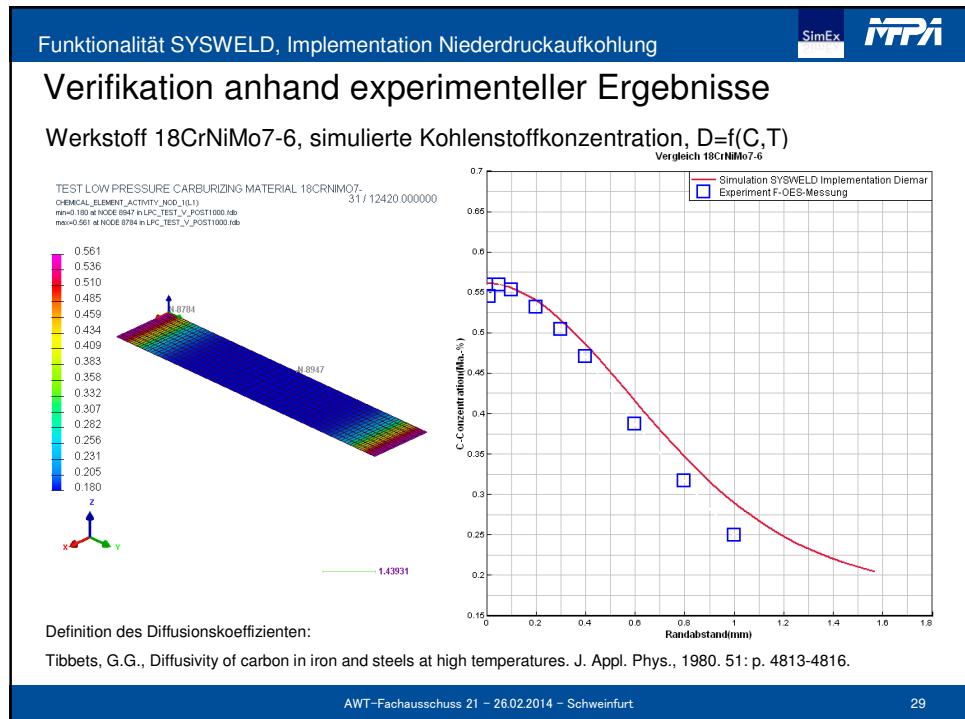
Zyklus	1	2	3	4	5	Abkühlung Härtetemperatur	Halten Härtetemperatur	2. Austen. 860 ° C
A [min]	4,0	4,0	3,0	3,0	1,0	-	-	-
D [min]	5,0	15,0	25,0	25,0	30	10,0	10,0	40,0

## Verifikation anhand experimenteller Ergebnisse

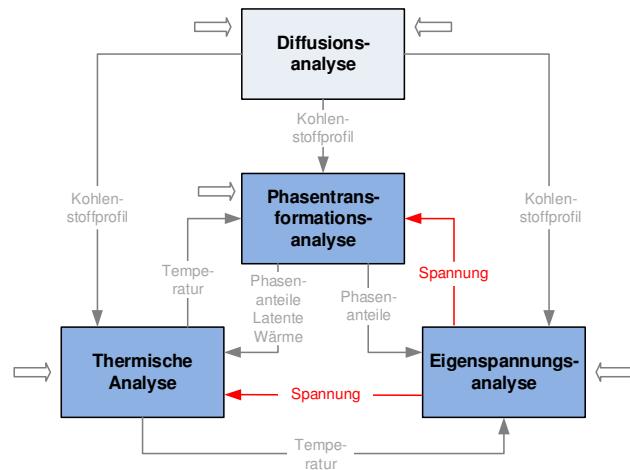




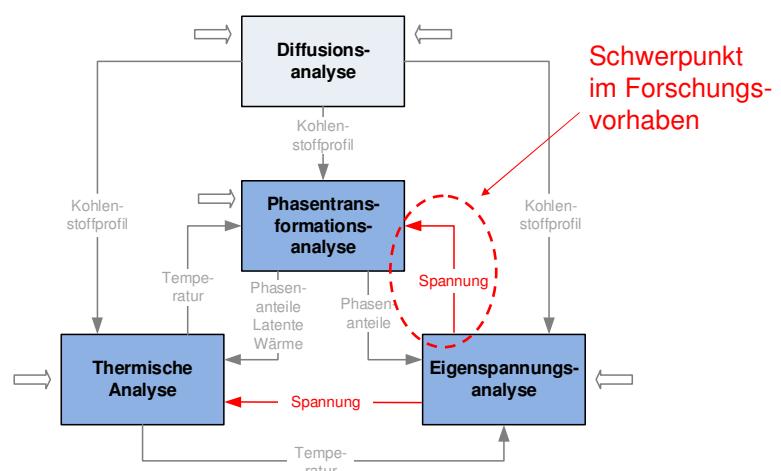




## Erweiterung Simulationsmodell Einsatzhärten

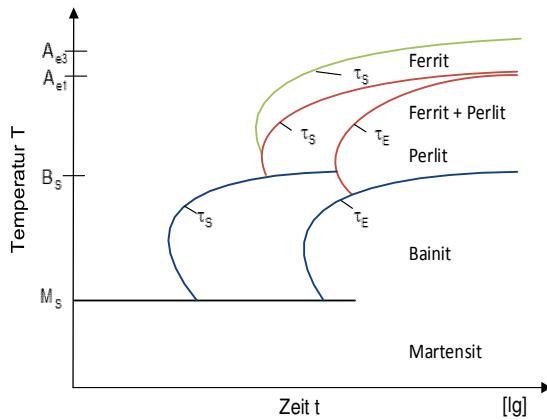


## Erweiterung Simulationsmodell Einsatzhärten



## Mögliche Phasenumwandlungen beim Abkühlen

- Umwandlungen mit vollständiger / eingeschränkter Diffusion:
  - Austenit => Ferrit
  - Austenit => Perlit
  - Austenit => Bainit
- Diffusionslose Umwandlung:
  - Austenit => Martensit
- Darstellung: ZTU-Schaubilder
  - experimentelle Daten nur für wenige C-Konzentrationen verfügbar



## ZTU-Verhalten - Einfluss des Spannungszustandes

- Wirkung der unterschiedlichen Spannungsanteile
  - Dekomposition des Spannungstensors  $\sigma$

$$\sigma = s + pI$$

$s$  – deviatorischer Anteil  
 $p$  – hydrostatischer Anteil       $p = \frac{1}{3} \text{tr}(\sigma)$   
 $I$  – Einheitstensor

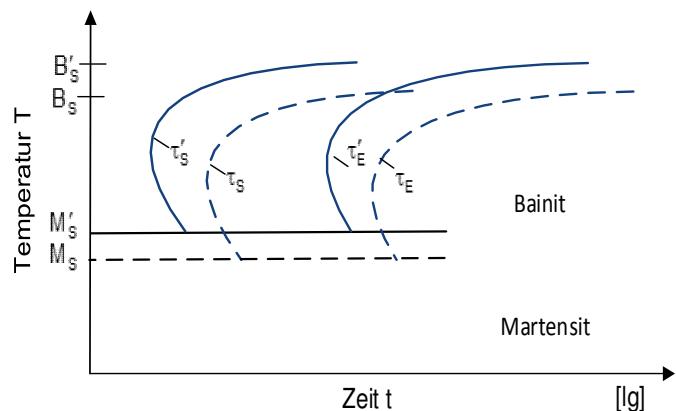
- von Mises Vergleichsspannung

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\frac{3}{2} s : s}$$

## ZTU-Verhalten - Einfluss des Spannungszustandes

- Wirkung von positiven hydrostatischen Spannungen

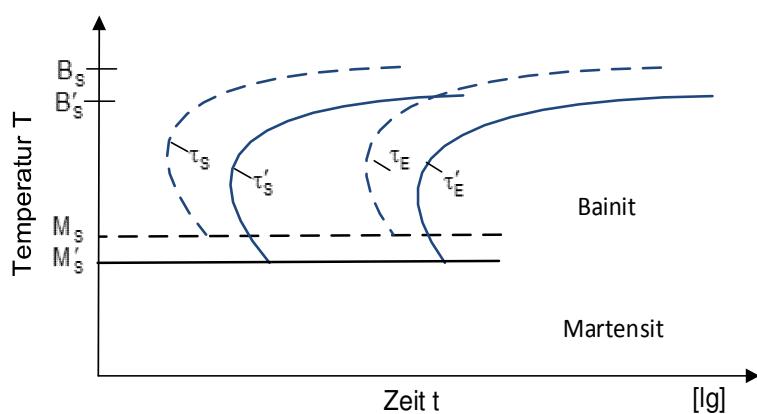
$$\tau_s \rightarrow \tau'_s \text{ bzw. } \tau_E \rightarrow \tau'_E$$



## ZTU-Verhalten - Einfluss des Spannungszustandes

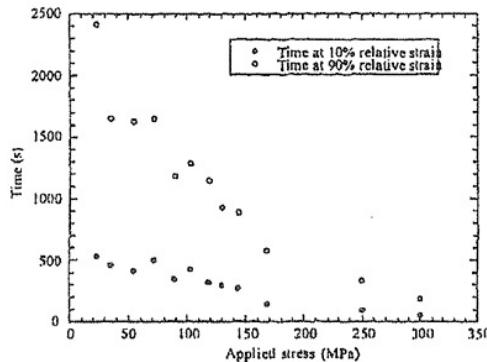
- Wirkung von negativen hydrostatischen Spannungen

$$\tau_s \rightarrow \tau'_s \text{ bzw. } \tau_E \rightarrow \tau'_E$$



## ZTU-Verhalten - Einfluss des Spannungszustandes

- Umwandlung Bainit
  - Untersuchungen von Veaux<sup>1</sup>, Stahl 40CMD8, 320°C

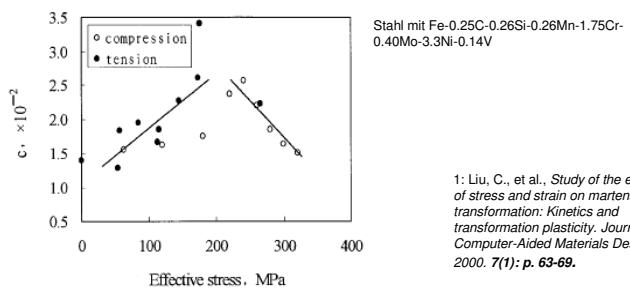


1: Veaux, M., et al., Bainitic transformation under stress in medium alloyed steels. *J. Phys. IV France*, 2001. 11(PR4): p. Pr4-181-Pr4-188.

## ZTU-Verhalten - Einfluss des Spannungszustandes

- Umwandlung Martensit
  - Koistinen-Marburger Gleichung
 
$$V_{Mart} = 1 - \exp(-c(M_S - T))$$

c: kinetischer Materialparameter  
 $M_S$ , T: Martensitstarttemperatur, Temperatur
  - Untersuchung von Liu<sup>1</sup>: Beeinflussung des Parameters c



1: Liu, C., et al., Study of the effects of stress and strain on martensite transformation: Kinetics and transformation plasticity. *Journal of Computer-Aided Materials Design*, 2000. 7(1): p. 63-69.

## ZTU-Verhalten, Einfluss des Spannungszustandes

- Umwandlung Martensit

- Spannungszustand beeinflusst  $M_s$

- nach Inou<sup>1</sup>

$$\Delta M_s = A \cdot p + B \cdot \sigma_e$$

A,B: Materialparameter

$p$ : hydrostatische Spannung

$\sigma_e$ : von Mises-Vergleichsspannung

- Materialparameter A und B nach Denis<sup>2</sup>, Material 60NCD11

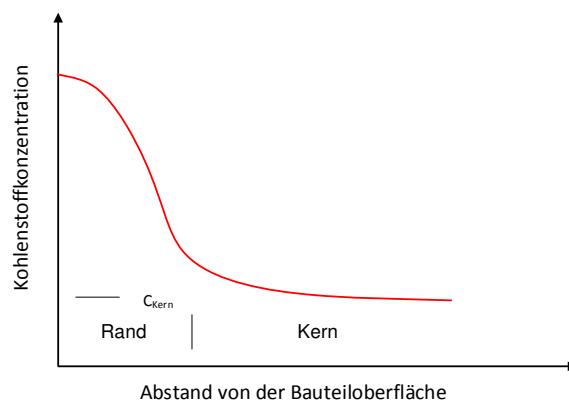
$$A = 5 \cdot 10^{-2} \text{ KN}^{-1} \text{ mm}^2$$

$$B = 0,33 \cdot 10^{-2} \text{ KN}^{-1} \text{ mm}^2$$

1: Inoue, T., Metallo-Thermo-Mechanics--Application to Quenching, in Handbook of Residual Stress and Deformation of Steel, G.E. Totten, M.A.H. Howes, and T. Inoue, Editors. 2002, ASM International: Materials Park, Ohio. p. 296-311.

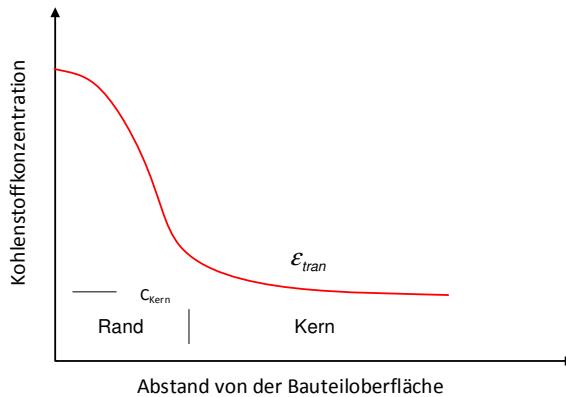
2: Denis, S., et al., Stress-phase transformations interactions - principles, modelling, and calculation of internal stresses. Materials Science and Technology, 1985. 1: p. 805-814.

## Folgerungen aus dem Kohlenstoffverlauf



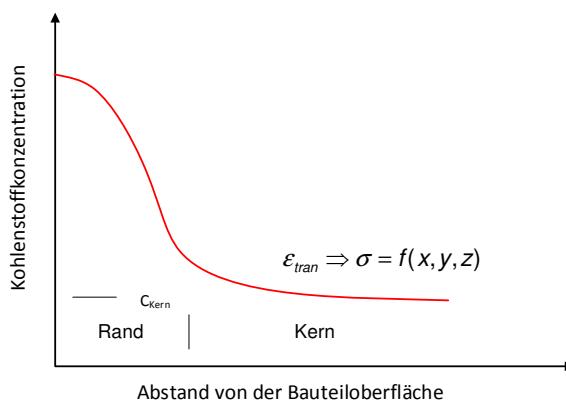
- Unterschiedliche thermophysikalische Werkstoffkennwerte
- Unterschiedliche thermomechanische Werkstoffkennwerte
- Unterschiedliches ZTU-Verhalten**

## Folgerungen aus dem Kohlenstoffverlauf



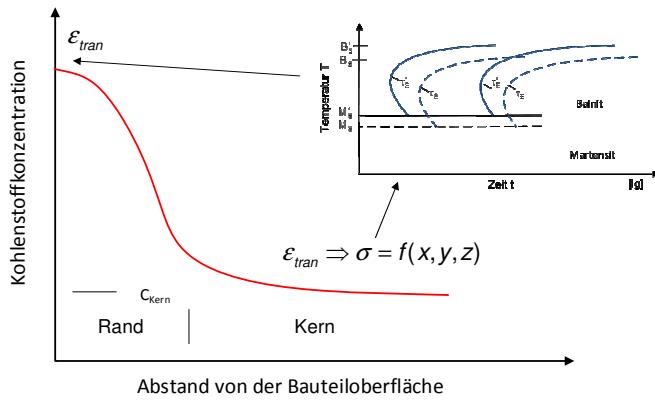
- i. A. Beginn der Phasenumwandlungen im Bauteilkern

## Folgerungen aus dem Kohlenstoffverlauf



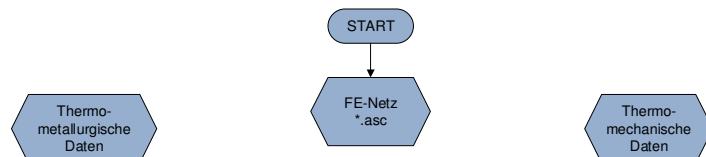
- i. A. Beginn der Phasenumwandlungen im Bauteilkern
- Einfluss des induzierten Spannungszustandes auf andere Bauteilbereiche

## Folgerungen aus dem Kohlenstoffverlauf

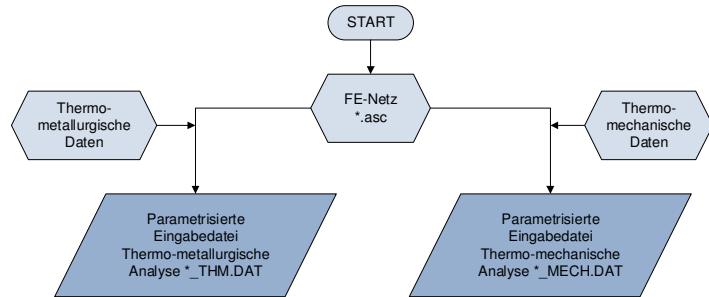


- i. A. Beginn der Phasenumwandlungen im Bauteilkern
  - Einfluss des induzierten Spannungszustandes auf andere Bauteilbereiche
- => Unterschiedliches ZTU-Verhalten**

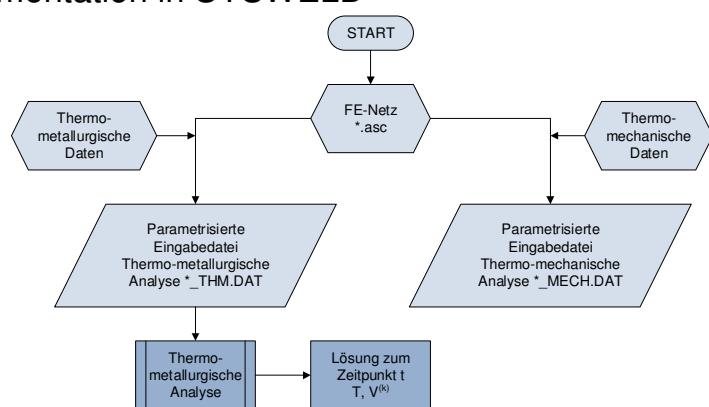
## Implementation in SYSWELD



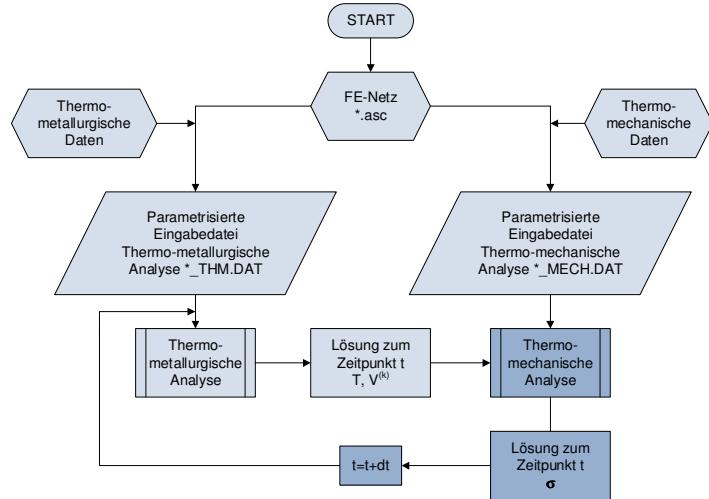
## Implementation in SYSWELD



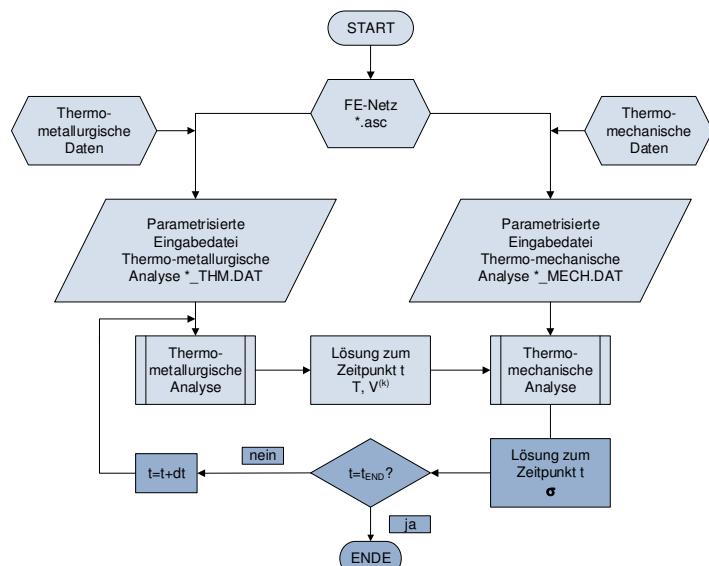
## Implementation in SYSWELD



## Implementation in SYSWELD

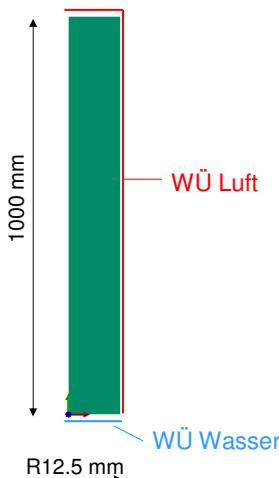


## Implementation in SYSWELD



## Beispiel Jominy-Probe, Einsatzstahl 16MnCr5

FE-Modell



FE-Netz



Untersuchte Varianten

Variante I – ohne Kopplung

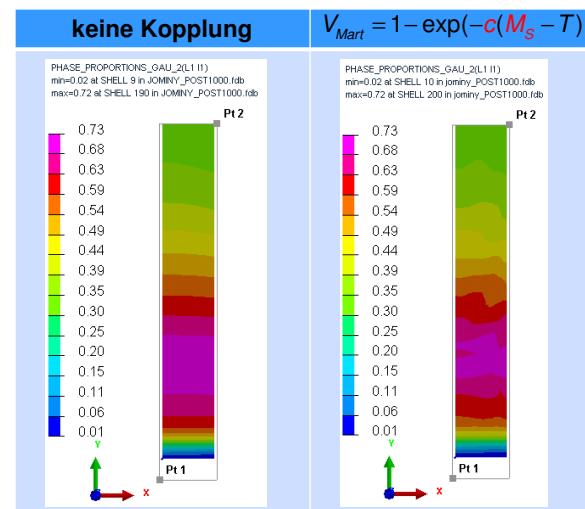
Variante II

$$V_{Mart} = 1 - \exp(-c(M_s - T))$$

$$c, M_s = f(\sigma)$$

## Beispiel Jominy-Probe, Einsatzstahl 16MnCr5

t=1000 s, Volumenfraktion Bainit



## Beispiel Jominy-Probe, Einsatzstahl 16MnCr5

t=1000 s, Volumenfraktion Martensit

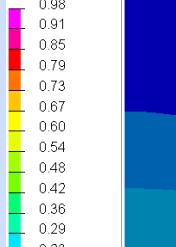
keine Kopplung

$$V_{Mart} = 1 - \exp(-c(M_s - T))$$

PHASE\_PROPORTIONS\_GAU\_3(L1 II)

min=0.05 at SHELL 500 in JOMINY\_POST1000.fdb

max=0.98 at SHELL 9 in JOMINY\_POST1000.fdb



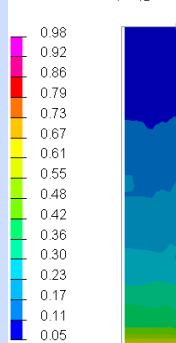
Pt 2

Pt 1

PHASE\_PROPORTIONS\_GAU\_3(L1 II)

min=0.05 at SHELL 490 in jominy\_POST1000.fdb

max=0.98 at SHELL 10 in jominy\_POST1000.fdb



Pt 2

Pt 1

## Beispiel Jominy-Probe, Einsatzstahl 16MnCr5

t=1000 s, von Mises Vergleichsspannung [N/mm<sup>2</sup>]

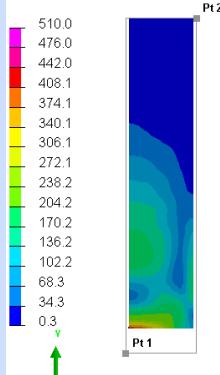
keine Kopplung

$$V_{Mart} = 1 - \exp(-c(M_s - T))$$

STRESSES\_GAU\_Von Mises(L1 II)

min=0.3 at SHELL 322 in JOMINY\_POST2000.fdb

max=417.2 at SHELL 1 in JOMINY\_POST2000.fdb



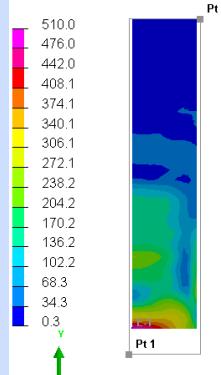
Pt 2

Pt 1

STRESSES\_GAU\_Von Mises(L1 II)

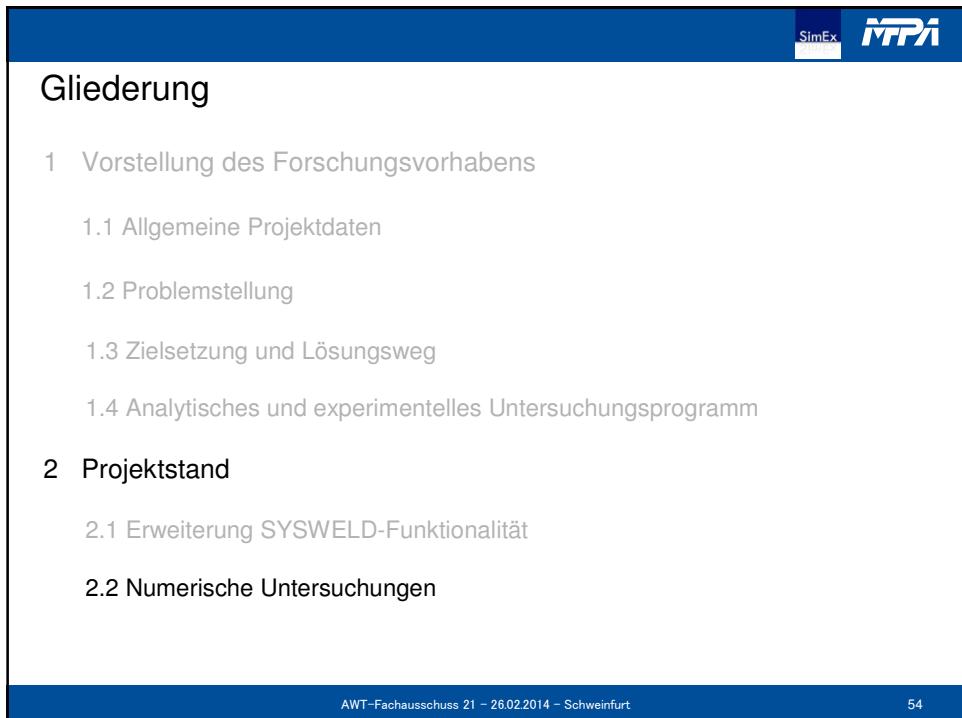
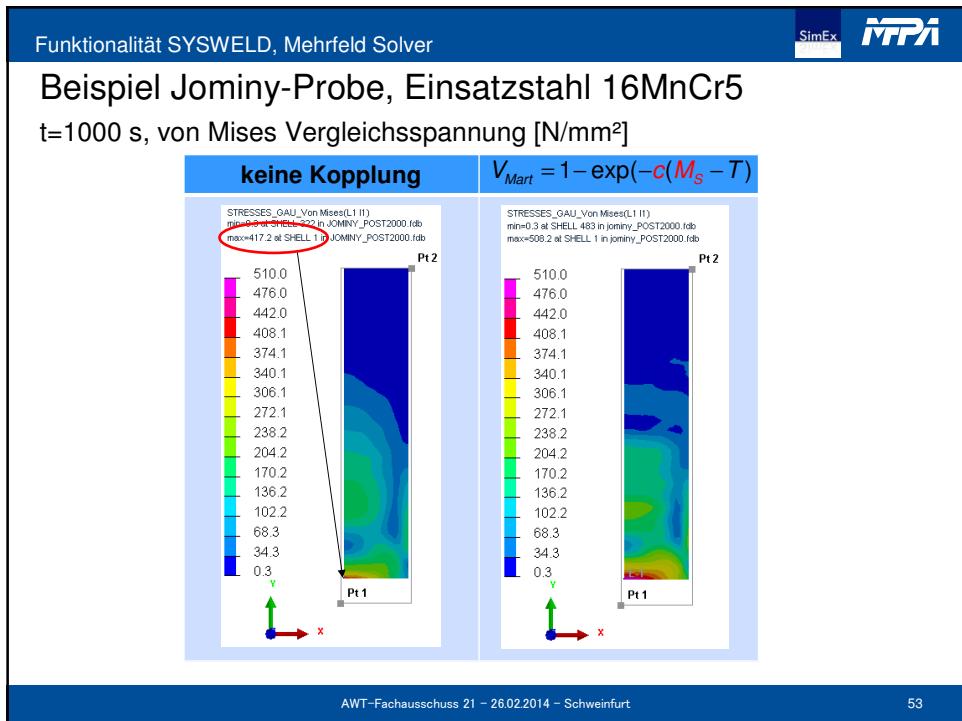
min=0.3 at SHELL 483 in jominy\_POST2000.fdb

max=508.2 at SHELL 1 in jominy\_POST2000.fdb



Pt 2

Pt 1



## Niederdruckaufkohlung Welle mit Absatz

- Simulation anhand Flachprobendaten 20MnCr5
  - FKM-Forschungsvorhaben „Einsatzhärten und Dauerfestigkeit“
    - Werkstoff 20MnCr5 (ZF-Qualität)
    - Aufkohlungstemperatur 930°C - Äthin, Härtetemperatur 860 °C

C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Al	V	N
0,178	1,361	0,224	0,131	1,350	0,106	0,025	0,001	0,036

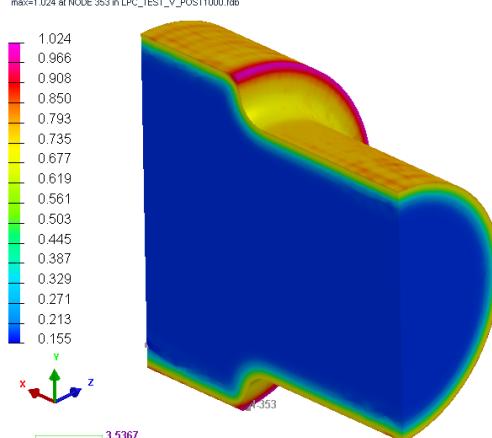
Zyklus	1	2	3	4	5	Abkühlung Härtetemperatur	Halten Härtetemperatur	2. Austen. 860 ° C
A [min]	4,0	4,0	3,0	3,0	1,0	-	-	-
D [min]	5,0	15,0	25,0	25,0	30	10,0	10,0	40,0

- FE-Modell der elastizitätstheoretischen Analyse

## Niederdruckaufkohlung Welle mit Absatz

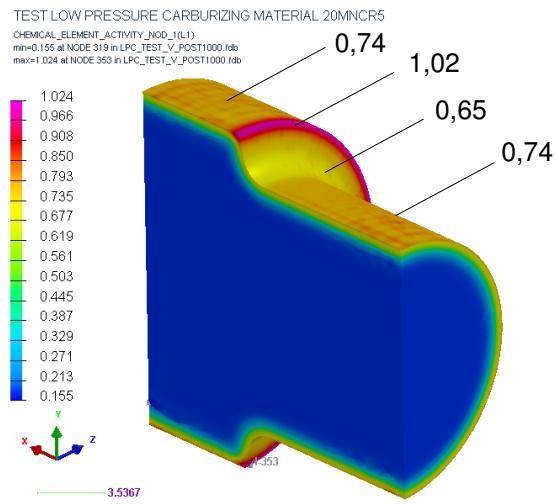
- Kohlenstoffkonzentration am Ende des Aufkohlens

TEST LOW PRESSURE CARBURIZING MATERIAL 20MNCR5  
 CHEMICAL\_ELEMENT\_ACTIVITY.NODE\_1(L1)  
 min=0.155 at NODE 319 in LPC\_TEST\_V\_POST1000.idb  
 max=1.024 at NODE 353 in LPC\_TEST\_V\_POST1000.idb



## Niederdruckaufkohlung Welle mit Absatz

- Kohlenstoffkonzentration am Ende des Aufkohlens Ma.-%



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!