

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

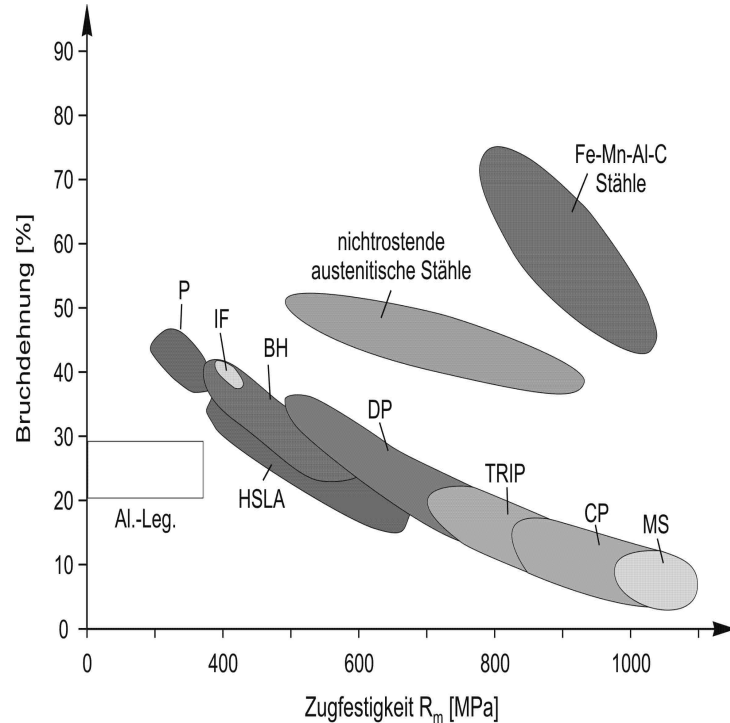
ADVANCED MATERIALS PROCESSING AND MICROFABRICATION

Simulation des IK-Glühens (am Beispiel eines DP-Stahls)

Struktur

1. Einleitung / Wiederholung: DP-Stahl
2. Beispiel für „Uphill-Diffusion“: C-Diffusion // „Darken“-Experiment
3. Calphad: Gleichgewichtszustand DP-Stahl
4. Diffusionsrechnungen für DP-Warmband
5. Diskussion: Unterschiede bei DP-Kaltband
6. Zusammenfassung
7. ANHANG: Bedienung der Software ThermoCalc

Einordnung höherfester schweißgeeigneter Stähle



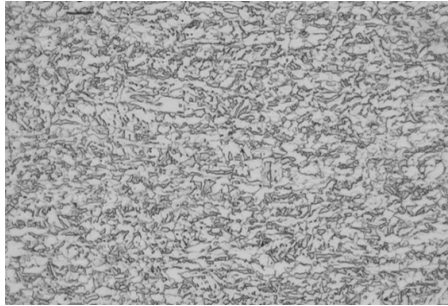
Im Vergleich zu austenitischen Stählen und Aluminiumlegierungen:

- P = phosphorlegiert
- IF = interstitial free
- HSLA = high strength, low alloy
- BH = bake hardening
- DP = dual phase
- TRIP = transition induced plasticity
- CP = Complexphasen
- MS = Martensitphasen
(nach U. Brück und G. Frommeyer).

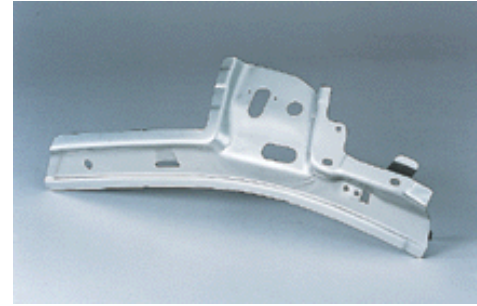
Quelle: Eisenwerkstoffe: Berns, Theisen 2008

Dualphasenstähle

Stahlsorte		Chemische Zusammensetzung Massenanteile in %							Streckgrenze $R_{p0.2}$ MPa min. max.		Zugfestigkeit R_m MPa min. max.		Bruch- dehnung A80 %
	TKS	C max.	Mn max.	Si max.	P max.	S max.	Al max.	Cr+ Mo					
HCT500X	DP500	0,14	2,0	0,15	0,08	0,015	0,015	1,0	290	360	500		25
HCT600X	DP600	0,14	2,0	0,15	0,08	0,015	0,015	1,0	330	400	600		20



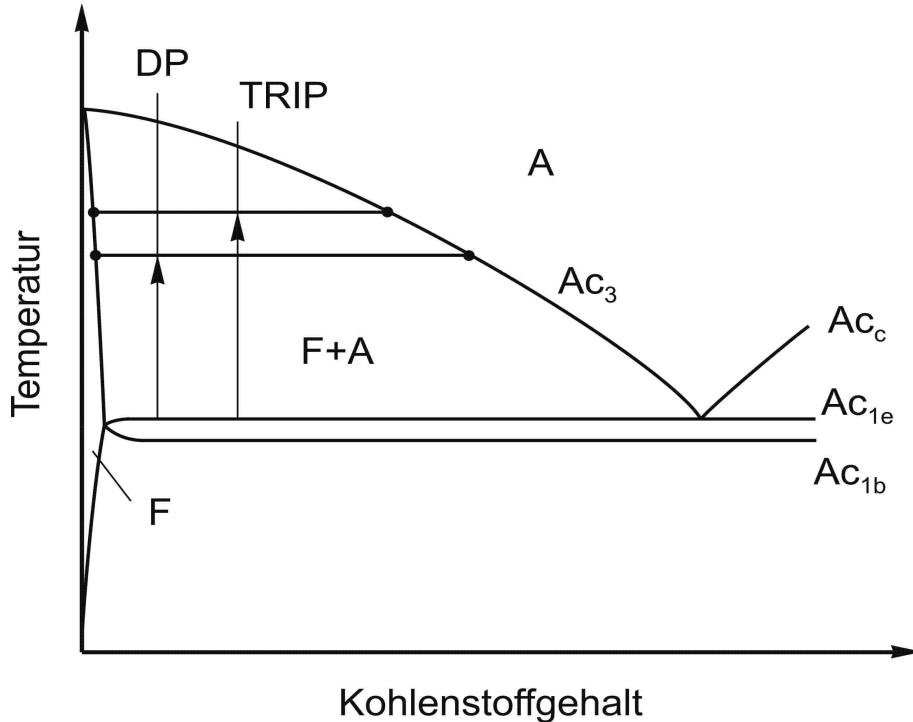
- Ferritische Matrix mit eingelagerten Martensitinseln
- Gute Umformeigenschaften im höheren Festigkeitsniveau
- günstiges Rückfederungsverhalten
- hohes Verfestigungs- und Energieabsorptionsvermögen



- crashrelevante Teile,
- festigkeitsrelevante Teile

Quelle: ThyssenKrupp Stahl

Interkritische Gefügeeinstellung

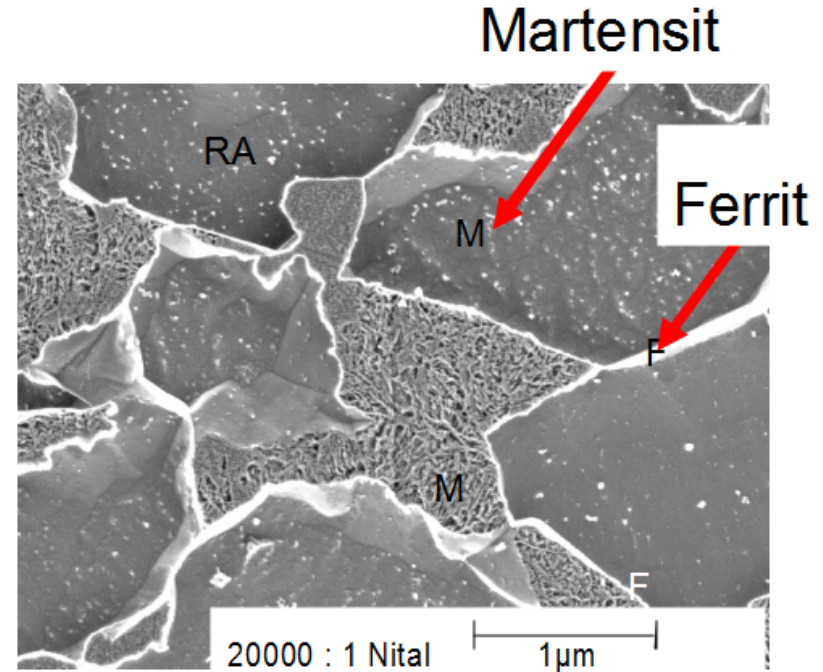
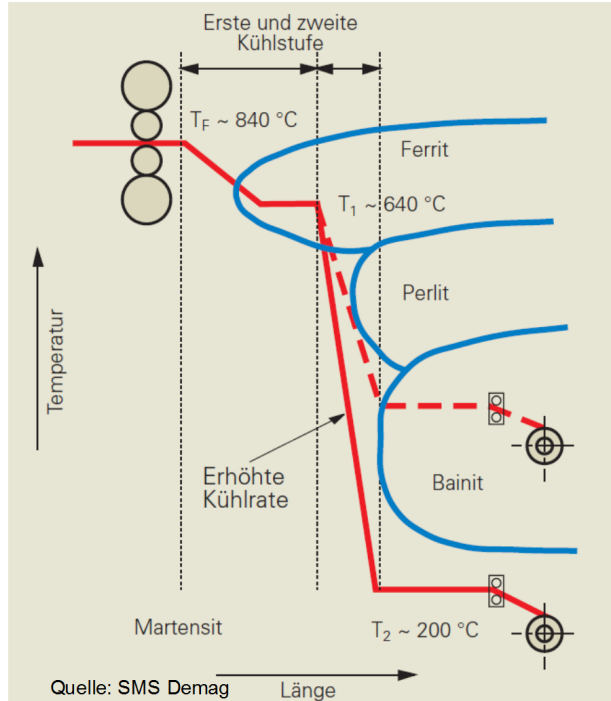


Interkritische Gefügeeinstellung (schematisch):

- Durch Halten im Zweiphasengebiet stellen sich nach dem Hebelgesetz gleichgewichtsnahe Anteile von Ferrit und Austenit ein, deren Menge durch Legierungsgehalt und Temperatur variiert werden kann.
- In einem Dualphasenstahl mit $\approx 0.1\% \text{ C}$ soll überwiegend Ferrit entstehen, in einem TRIP-Stahl mit $\approx 0.2 \text{ C}$ nur zur Hälfte.
- Da im Ferrit wenig Kohlenstoff gelöst wird, reichert er sich im Austenit an.

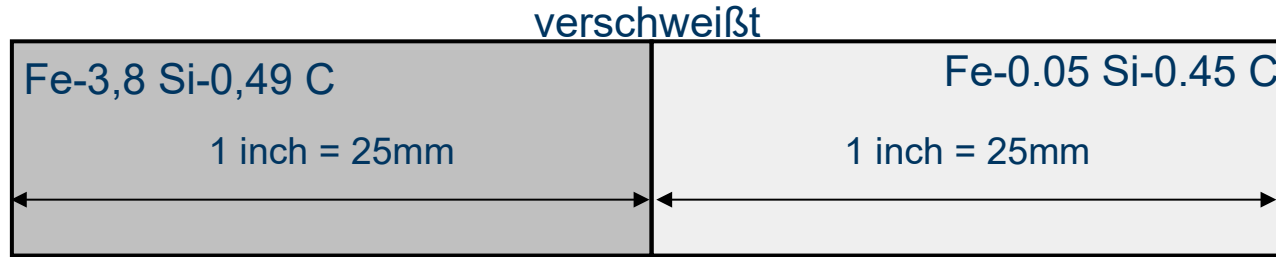
Quelle: Eisenwerkstoffe: Berns, Theisen 2008

Herstellung eines warmgewalzten Dualphasenstahles



Quelle: ThyssenKrupp Stahl

C-Diffusion und Darken-Experiment



Wärmebehandlung: 13 Tage. 1050°C

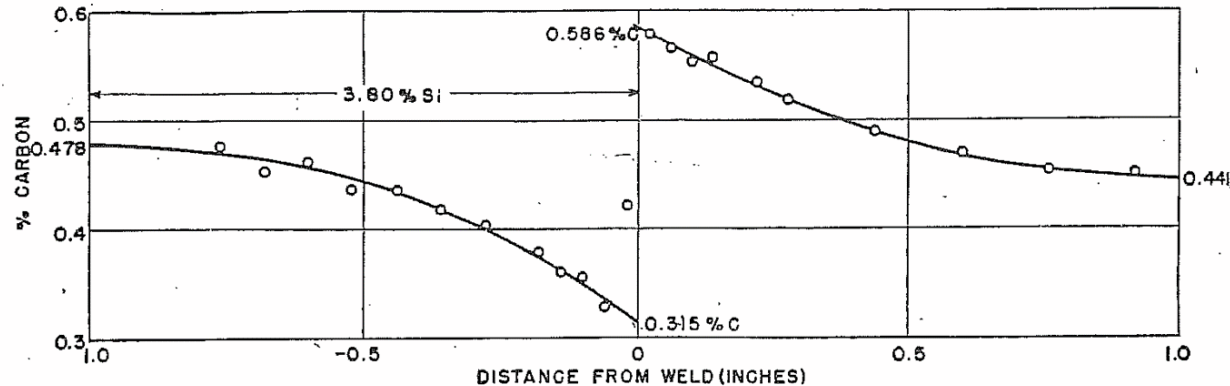
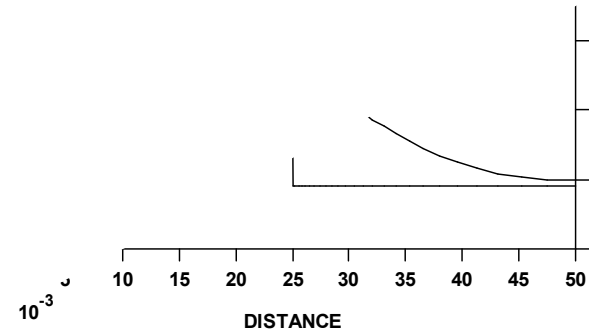
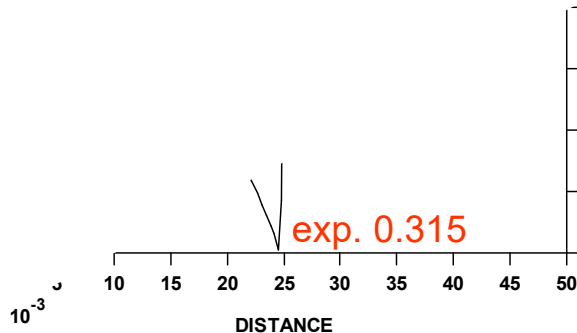


FIG 2—CARBON DISTRIBUTION IN WELDED SPECIMEN NO. 2 AFTER 13 DAYS AT 1050°C.

C-Diffusion und Darken-Experiment

exp. 0.586

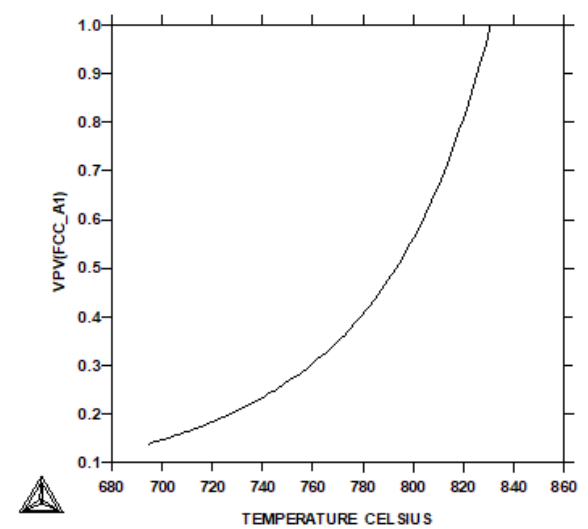
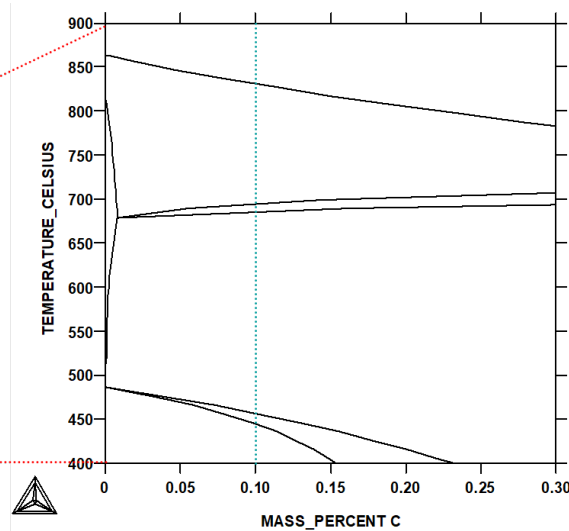
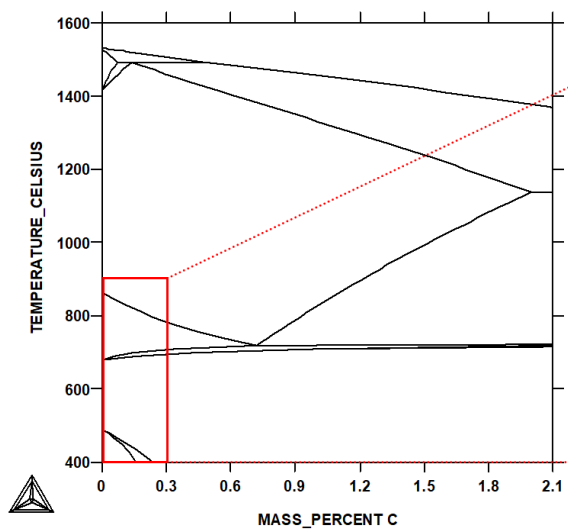
Simulation
„Dictra“
13d, 1050°C



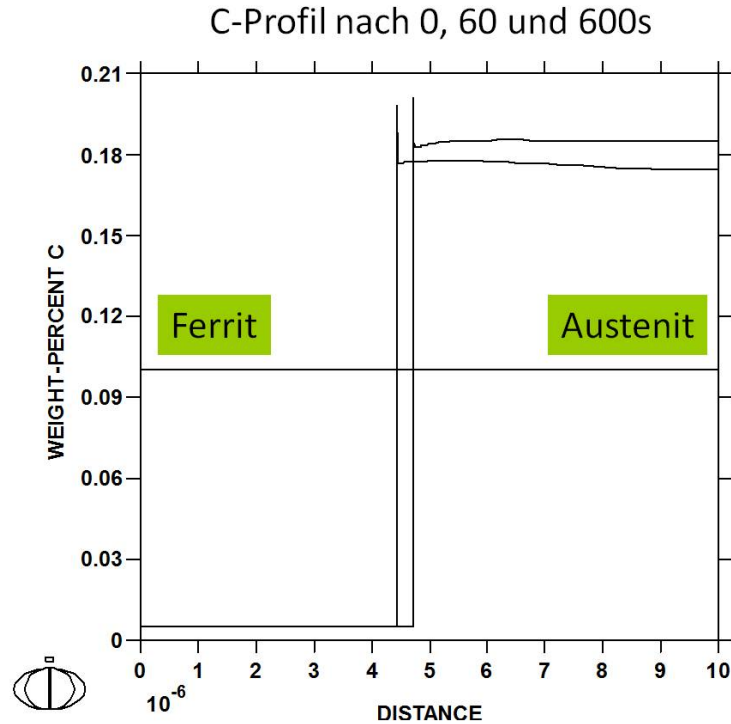
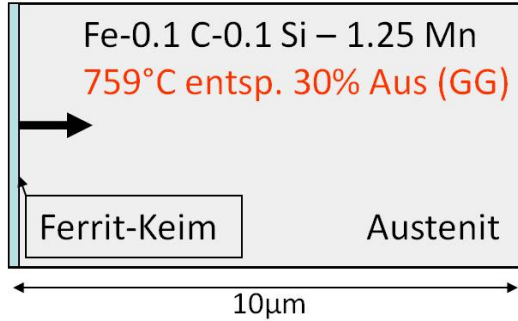
C-Diffusion wird kontrolliert durch Si bzw. daraus resultierende C-Aktivität
Stichwort: „Uphill“ Diffusion => Vorgang, der oft auftritt !

Gleichgewichtszustand DP-Stahl

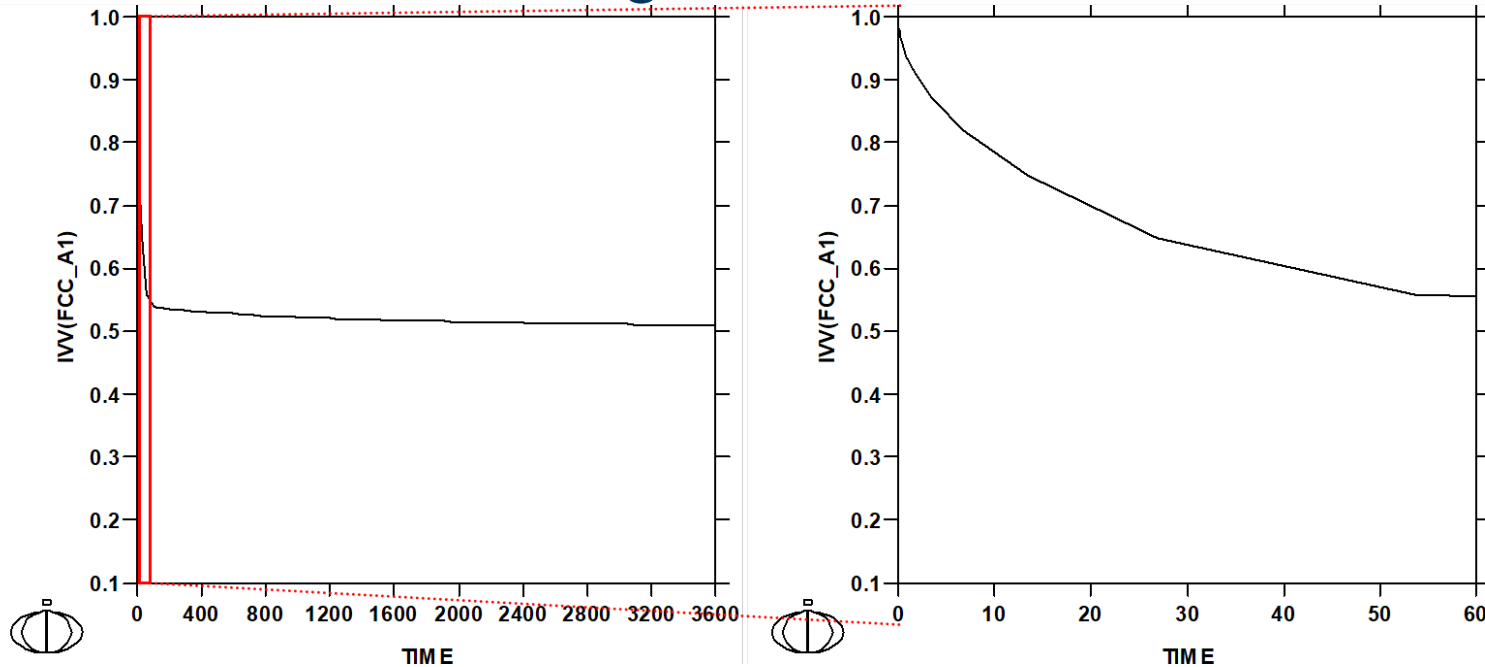
	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr+Mo	Fe
HCT600X	< 0.15	<0.15	<1.5	<0.05	<0.01	<0.06	<0.9	Rest
Simulation	0.1	0.1	1.25	0	0	0	0	Rest



Diffusionsrechnungen für DP-Warmbad

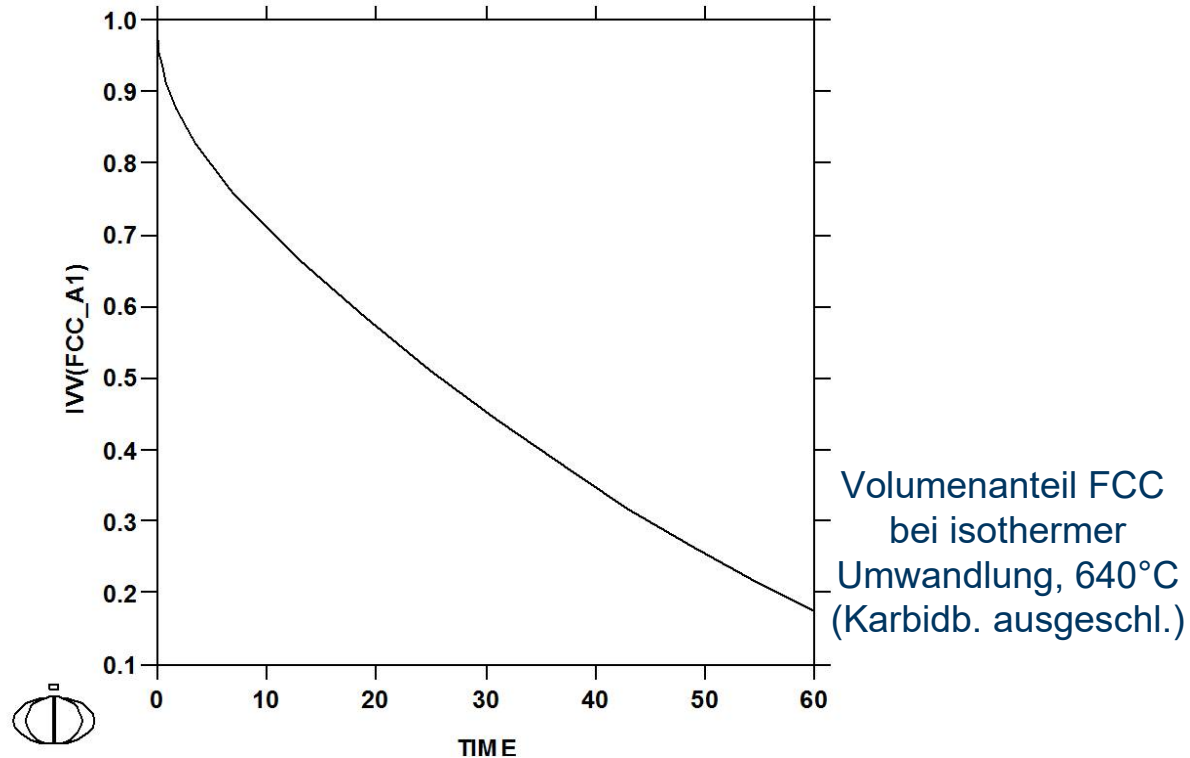


Diffusionsrechnungen für DP-Warmbad

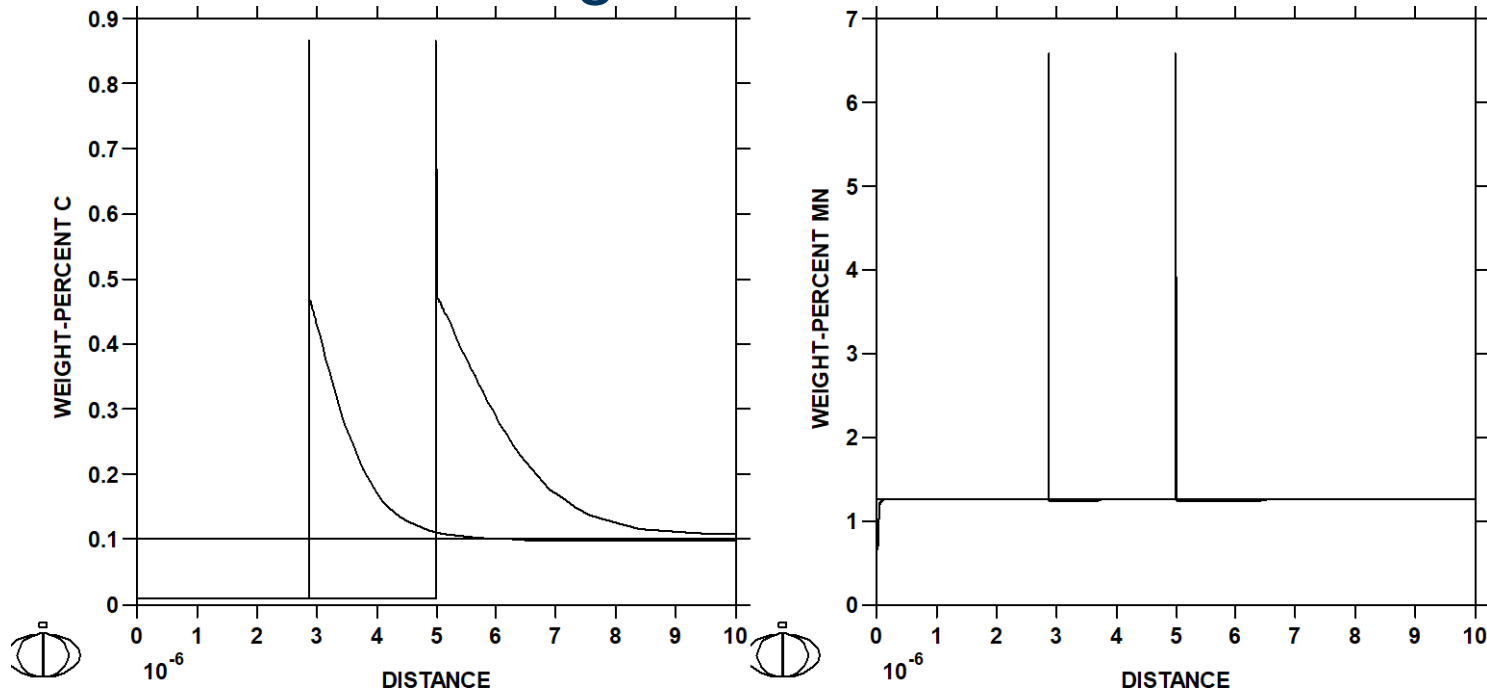


Volumenanteil FCC bei
isothermer Umwandlung, 759°C

Diffusionsrechnungen für DP-Warmbad



Diffusionsrechnungen für DP-Warmbad



C- und Mn-Elementprofile bei isothermer Umwandlung (640°C) nach 0, 10 und 30 Sekunden

Unterschiede bei DP-Kaltband

- alpha-gamma statt gamma-alpha Umwandlung (IK-Glühung)
- Das ZTA-Verhalten ist relevant, da der Ausgangszustand überwiegend ferritisch vorliegt
- Abhängig vom C-Gehalt => Gefüge aus Ferrit + Karbiden bei RT
- Kinetik der Karbid-Auflösung muss während des IK-Glühens berücksichtigt werden, um einen 2-phasigen $\alpha+\gamma$ -Zustand zu erhalten
- *Aufgabe: Diskutieren Sie die Unterschiede zwischen der Warm- und Kaltbandfertigung am Beispiel der Herstellung von TRIP-Stahl!*

Zusammenfassung

- Entscheidend für (gerichtete) Diffusion ist nicht der Gradient der Konzentration, sondern des chemischen Potentials
=> Erklärung für “Uphill”-Diffusion
- Interkritisches Glühen von DP-Stahl erfolgt im Zweiphasenfeld α - γ
- Die Umwandlung (IK-Glühen Warmband) bei Gleichgewichts-Temperatur nicht schnell genug für eine industrielle Produktion
- Umwandlung bei tieferer Temperatur => größere Unterkühlung
- Beweglich ist im technischen Prozess im Wesentlichen C, nicht jedoch die substituierten Elemente (Si, Mn etc.)
- Gleichgewichtseinstellung auch abhängig von mikrostrukturellen Dimensionen (kurze Diffusionswege führen zu beschl. GG-Einstellung)

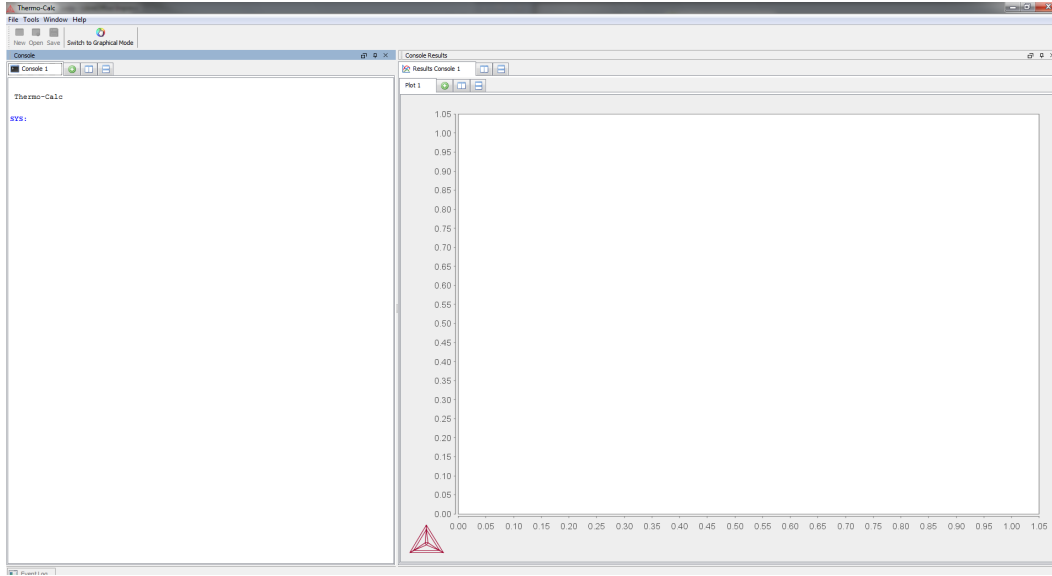
Überprüfungsfragen

1. Nennen Sie eine typische Zusammensetzung von TRIP und TWIP Stahl.
2. Welches Gefüge weisen diese Stähle vor einer Umformung auf ?
3. Welche Gefügebestandteile weist ein DP-Stahl auf ?
4. Vergleichen Sie die Fertigung von DP als Kalt- und Warmband.
5. Wieso hilft einem bei DP-Stahl die Berechnung des Gleichgewichts-Gehaltes an gamma und alpha für das IK-Glühlen nicht weiter?
6. Auf welche Weise erhält man in kurzer Zeit hohe Gehalte an alpha bei der IK-Glühung von DP-Stahl?
7. Was verstehen Sie unter „Uphill-Diffusion“?
8. Wie ließe sich eine gleichmäßige Verteilung aller enthaltenen Legierungselemente (interst. / subst.) während des IK-Glühens erzielen?

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit und Ihre Mitarbeit !

Prof. Dr.-Ing. Sebastian Weber
Fakultät für Maschinenbau
Lehrstuhl Werkstofftechnik
Universitätsstr. 150, IC 03-319
D-44801 Bochum

ANHANG: ThermoCalc



Das Programm ThermoCalc kann im „console mode“ oder „graphical mode“ ausgeführt werden. Bitte nutzen Sie für wiss. Arbeiten den Konsolenmodus. Der Aufbau ist modular mit den folgenden für Berechnungen wesentlichen Modulen:

- sys: Systemmodul (u.a. set-log-file)
- data: Datenbankmodul (Auswahl der TD-Datenbank, Definition des Systems)
- poly-3: Modul zur Minimierung der Gibbs-Energie (GG-Berechnungen)
- post: Modul zur Datenaufbereitung und -darstellung

Alle Informationen sind nachschlagbar im Benutzerhandbuch (pdf) !

ANHANG: ThermoCalc

Alle Befehle können abgekürzt werden, sofern die Abkürzung eindeutig ist. Bereits verwendete Befehle können mit Pfeil-Auf / Pfeil-Ab erneut aufgerufen werden.

sys: Systemmodul

set-log-file => erzeugt Log-Datei, nutzbar als Makro (Endung .tcm)

? => zeigt alle Befehle des aktuellen Moduls an

goto_module => wechsel zwischen Modulen

macro_file_open => öffnet ein Makro

data: Datenbankmodul

switch => wechselt zwischen Datenbanken / zeigt vorh. Datenbanken an

database_information => zeigt Informationen zur gewählten Datenbank

define_elements => Elemente des Systems auswählen

reject => entfernt Phasen, Elemente, Species, Constituents

restore => fügt Phasen, Elemente, Species, Constituents hinzu

list_system => stellt z.B. alle Phasen im aktuellen System dar

get_data => liest Daten auf TD-Datenbank ein

poly-3: Modul zur Minimierung der Gibbs-Energie

set_condition => legt Randbedingungen fest (n=Stoffmenge; T=Temp.; p=Druck; x(z)/w(z)=Stoffmengenanteil.)

list_condition => zeigt alle TD-Randbedingungen an (Anzahl Freiheitsgrade muss 0 sein für GG-Berechnung)

compute_equilibrium => berechnet einen Gleichgewichtszustand

list_equilibrium => zeigt GG-Zustand an

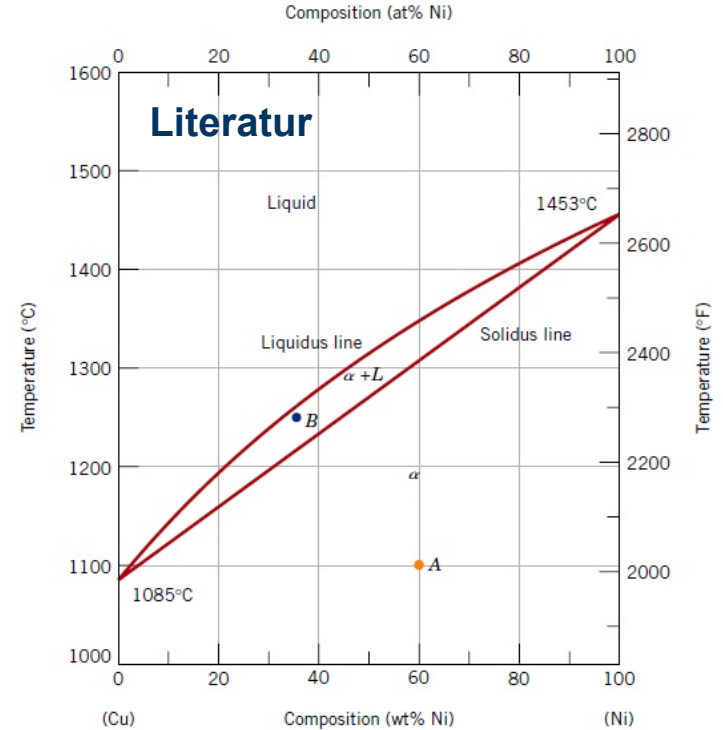
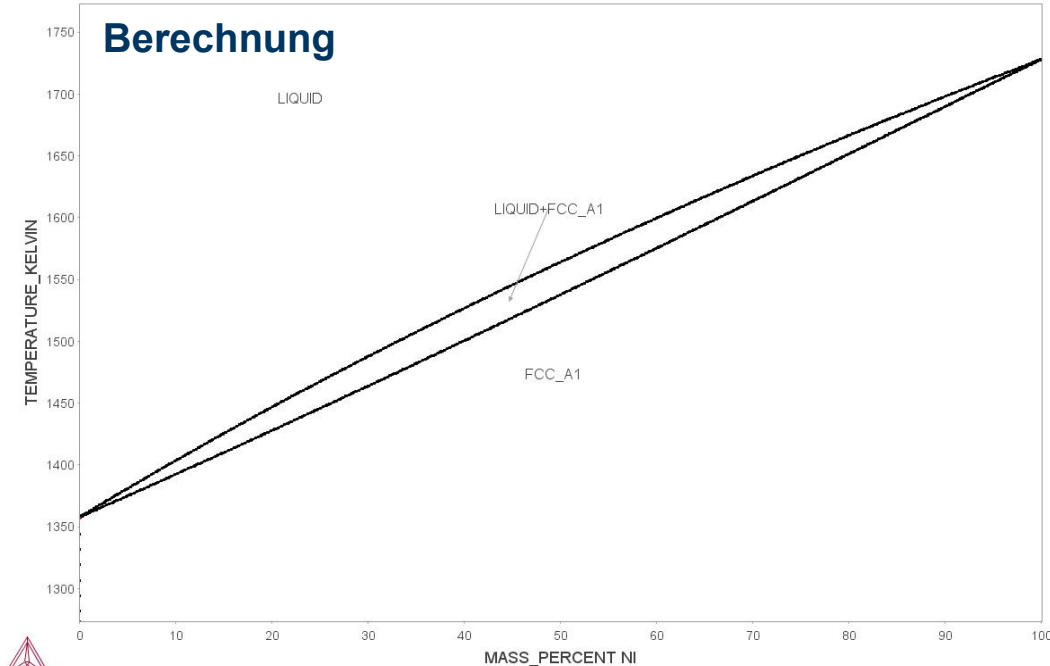
set_axis_var => legt Achsenvariablen fest (1 bis 3 möglich)

step => berechnet GG entlang EINER Variablen

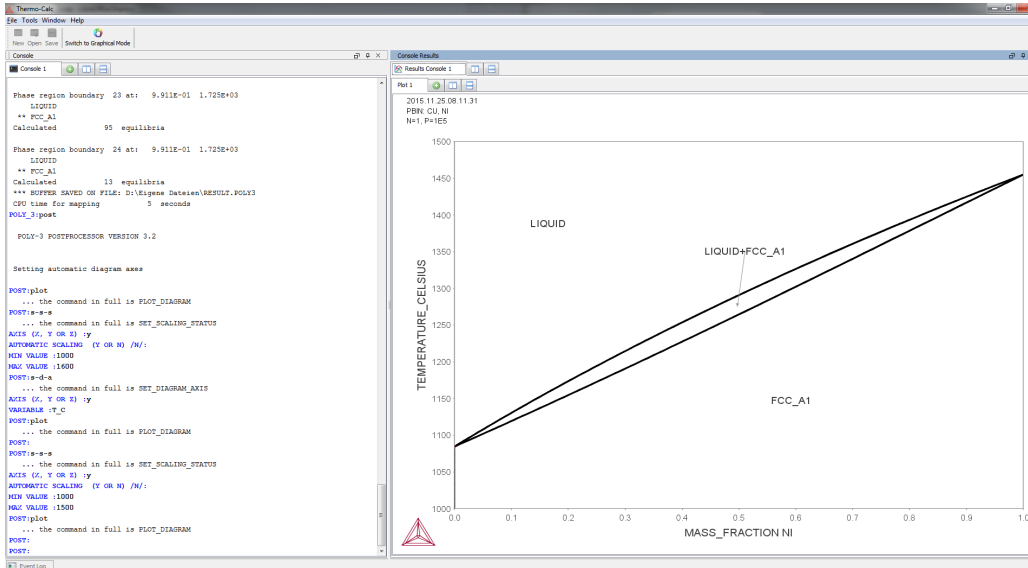
map => berechnet GG entlang von ZWEI oder DREI Variablen

ANHANG: ThermoCalc

2015.11.13.07.22.46
PBIN: CU_NI
N=1, P=1E5



ANHANG: ThermoCalc



Ein Rechtsklick auf das Ausgabefenster erlaubt die Einstellung grafischer Details. Stellen Sie hier bei Bedarf (oder unter Tools/Options) die background color auf weiß und die color options auf „printer friendly“ ein.

Ein Export in unterschiedliche Formate ist ebenfalls durch Rechtsklick auf das Ausgabefenster möglich. Für die Einbindung in TeX kann .ps sinnvoll sein, für Office sind .jpg, .svg und .png besser geeignet.