

Numerische Simulation der Phasenumwandlungen bei Schienen- schweißungen von perlitischem Stahl

L. WEINGRILL, N. ENZINGER

Institut für Werkstoffkunde und Schweißtechnik, TU Graz.

leonhard.weingrill@tugraz.at

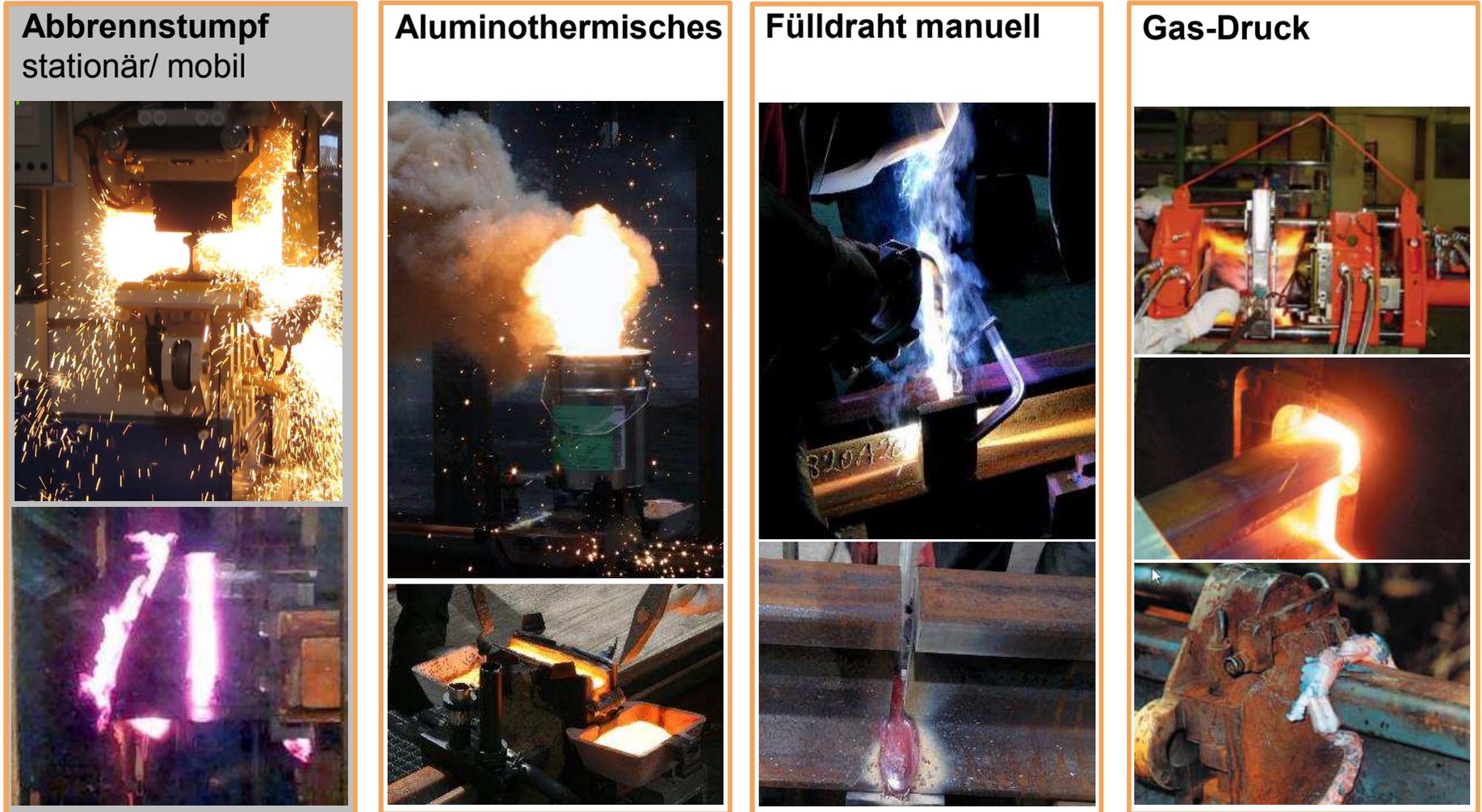


INHALT

- I Einleitung
- I Modellbildung
 - Zusammenfassung metallurgisches Modell
 - Thermische Simulation ABS-Schienenschweißung
- I Ergebnisse (Status)
- I Zusammenfassung
- I Ausblick

EINLEITUNG

I Überblick Schienenschweißverfahren:

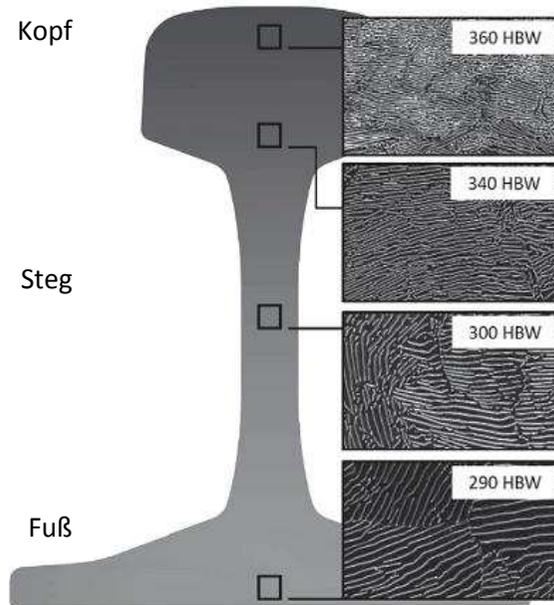


EINLEITUNG

I Werkstoff: perlitischer Schienenstahl

Bezeichnung laut EN 13674-1	Legierungsbestandteile in Massen-%						HBW am Kopf auf Lauffläche
	C	Mn	Si	Cr	P max.	S max.	
R260	0,62- 0,80	0,70- 1,20	0,15- 0,58	≤ 0,15	0,025	0,025	260- 300
R350HT	0,72- 0,80	0,70- 1,20	0,15- 0,58	≤ 0,15	0,020	0,025	350- 390
R400HT	0,90- 1,05	0,20- 0,60	1,00- 1,30	≤ 0,15	0,020	0,020	400- 440

Quelle: [1]



Mikrostruktur und Härte einer R350HT Vignolschiene.

Quelle: [2]

I Kopf-gehärtet:

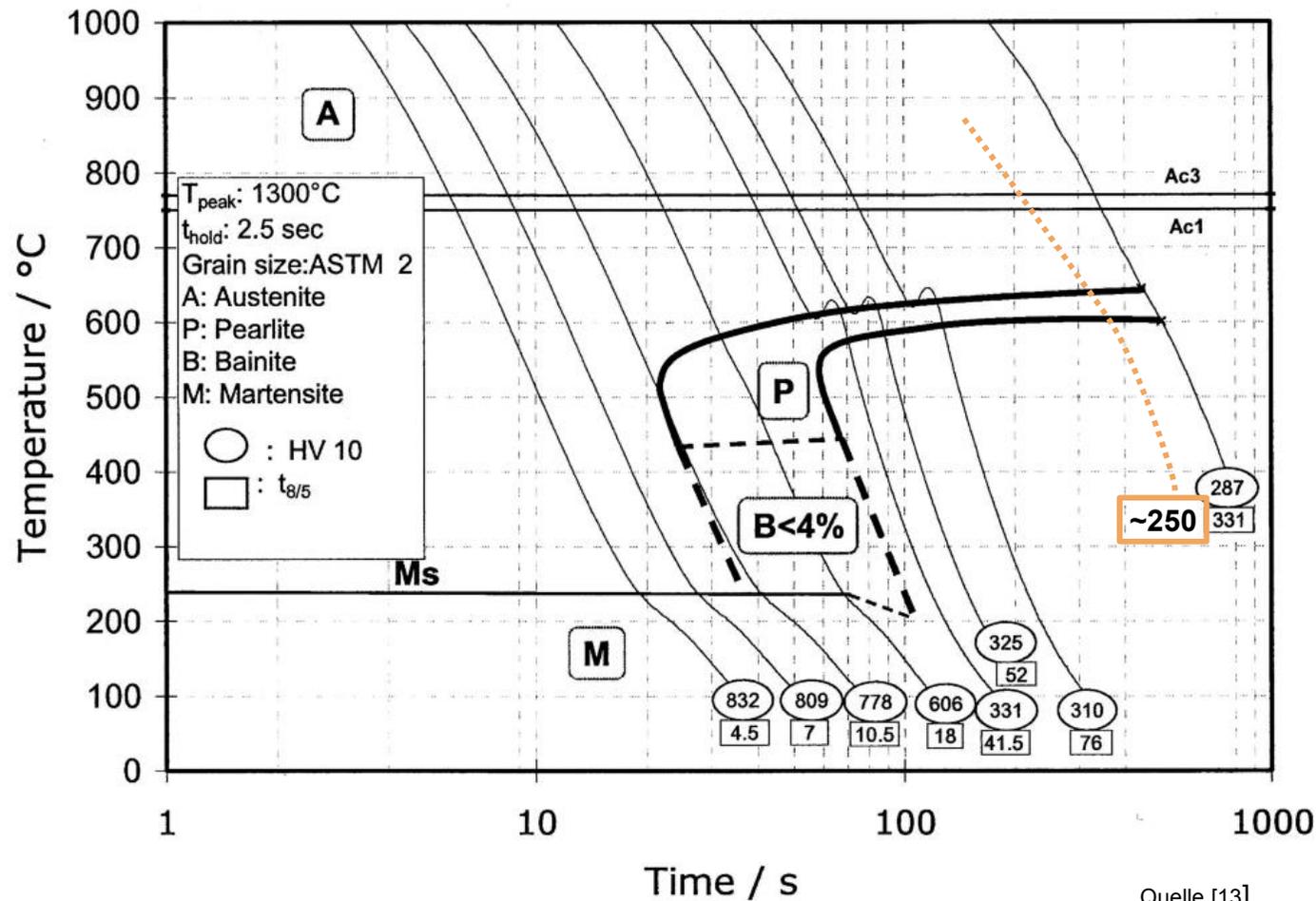
- aus Walzhitze akkurat eingestellte vollperlitische Mikrostruktur

→ Verbesserter Widerstand gegen Verschleiß und Rollkontaktermüdung (RCF)

Quelle: [3, 4, 5]

EINLEITUNG

I Schweißen von perlitischem Schienenstahl:

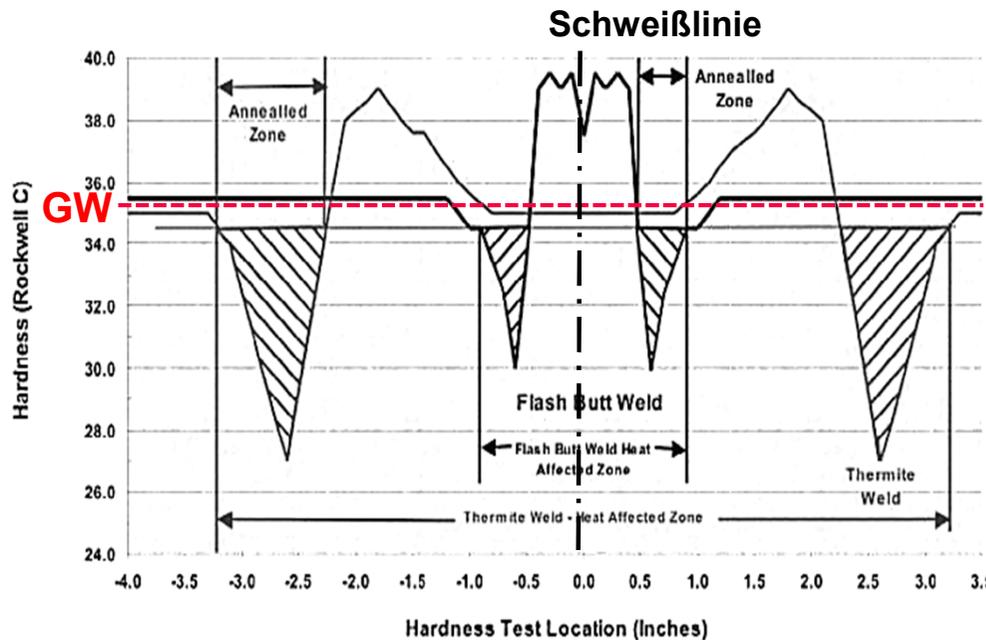


Quelle [13]

EINLEITUNG

I Problemstellung:

- Gängige Schweißprozesse stoßen bei modernen Schienenstählen an Grenzen hinsichtlich erreichbarer Qualität der Verbindung
- Beispiel: ‚Weiche Zone‘



Härteverlauf schematisch in Längsrichtung in der WEZ einer AT- und ABS-Schienen-schweißung. Quelle: [6]



Lokale Materialschädigung im Bereich der Schweißung.

Quelle: [7]

- Angelassene Mikrostruktur am Übergang von WEZ in GW
 → Instandhaltungsintervalle verkürzt **\$↑ Lebens-Zyklus-Kosten des Gleises steigen**

Quellen müssen noch angepasst werden

Leonhard; 01.11.2016

EINLEITUNG

I Projektziele metalJOINing P2 HLSS:

- Verbesserung Schweißbarkeit moderner Schienenstahlgüten im Gleis → Prozessentwicklung
- IWS:
 1. **Experimentelle** Arbeit (Schweißlabor, 'In the field' instrumentierte Versuche, etc. ...)
 2. **Numerische** Simulation als anwendungsbezogenes Tool in der Schweißprozessentwicklung



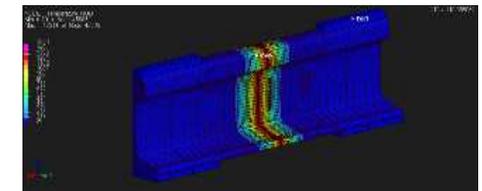
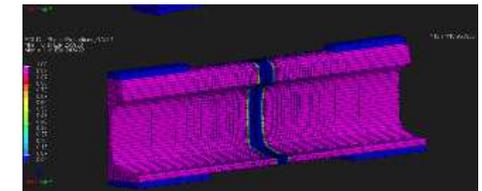
I Arbeitsinhalte Schweißsimulation IWS:

- Metallurgisches Modell
 - Umwandlungsverhalten perlit. Stahl (R350HT) beim Schweißen
 - Härte in der WEZ



Verweis auf Veröffentlichung bei 'TIWR' -Konferenz in Tokio, Okt 20016 Quelle: [8]

- **Thermisch**-metallurgisch gekoppelte Simulation von Schienenschweißprozessen



Folie 7

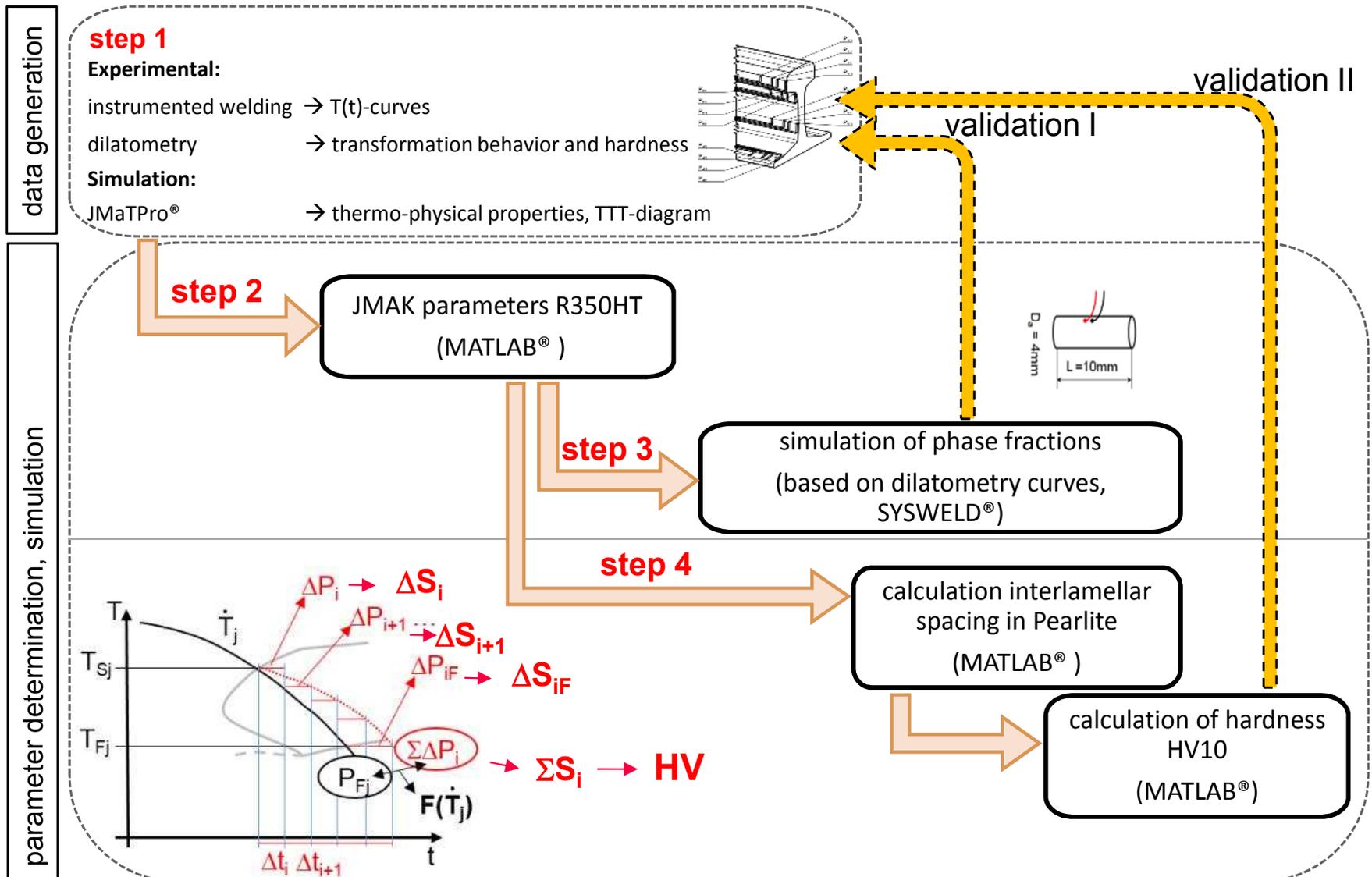
L4

Verweis auf Tokiokonferenz Veröffentlichung --> Überleitung auf nächste Folie

Leonhard; 01.11.2016

SIMULATIONSMODELL METALLURGIE R350HT

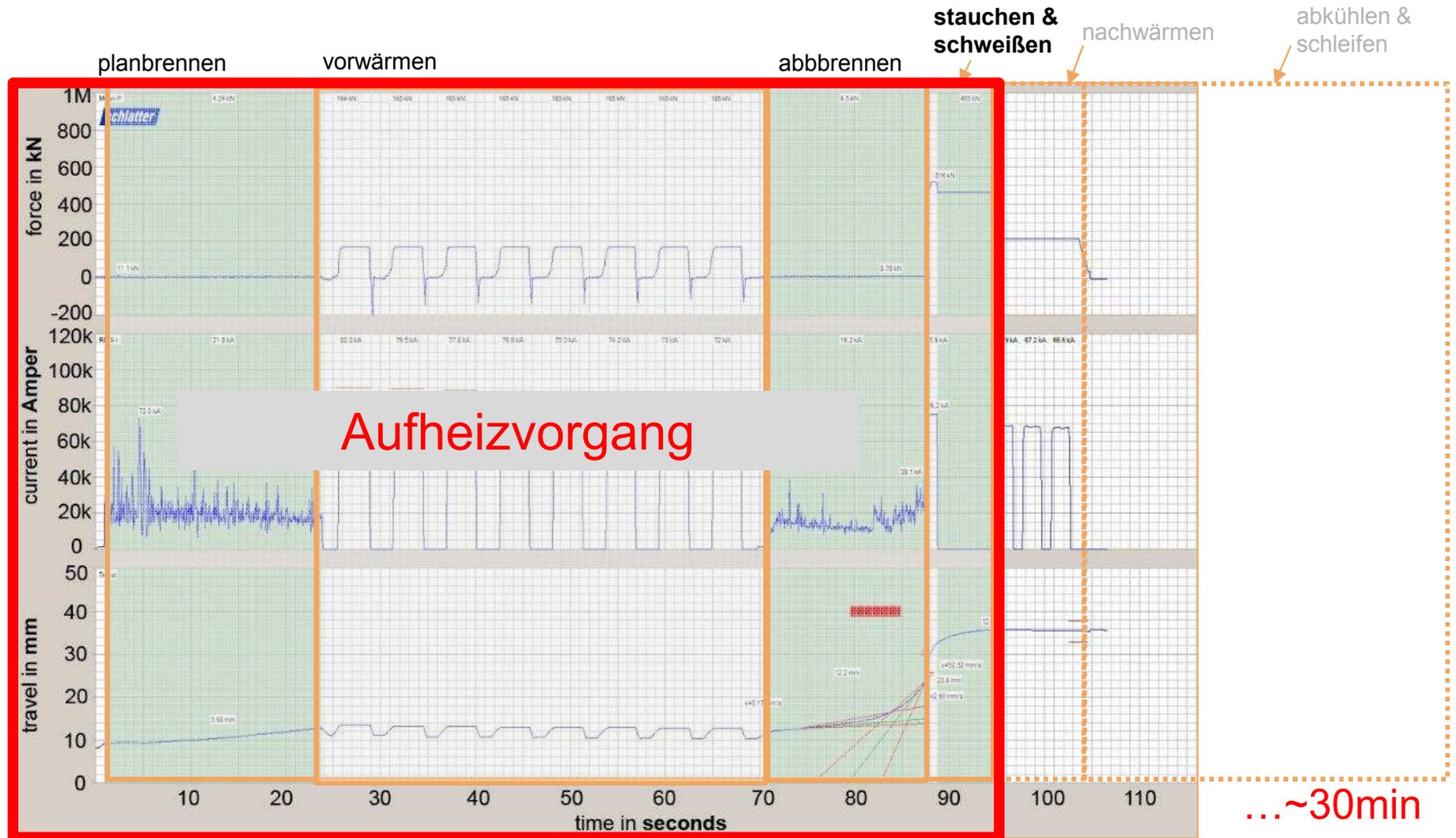
I Berechnungsschema: Phasenumwandlung und Härte in der WEZ



Verweis auf Veröffentlichung bei 'Trends in Welding Research' - Konferenz in Tokio, Okt 2016 Quelle: [8]

SIMULATIONSMODELL THERMISCH

ABS von Schienen: Prozessablauf



Schweißdiagramm einer Abbrennstumpfschweißung. Quelle: [9]

Folie 9

L10

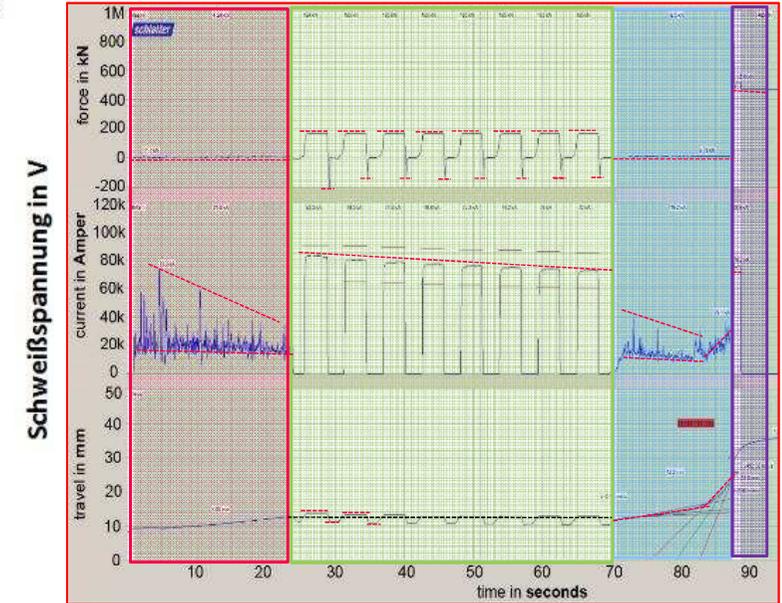
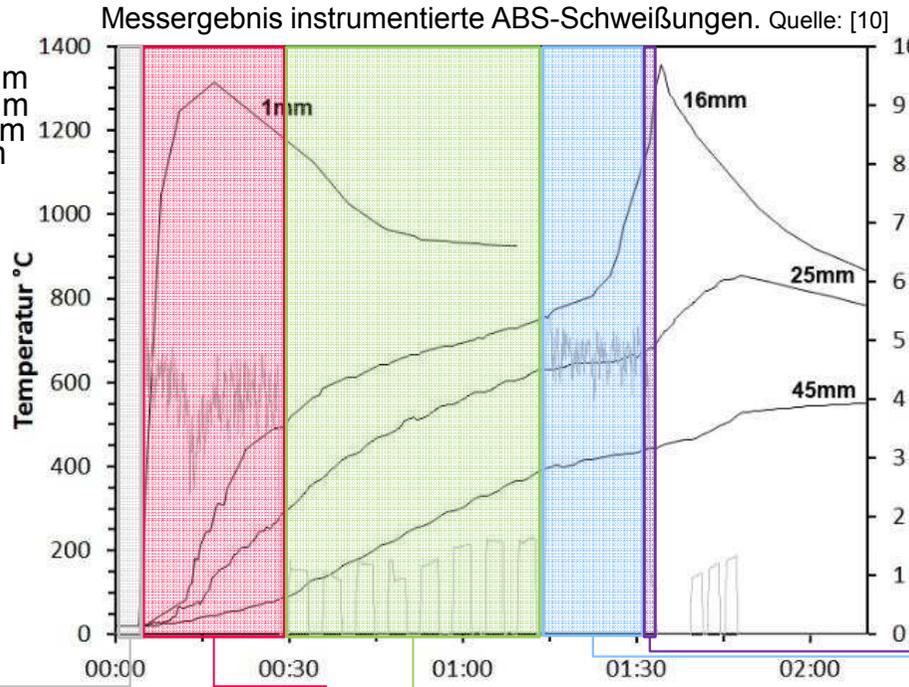
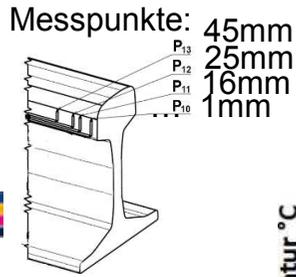
Die nächsten 3 Folien sollen dazu dienen, den Aufheizvorgang noch einmal genau unter die Lupe zu nehmen. Dieser ist komplex. Es soll verständlich gemacht werden, warum eigentlich so ein Aufwand für die Modellierung der Wärmequelle beim ABS betrieben werden muss.: Aufheizphase teilt sich in 3 Abschnitte und in jedem dieser Abschnitte laufen unterschiedlicher Vorgänge ab--> dadurch wird im wesentlichen Temperaturfeld beeinflusst.

Leonhard; 01.11.2016

SIMULATIONSMODELL THERMISCH

ABS von Schienen: Prozessablauf... Details Aufheizphase

voestalpine ONE STEP AHEAD.
bohrerwelding
fronius SHIFTING THE LIMITS



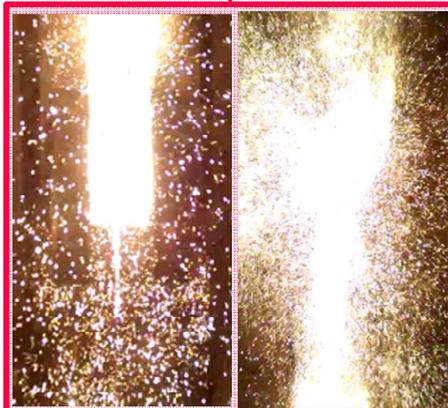
IWS
IWS
IWS

COMET

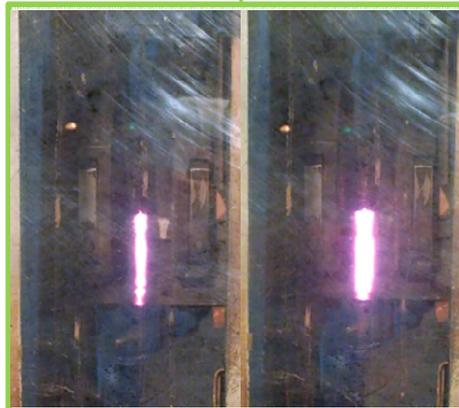
Competence Centers for Excellent Technologies



ausrichten



planbrennen



vorwärmen



abbrennen

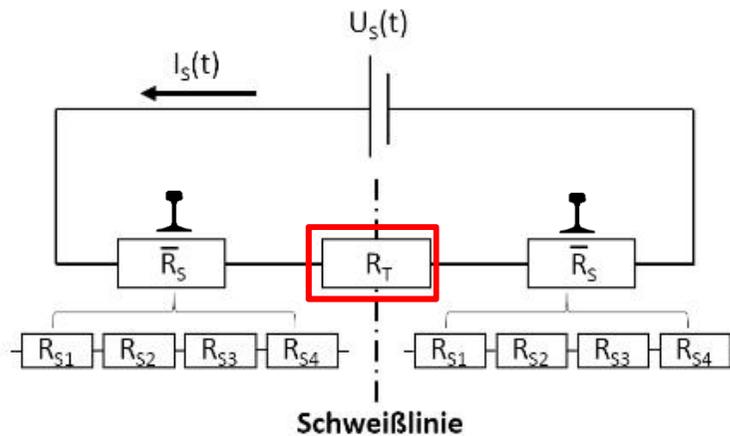


Schweißung

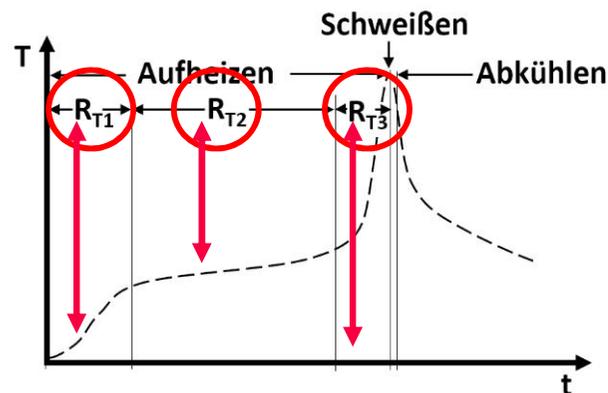
SIMULATIONSMODELL THERMISCH

I Anwendungsbezogene Abstraktion der Komplexität des ABS-Prozesses:

- Prozessanschauung: vereinfachter Ohmscher Stromkreis



- Methode: Inverse, abschnittsweise Optimierung basierend auf genauer Prozessanalyse anhand von Daten aus instrumentierten Versuchen



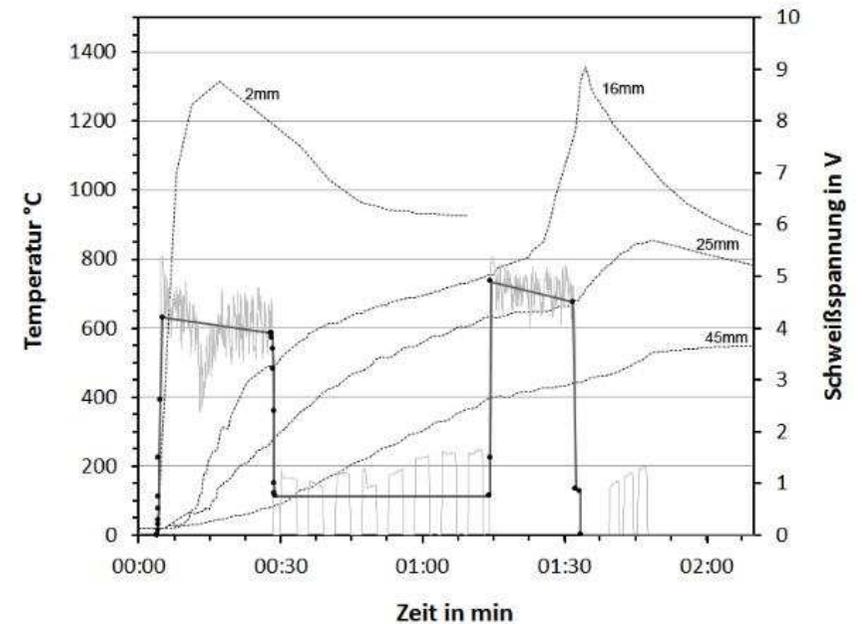
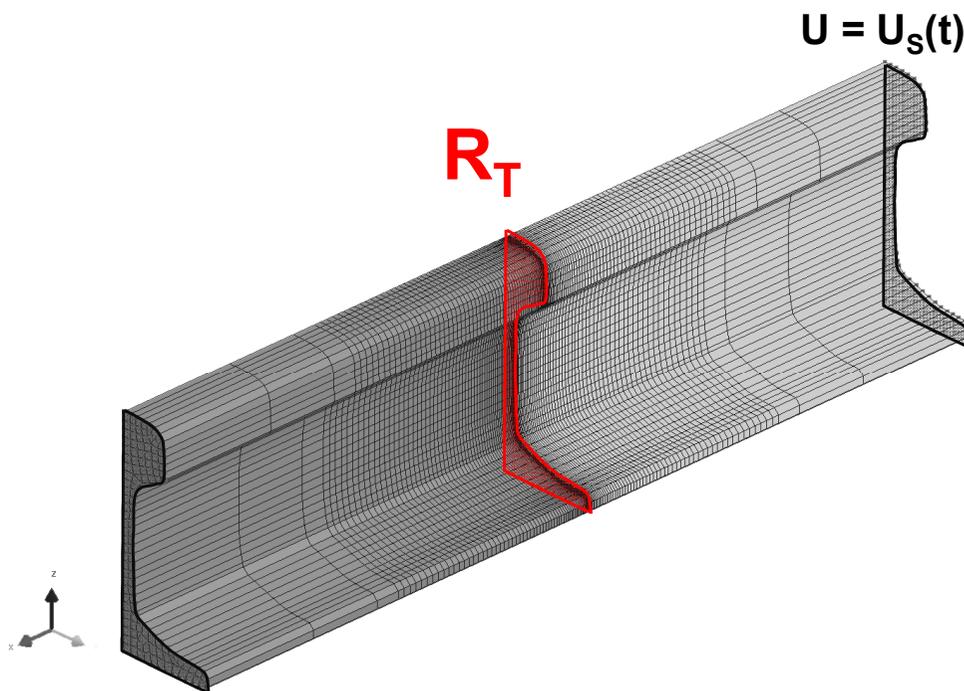
→ Q_E über R_T abschnittsweise steuern

SIMULATIONSMODELL THERMISCH

I Anwendungsbezogene Abstraktion der Komplexität des ABS-Prozesses:

- Kontaktbedingung im Schweißquerschnitt: Elektrischer Übergangswiderstand mittels SYSWELD®, CNTG-Medium‘

- $U_S(t)$ vereinfacht aus Messdaten angenommen



- T-Messung
- U_S Messung
- U_S Simulation

SIMULATIONSMODELL THERMISCH

I Geometrie

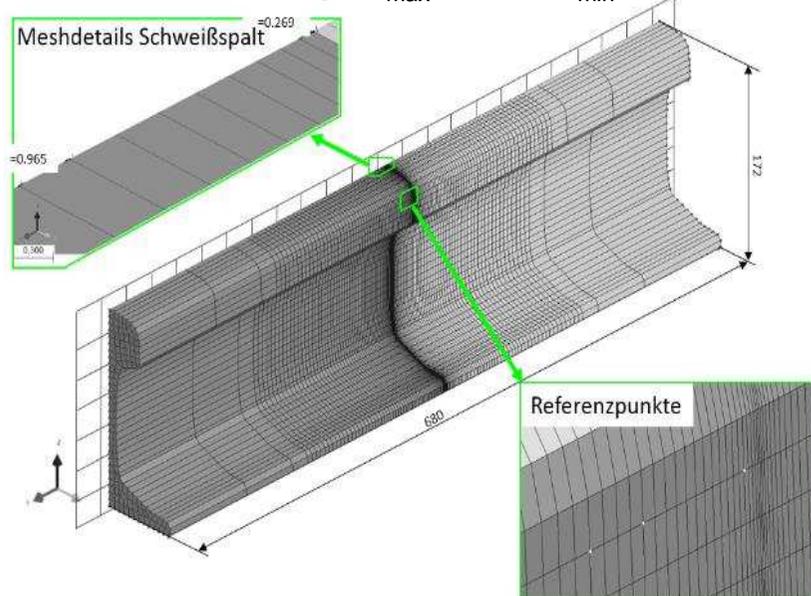
- entspricht instrumentierten Versuchen auf *Schlatter GAA100 Maschine*
- halbes 60E1-Profil, Symmetrie in x-z-Ebene
- 2 getrennte Körper (auf Berührung)
- Vernetzung im Spalt angepasst

I Randbedingungen

- Thermisch: Strahlung und Konvektion an Außenhülle (Schalenelemente) $\varepsilon = 0,8$ $\alpha_K = 25 \text{ W/mK}$

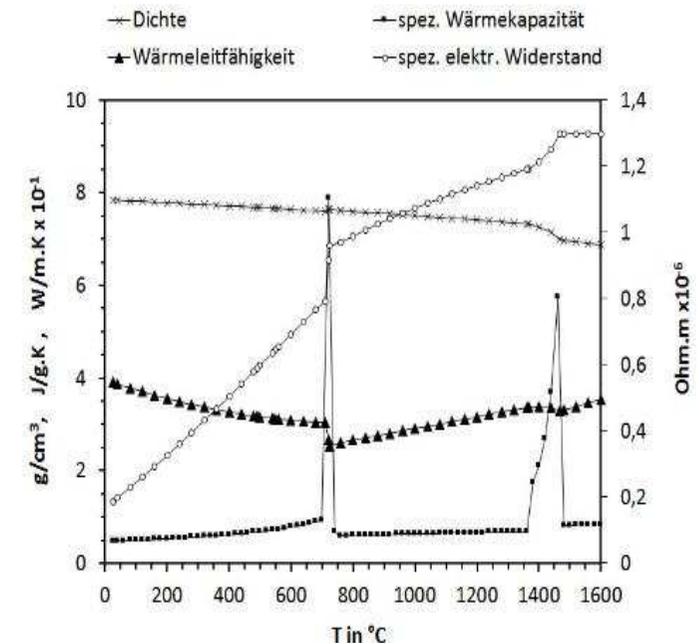
I SYSWELD-Rechnung

- Elektrokinetisch-thermisch-metallurgisch, spatial (3d)
- ALGORITHM OPTIMIZE 1 ITERATION 40 OPTIM 1
- METHOD ITERATIVE NONSYMMETRIC Taut.
Zeitschrittanpassung $\Delta t_{\max} : 0.1\text{s}$, $\Delta t_{\min} : 1.0\text{E-}10\text{s}$



I Werkstoffeigenschaften

- Simuliert in JMatPro (gemessene chem. Zusammensetzung laut Hersteller)
- temperaturabhängig
- Phasenumwandlung und latente Wärme berücksichtigt



Folie 13

L24

Auf den nächsten Folien gehen bewusst mehr ins Deatail bei der Beschreibung des Modells für die thermische Simulation. Der dafür ist, dass ich ja leider noch nicht so umfangreiche Ergebnisse zur Verfügung habe.

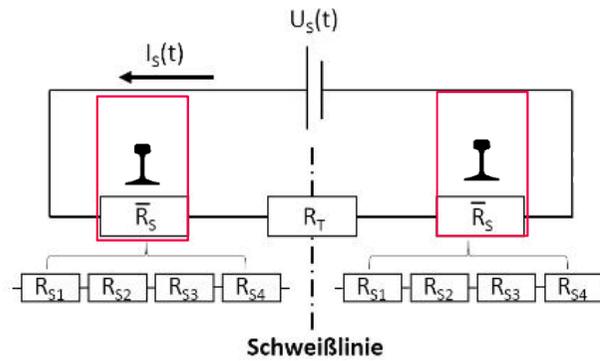
Leonhard; 02.11.2016

SIMULATIONSMODELL THERMISCH

I Abschätzung der Größenordnung/ Analyse Modelltauglichkeit:

1. Ansatz:

R_S mithilfe spezifischer elektrischer Widerstand und Messdaten $\rightarrow R_T$



2. Ansatz:

Literaturquelle numerische Simulation ABS:

$$R_C = \frac{9500 K}{S^{2/3} v_f^{1/3} j} 10^{-6}$$

Quellen: [11],[12]

R_C ...Übergangswiderstand

Ohm

K ...Materialfaktor

Stahl = 1

S ...Fläche geschweißter Querschnitt

mm²

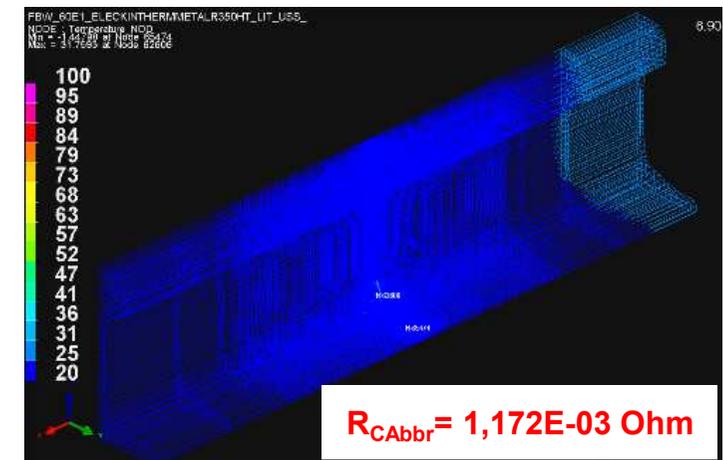
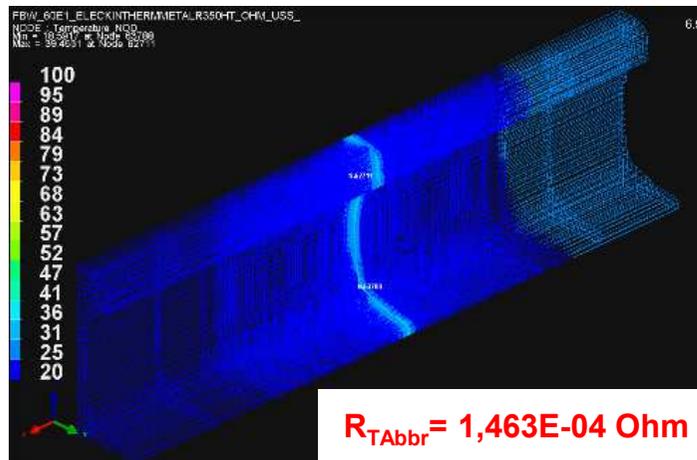
v_f ...Stauchgeschwindigkeit

cm/s

j ...Stromdichte

A/mm²

Temperatur in °C
Prozesszeit: 6,9s

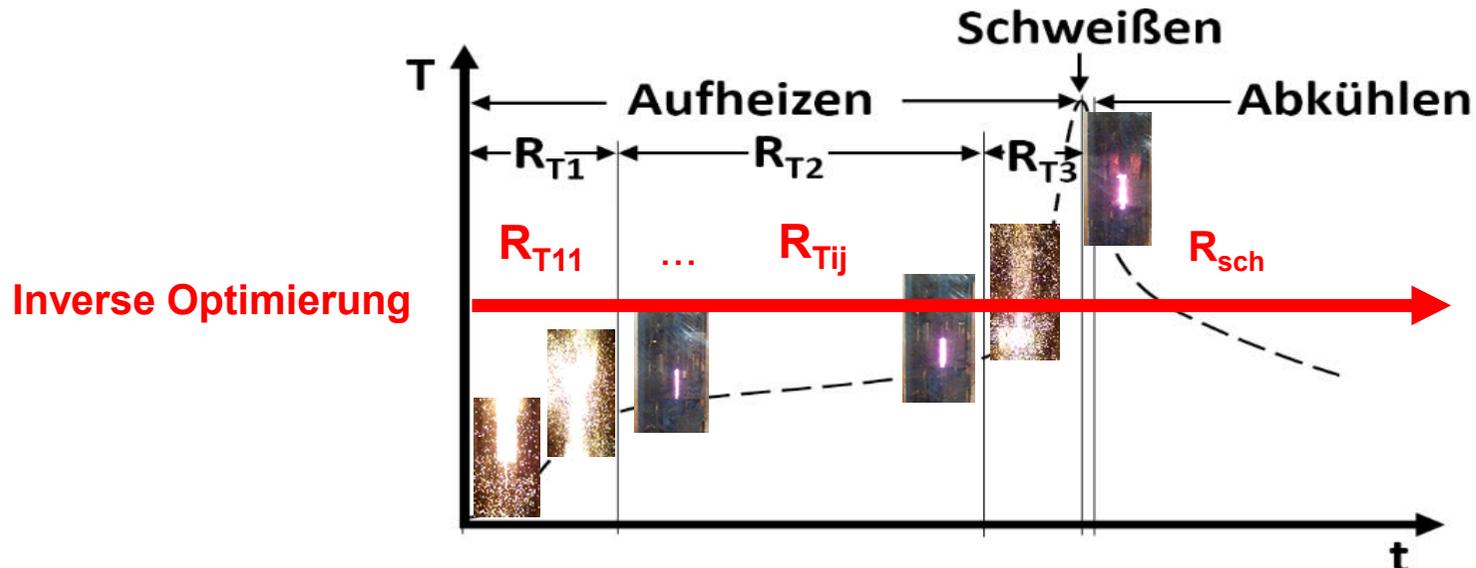


SIMULATIONSMODELL

I Fazit R_T Abschätzung:

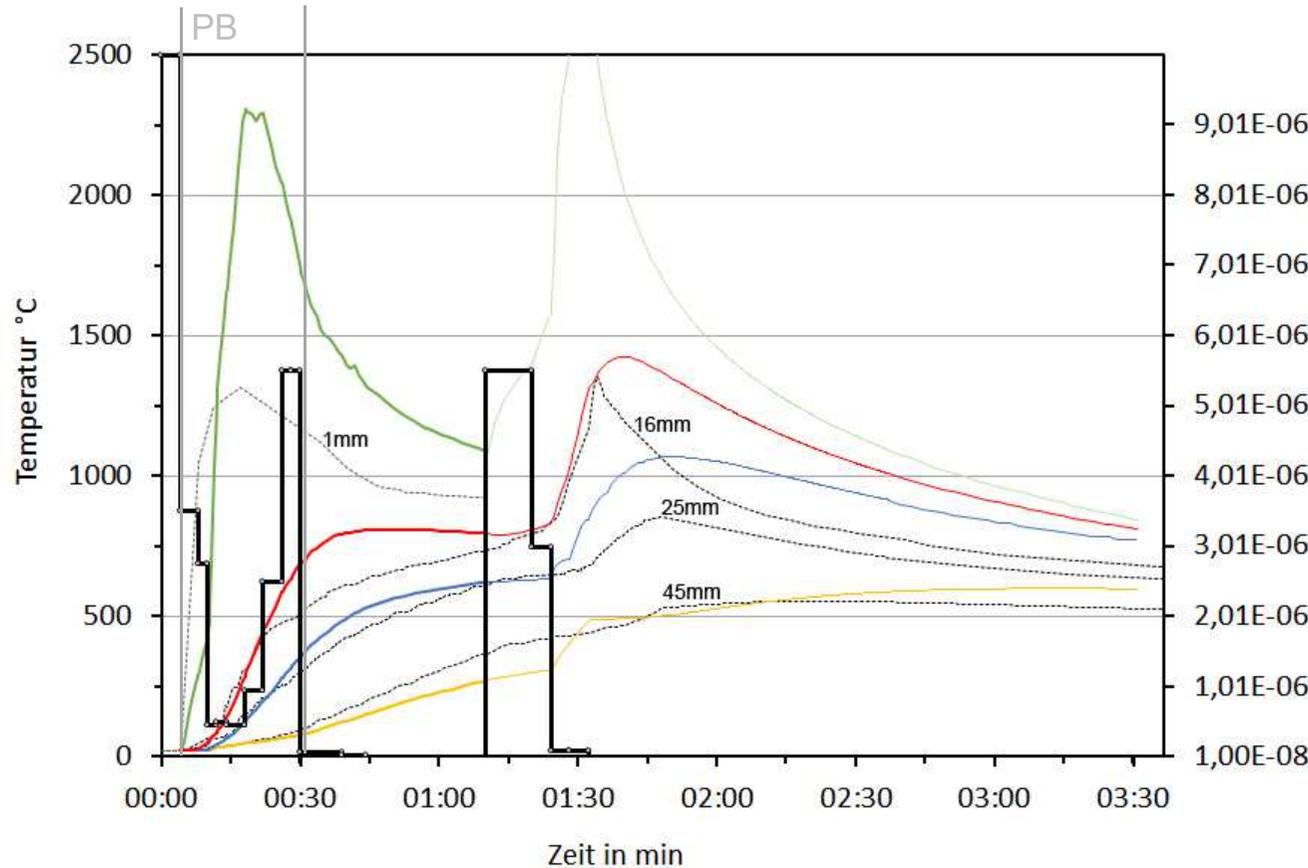
- ABS-Prozess grundsätzlich abbildbar: Temperaturanstieg konzentriert an Schweißflächen
- Ergebnis über R_T beeinflussbar: $R_T \downarrow \rightarrow Q_E \uparrow$
- R_T zu hoch \rightarrow kein Stromfluss über Schweißspalt
- Temperaturen entsprechend noch sehr zu niedrig

\rightarrow Optimierung: Abschnittsweise R_T detailliert anpassen



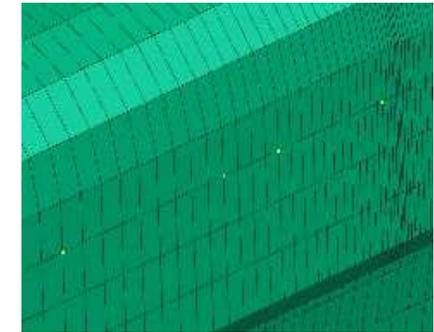
STATUS ERGEBNISSE:

I Vergleich T(t) in Simulation und Messung:

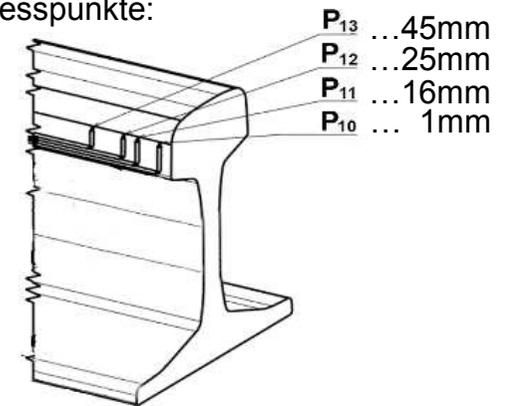


- ... T(t)-Messung
- T(t)-SIM 1mm
- T(t)-SIM 16mm
- T(t)-SIM 25mm
- T(t)-SIM 45mm
- R_T

Referenzpunkte Simulation:



Messpunkte:



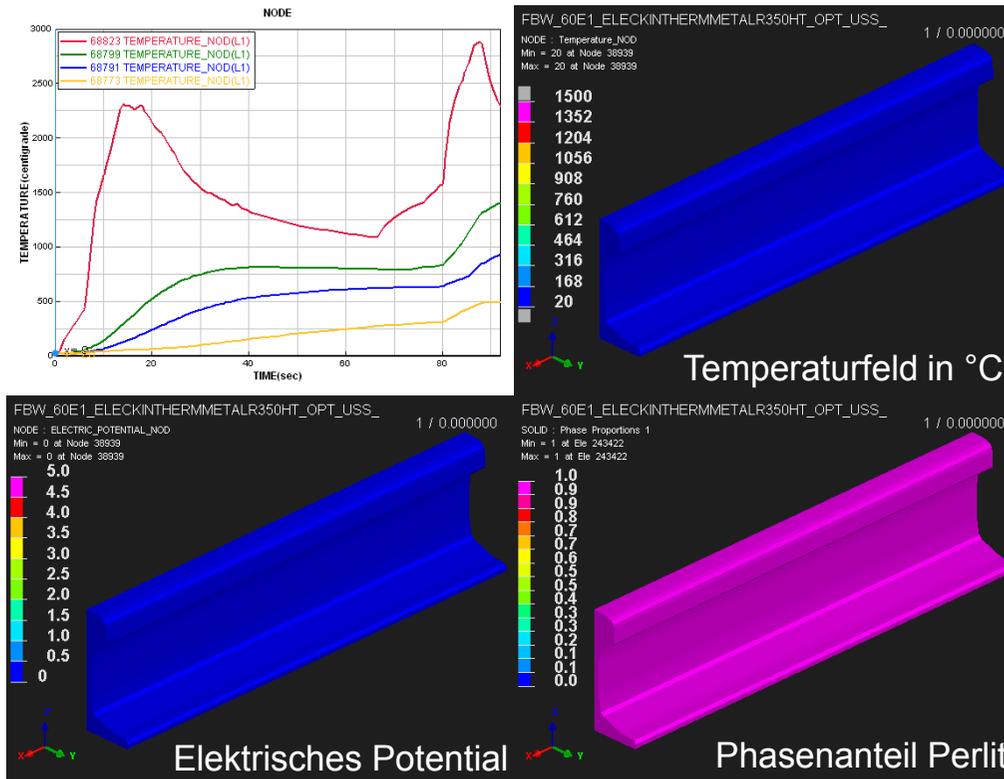
ZUSAMMENFASSUNG

- I Modellierungsmethode zur thermischen Simulation einer ABS-Schweißung an Schienen in SYSWELD
 - Übergangswiderstand R_T zur Steuerung von Q_E im Schweißspalt
 - Wärmequelle in Aufheizphase stark vereinfacht abgebildet
 - abschnittsweise inverse Optimierung exakter Prozessanalyse basierend auf Messdaten

- I Fazit Methode / Status Optimierung:
 - Prozess grundsätzlich sehr gut abbildbar: PB-, und VW-Phase liefern gutes Ergebnis
 - AB- und Schweißphase → noch mehr Optimierung notwendig
 - Abweichung von Messung aufgrund nicht 1:1 abgebildeter Energiebilanz
 - Überhitzung notwendig an Übergang PB → VW um T(t)-Kurven exakt abzubilden
 - in Kombination mit thermischer Trägheit inverse Optimierung erschwert
 - ‚Pressphase‘ bedarf noch genauerer Betrachtung/ Modellierung
 - Materialausschleudern nicht darstellbar
 - Kopplung mech. Rechnung → Auspressen heißes Material

AUSBLICK

- I geplante Erweiterungen für die Schweißsimulation ABS von Schienen:
 - Implementierung automatisierte Optimierung von R_T (SIL)
 - **Mech. gekoppelte Rechnung (Schwierigkeiten bei Umsetzung in SYSWELD)**
 - Metallurgie an tatsächlichem 3D-Schienen Modell
 - Implementierung der automatisierten Berechnung Härte anhand Modell ‚Trends in Welding Research‘ in SYSWELD® (SIL)
 - inkl. Validierung (Metallographie und Härtemessung)



DANKE FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!

voestalpine
ONE STEP AHEAD.

bohierwelding

fronius
SHIFTING THE LIMITS

IWS
IWS
IWS

COMET

Competence Centers for
Excellent Technologies

Abbrennstumpfschweißung einer Schiene im Zuge des metalJOINing P2 Projekts. 2015. Leoben, AUT.



Acknowledgement:

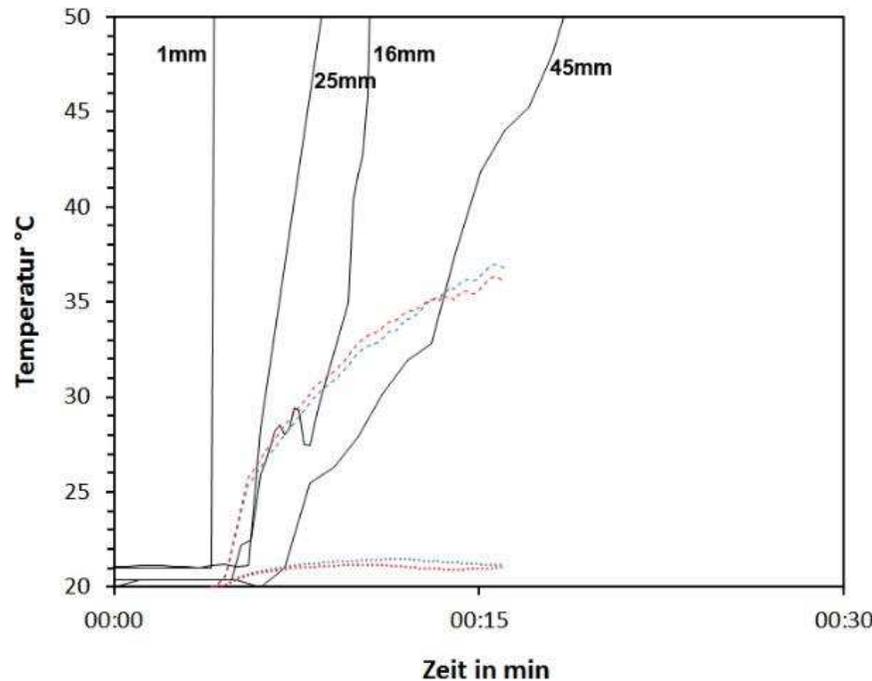
The K-Project Network of Excellence for Metal JOINing is fostered in the frame of COMET - Competence Centers for Excellent Technologies by BMWFW, BMVIT, FFG, Land Oberösterreich, Land Steiermark, Land Tirol and SFG. The programme COMET is handled by FFG.

Quellen:

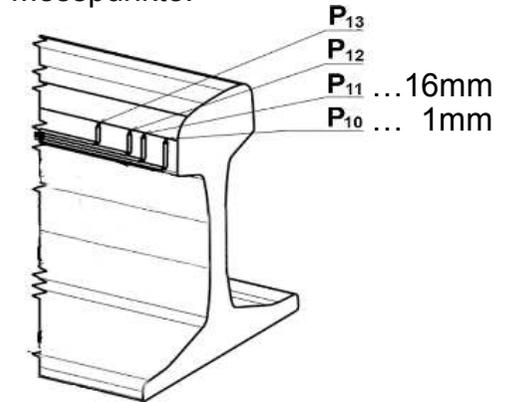
- [1] ÖNORM EN 13674-1: 2011 Bahnanwendungen - Oberbau -Schienen Teil 1: Vignolschienen ab 46kg/m;, 2011.
- [2] L. Fendrich and W. Fengler, Eds., Handbuch Eisenbahninfrastruktur. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [3] G. V. D.I. Fletcher, F.J. Franklin, J.E. Garnham, E. Muyupa, M. Papaelias, C.L. Davis, A. Kapoor, M. Widiyarta, "Three-Dimensional Microstructural Modelling Of Wear, Crack Initiation and Growth In Rail Steel," Int. J. Railw., vol. 1, pp. 106–112, 2008.
- [4] G. Trummer, C. Marte, P. Dietmaier, C. Sommitsch, and K. Six, "Modeling surface rolling contact fatigue crack initiation taking severe plastic shear deformation into account" Wear, vol. 352–353, pp. 136–145, 2016.
- [5] J. H. Beynon, J. E. Garnham, and K. J. Sawley, "Rolling contact fatigue of three pearlitic rail steels," Wear, vol. 192, no. 1–2, pp. 94–111, 1996.
- [6] P. Micenko and H. Li, "Double Dip Hardness Profiles in Rail Weld Heat-affected Zone — Literature and Research Review Report," Brisbane, Australia, 2013.
- [7] P. Mutton, J. Cookson, C. Qiu, and D. Welsby, "Microstructural characterisation of rolling contact fatigue damage in flashbutt welds," Wear, pp. 1–10, 2016.
- [8] L. Weingrill, M. Nasiri, and N. Enzinger, "Numerical simulation of Pearlite formation during welding of rails," in Trends ind Welding Research Conference Tokyo, 2016, pp. 589–602.
- [9] voestalpine Schienen GmbH. Competence Center Welding (CCW). Leoben/Donawitz, AUSTRIA. 2015
- [10] L. Weingrill, J. Krutzler, and N. Enzinger, "Temperature field evolution during flash-butt welding of railway rails," Mater. Sci. Forum, vol. 879, pp. 2088–2093, 2016.
- [11] Y. Li and F. Zhang, "Numerical Simulation Of Flash Butt Welding Of High Manganese Steel Crossing With Carbon Steel Rail," Adv. Mater. Res., vol. 123–125, pp. 571–574, 2010.
- [12] C. A. I. Zhipeng, N. Masashi, M. A. Ninshu, Q. U. Yuebo, and C. A. O. Bin, "Residual Stresses in Flash Butt Welded Rail," Trans. JWRI, vol. 40, no. 1, pp. 79–87, 2011.
- [13] M. Maalekian, "Friction Welding of Rails," PhD Th. Graz University of Technology, 2007.

ERGEBNISSE: R_T ABGESCHÄTZT

I T(t): Simulation vs. Messung



Messpunkte:



Referenzpunkte Simulation:

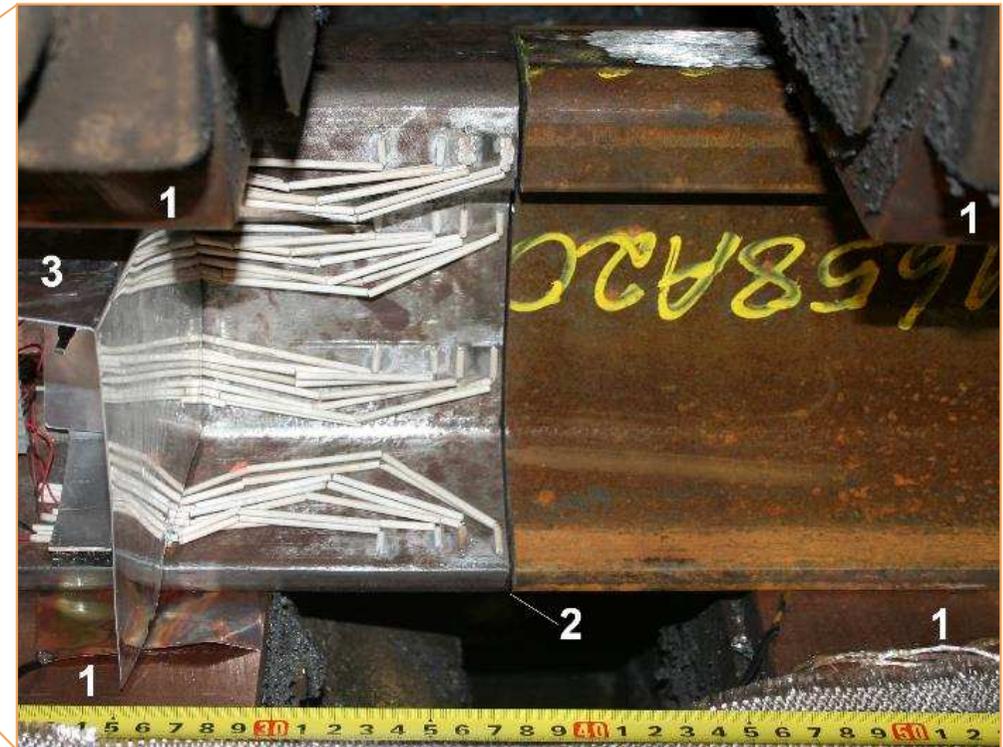
- SimLit_1mm
- SimLit_16mm
- SimOhm_1mm
- SimOhm_16mm

I Fazit Ergebnisse R_T -Abschätzung:

- ABS-Prozess grundsätzlich abbildbar: Temperatur konzentriert an Schweißlinie
- Ergebnis über R_T beeinflussbar: $R_T \downarrow \rightarrow Q_E \uparrow$
- R_T zu hoch \rightarrow kein Stromfluss
- Temperaturen entsprechend noch sehr zu niedrig

EXPERIMENTAL

I Instrumented welding experiments:



- 1... welding and clamping electrode of FBW machine
- 2... welding gap
- 3... protection cover for thermo-couple connection lines

DISKUSSION L19 L20

- I Vernachlässigung mech. gekoppelte Rechnung und Materialabbrand und Auswurf
- I → nicht Berücksichtigung damit ausgeworfener/ ausgestoßener Wärmeinhalt
- I Vereinfachter Spannungsverlauf → eigentlich zu viel Energieeintrag
 - Starke Schwankung → kl. Zeitschritt notwendig → sehr lange Berechnungszeit
 - Abhilfe
 1. mittels zeitlich schwankender Spannungen tatsächliche Stromstöße nachbilden
 - realitätsnäher → aber sehr kleine Zeitschritte bei Berechnung notwendig → daher sehr lange Berechnungszeit
 - Überhitzung an Schweißlinie und dann Elementedeaktivierung bei Überschreiten bestimmter Temperatur bzw. Werkstoffeigenschaften anpassen (zBsp auf Luft setzen)
- I Abschätzung wie gut finaler Abschnitt bei Schweißung abbildbar sein wird, schwierig L25

Folie 22

- L19** Diskussionfolien muss ich noch sauberer formulieren
Leonhard; 01.11.2016
- L20** Ich hoffe meine Punkte sind grundsätzlich verständlich. Ich hoffe des weiteren dass, wir sie noch durchbesprechen können
Leonhard; 01.11.2016
- L25** Habe damit am Wochenende begonnen, allerdings brauch ich hier für 10s Prozess in etwa 12h berechnungszeit. Gesamtprozess 100s somit würde es eine Woche dauern alles durzurechnen... ohen Optimierung wohl gemerkt. Sinnhaftigkeit??
Leonhard; 02.11.2016

BERECHNUNG R_T

voestalpine ONE STEP AHEAD.

baherwelding

Fronius SHIFTING THE LIMITS

IWS
IWS
IWS

COMET

Competence Centers for Excellent Technologies

