



Herdweg 13, D-75045 Wössingen Lkr. Karlsruhe
E-Post: loose@tl-ing.de Web: www.tl-ing.de, www.loose.at
Mobil: +49 (0) 176 6126 8671 Tel: +49 (0) 7203 329 023 Fax: +49 (0) 7203 329 025

Grundlagen der Schweißsimulation und Wärmebehandlungssimulation Anwendungsmöglichkeit und Benefits

Dr.-Ing. Tobias Loose
09.03.2015



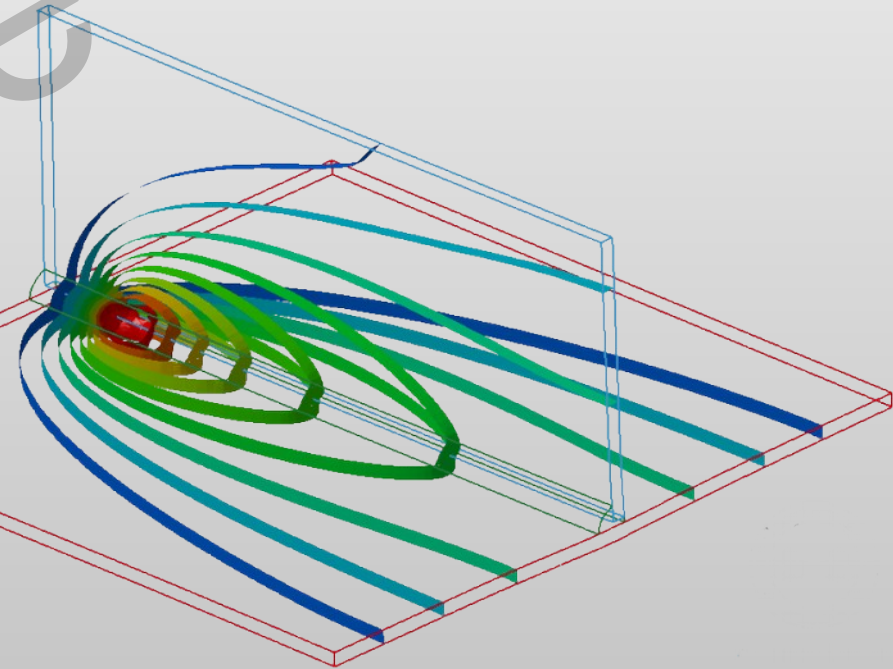
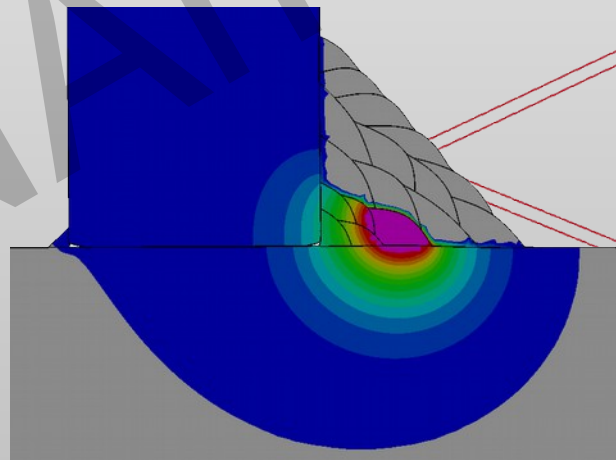


Herdweg 13, D-75045 Wössingen Lkr. Karlsruhe
E-Post: loose@tl-ing.de Web: www.tl-ing.de, www.loose.at
Mobil: +49 (0) 176 6126 8671 Tel: +49 (0) 7203 329 023 Fax: +49 (0) 7203 329 025



Numerische Simulationen für Schweißen und Wärmebehandlung seit 2004

Dienstleistung - Schulung - Support
Vertrieb von Software für die Schweißsimulation
und Wärmebehandlungssimulation



Internet:
DEutsch: www.loose.at
ENglish: www.tl-ing.eu
ESpañol: www.loose.es

Software für die Schweißsimulation

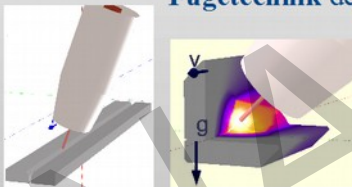


SimWeld



In **SimWeld** steckt langjährige Forschung und Entwicklung in der anwendungsnahen Schweißprozesssimulation vom

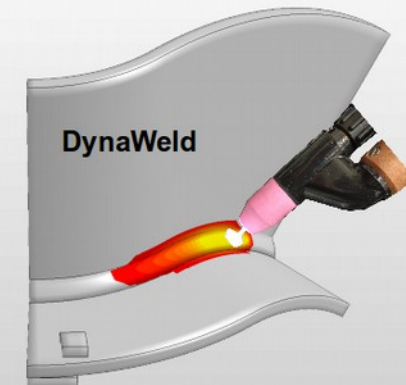
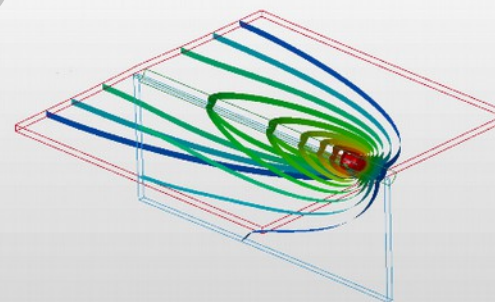
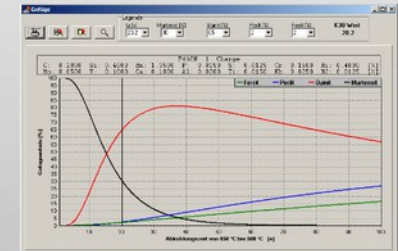
Institut für Schweißtechnik und Fügechnik der RWTH Aachen.



WeldWare® Schweißtechnologisches Beratungssystem

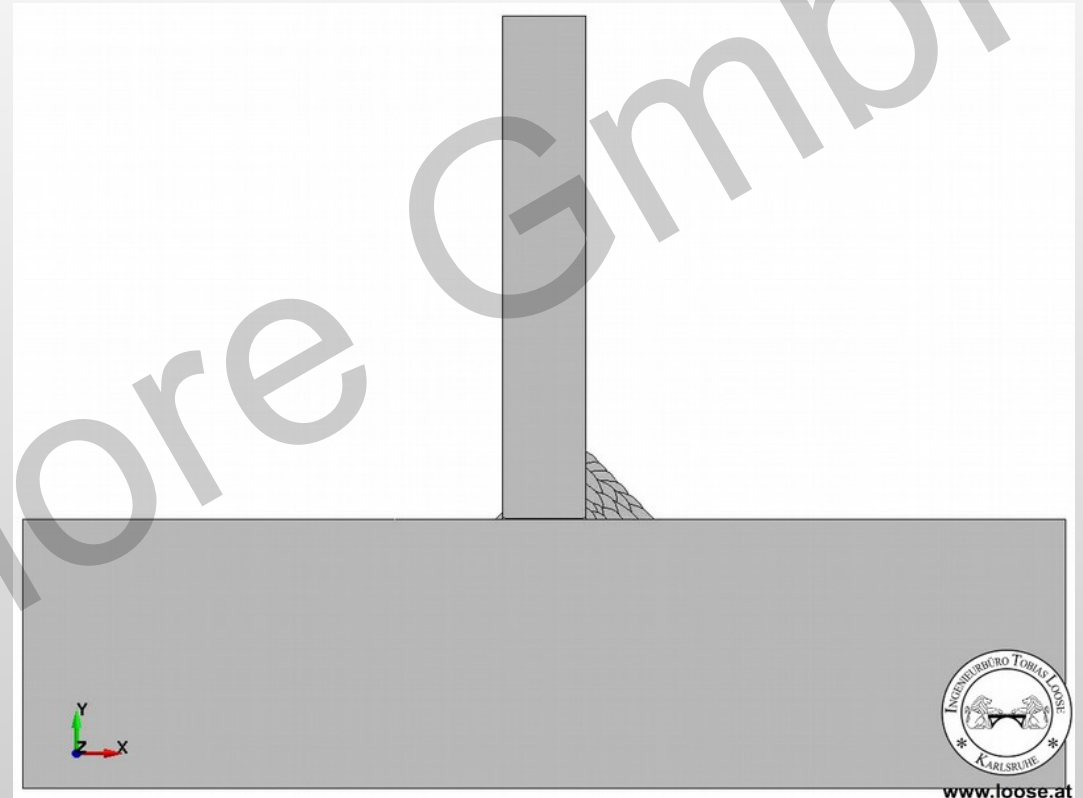


In **WeldWare®** steckt jahrzehntelange Erforschung vereint in einer Software: Wärmeführung beim Schweißen von Stahl - Gefügeumwandlungen und Eigenschaften in der Wärmeeinflußzone



DynaWeld

Welding and Heat-Treatment with LS-DYNA
Distortion – Residual Stress - Microstructure



Was leistet die

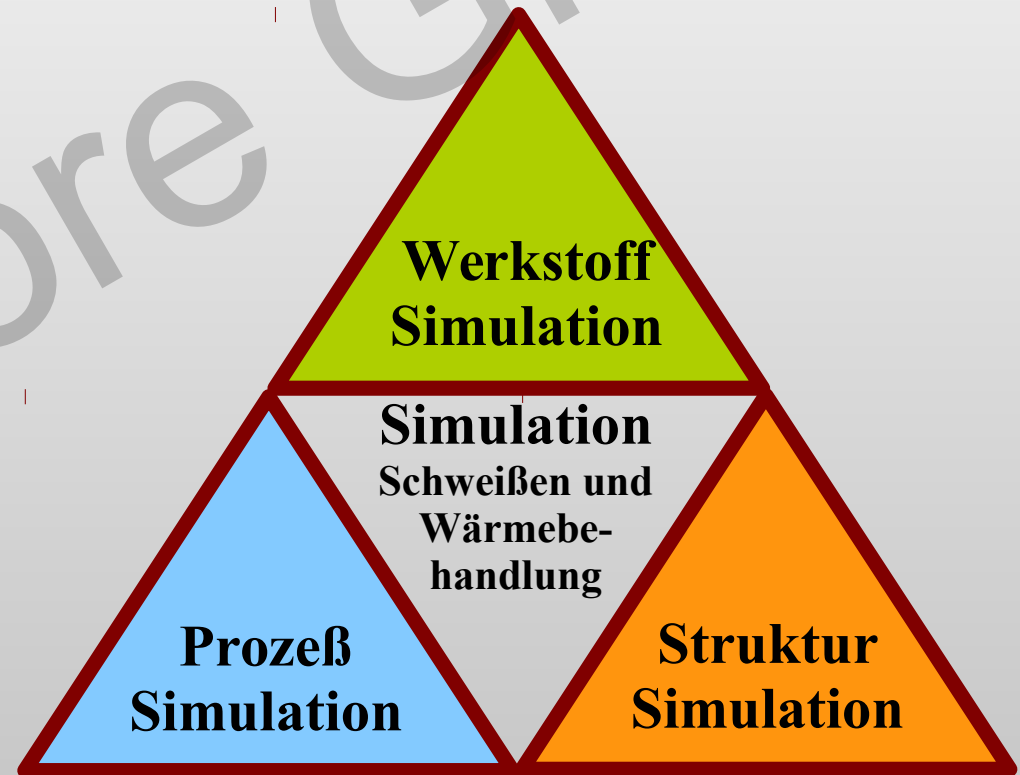
Schweißsimulation

was leistet Schweißsimulation

Mit der Schweißsimulation wird die Zustandsänderung eines Bauteils während des thermischen Fügens berechnet.

Die Schweißsimulation gliedert sich in:

- **Werkstoffsimulation**
 - Gefüge
 - mechanische Kennwerte
- **Prozeßsimulation**
 - Schmelzbadausbildung
 - Wärmeeintrag
 - lokales Temperaturfeld
- **Struktursimulation**
 - Verzug
 - Eigenspannung
 - globales Temperaturfeld



was leistet Schweißsimulation

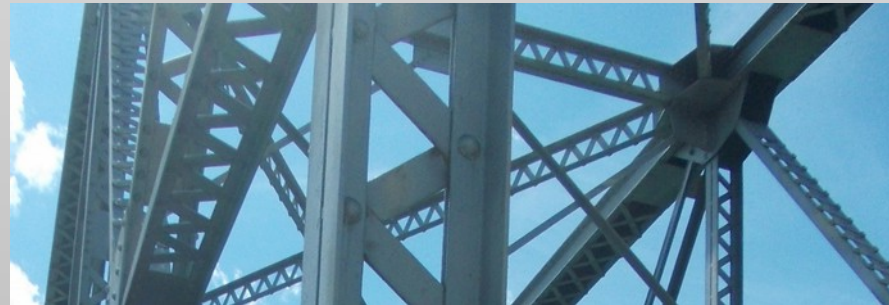
Die Schweißsimulation gliedert sich in die
Prozeßkettensimulation ein:

Umformen - Wärmebehandeln - Fügen
und dient damit der

Auslegung der Fertigung

Sie gliedert sich andererseits in die Festigkeitsberechnung ein
und dient damit der

Auslegung des Bauteils oder der Konstruktion



Benefits

- **Verzugskontrolle**
 - treten während der Fertigung bezüglich Zusammenbau kritische Verformungen auf?
- **Verzugkompensation**
 - Auslegung des Fertigungsprozesses, so daß nach Fertigung die Zielgeometrie erreicht wird.
 - Einsparung von Richtkosten und Ausschußproduktion
- **Prozeßauslegung**
 - Erzielung eines stabilen Fügeprozesses
 - Erzielung gewünschter Schmelzbadgeometrie
 - Vermeidung von Nahtfehlern (Einbrandkerben, ungenügende Durchschweißung)
 - Vermeidung schädigender Überhitzung
- **Qualitätssicherung**
 - Einstellung gewünschter mechanischer Eigenschaften im Nahtbereich
 - Überwachung von Prozeßparametern oder des Prozesse.
- **Festigkeitsauslegung**
 - Bestimmung der Grenztragfähigkeit oder des Tragverhaltens unter Gebrauchslast
- **Beantwortung einer Vielzahl von individuellen Fragestellungen**

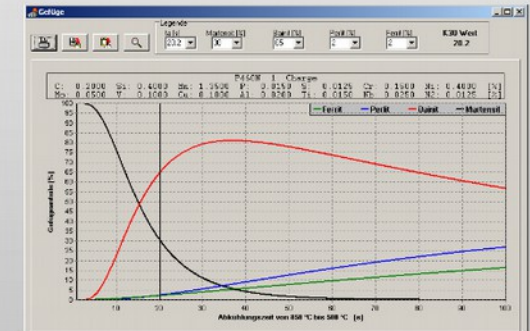
WeldWare®

Schweißtechnologisches
Beratungssystem



Mecklenburg-Vorpommern

In **WeldWare®** steckt jahrzehntelange
Erforschung vereint in einer Software:
Wärmeführung beim Schweißen von Stahl -
Gefügemwandlungen und Eigenschaften
in der Wärmeeinflußzone



Werkstoffdaten

Gefüge - mechanische Kennwerte

dient...

- der Kalkulation der Wärmeführung vor Schweißbeginn an Stahl
- der Berechnung von Gefüge und mechanischen Kennwerten in der WEZ von Schweißnähten
- der Ermittlung notwendiger Vorwärmtemperaturen an realen Bauteilen

nutzt...

- Chargenübergreifende Regressionsgleichungen
- Gemessene Schweiß-ZTU-Schaubilder von der SLV Mecklenburg-Vorpommern GmbH
- Zugehörige Materialdaten

Gefügezusammensetzung berechnen

re ® Ing.-Büro

ung Geometrie WEZ/Schweißgut Bruchfestigkeit Sprache Servi

- Schweiß-ZTU-Schaubilder
- Gefügezusammensetzung**
- Mechanische Kennwerte
- Maximalhärte

- Streuung - neue Chargen
- Streuung - gespeicherte Chargen
- Streuung - Mittelwert / Standardabweichung

- Kaltrißneigung

Analyse des Grundwerkstoffes zur Gefügeberechnung

Analyse

C	(≤ 0.18)	[%]	0.1800
Si	()	[%]	0.4000
Mn	(≤ 1.50)	[%]	0.7500
P	(≤ 0.04)	[%]	0.0200
S	(≤ 0.04)	[%]	0.0200
Cr	()	[%]	0.1000
Ni	()	[%]	0.0500
Mo	()	[%]	0.0200
V	()	[%]	0.0100
Cu	()	[%]	0.1700
Al	()	[%]	0.0200
Ti	()	[%]	0.0100
Nb	()	[%]	0.0200
N2	(≤ 0.009)	[%]	0.0045

S275JO
1.0143

Eingabe

Wähle
 Abkühlzeit
 Abkühlzeitbereich

kleinste Abkühlzeit (≥ 1) [s]:

größte Abkühlzeit (≤ 300) [s]:

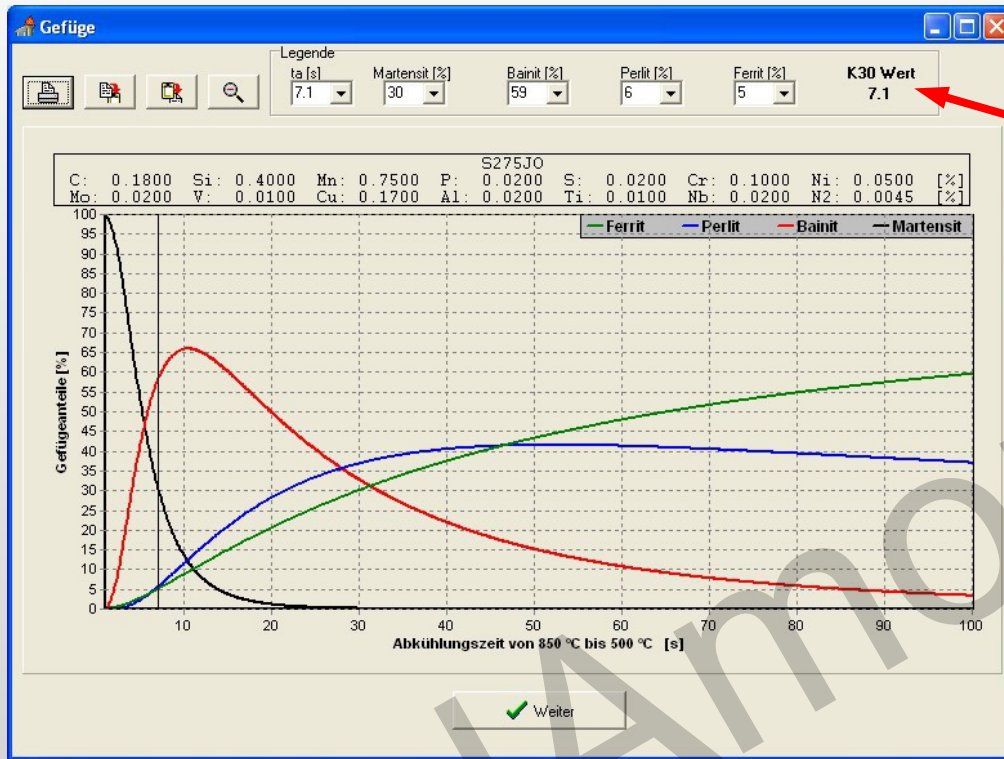
Schrittweite (≥ 1) [s]:

Abkühlzeitbereich

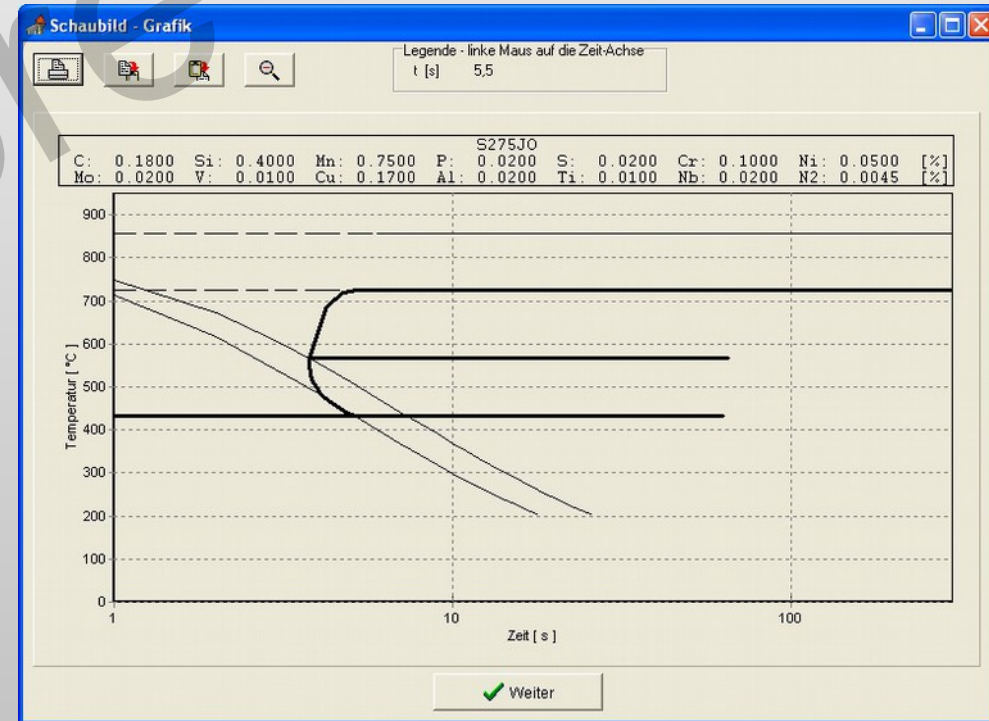
Zeit	MARTENSIT	ZWSTUFE	PERLIT	FERRIT
1	100	0	0	0
11	10	66	14	10
21	1	48	29	22
31	0	32	37	31
41	0	21	41	38
51	0	15	41	44
61	0	10	42	48

Vorausberechnung des Gefüges in der WEZ aufgrund der Stahlsorte und der chemischen Zusammensetzung

K30 Wert bestimmen und Schweiß-ZTU anzeigen

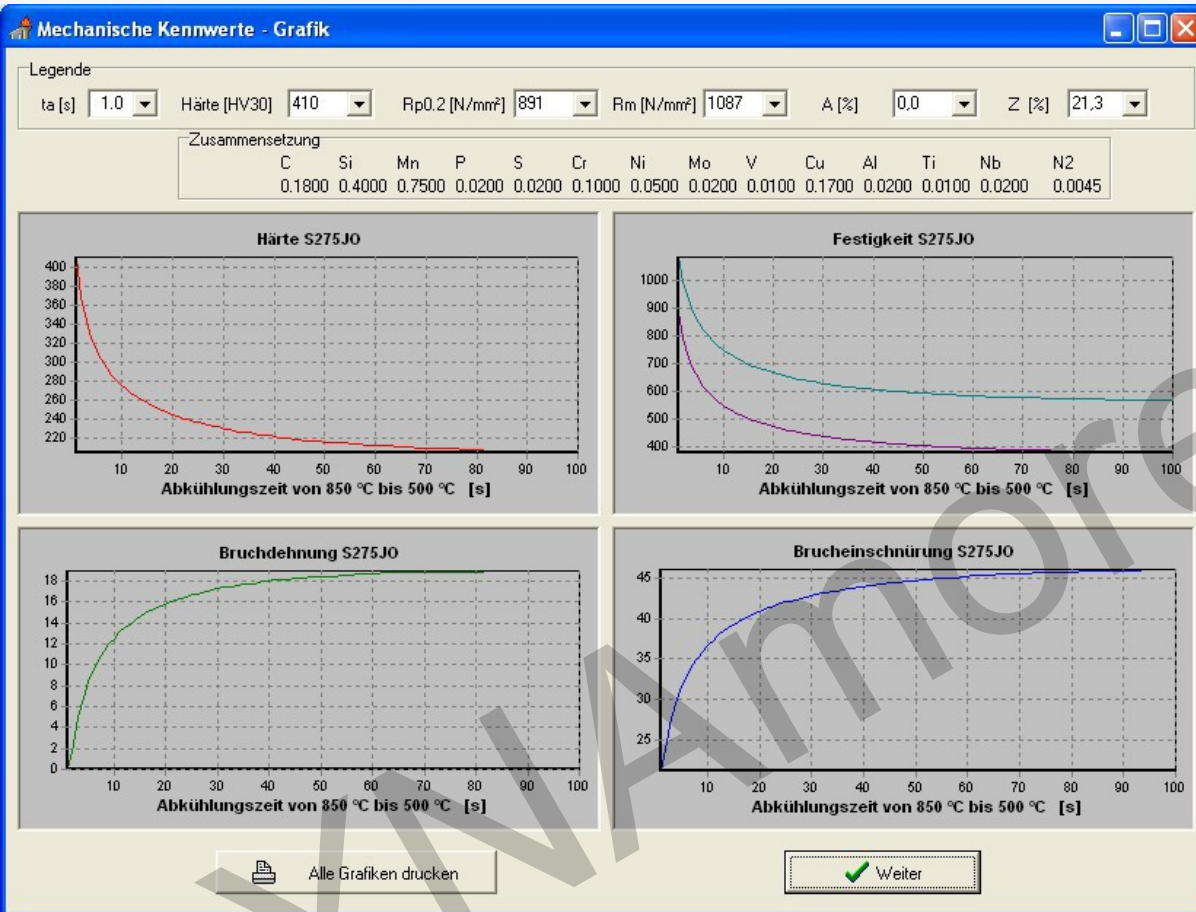


der K30-Wert kennzeichnet die $t_{8,5/5}$ Zeit bei der 30 % Martensit entstehen und gilt als Mindestwert der $t_{8,5/5}$ Zeit (Abkühlzeit) zur Vermeidung von Rissen infolge Martensit und Aufhärtung



Abschätzung der zu erwartenden mechanischen Kennwerte in der WEZ ...

- Härte
- Dehngrenze
- Zugfestigkeit
- Bruchdehnung
- Brucheinschnürung



zur Berechnung der mechanischen Kennwerte

Eingabe
 Wähle
 Abkühlzeit Abkühlzeitbereich

kleinste Abkühlzeit (≥ 1) [s]: 1
 größte Abkühlzeit (≤ 300) [s]: 100
 Schrittweite (≥ 1) [s]: 1

Berechnung

Ergebnisse - Abkühlzeitbereich

Zeit	Härte	DEHNGRENZE	ZUGFESTIG	BRUCHDEH	BRUC
1	410	891	1087	0	
2	369	789	997	2,4	
3	344	725	933	5	
4	326	680	887	6,9	
5	312	647	852	8,4	
6	302	620	824	9,5	
7	293	598	801	10,5	

S275JO
1.0143

Drucken | Protokoll | Grafik | Übernehmen | Verwerfen

... dient der Vermeidung technologischer Kerben im Vergleich zum ungeschweißten Grundwerkstoff

Vergleich S355J2+N (1.0577) und S355MC (1.0976)

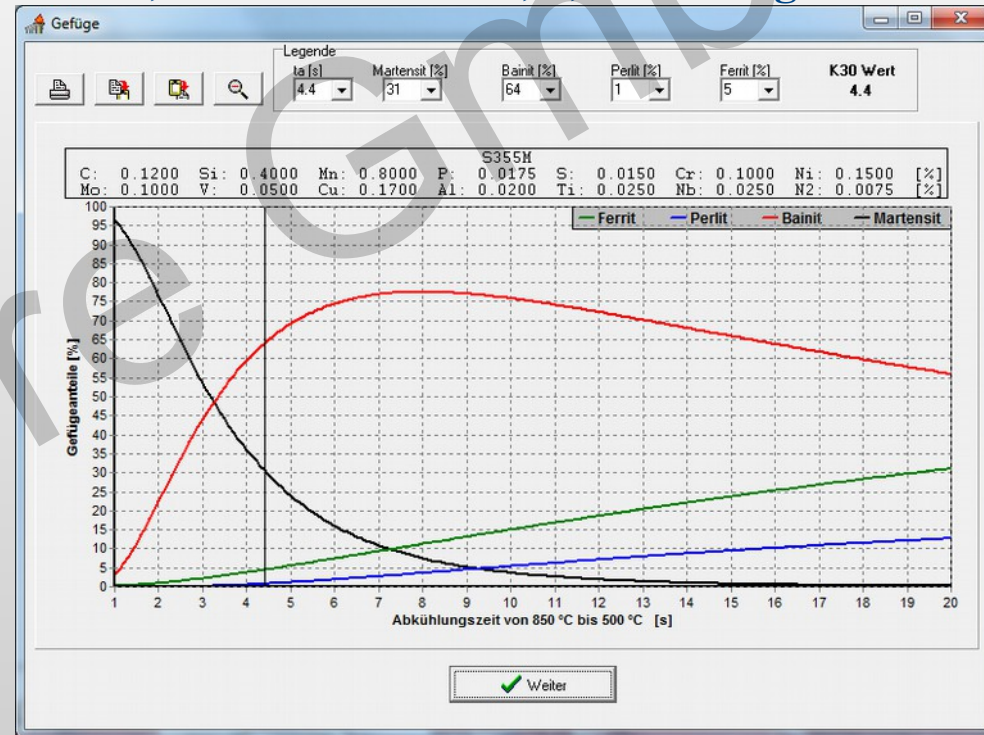
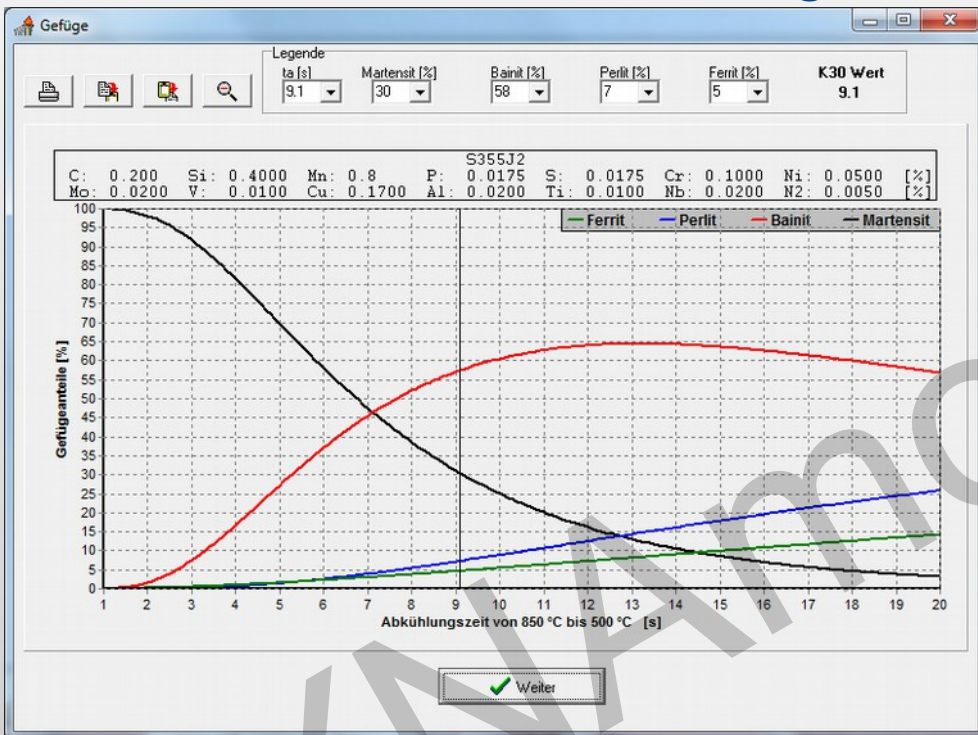
am Beispiel einer Schweißaufgabe mit einer $t_{8,5/5}$ Zeit von 5,9 s

S355J2+N (1.0577)

– 0,2 % Kohlenstoff, 0,8 % Mangan

S355MC (1.0976)

– 0,12 % Kohlenstoff, 0,8 % Mangan



$K_{30} = 9,1 \text{ s} > t_{8,5/5}$ Zeit von 5,9 s

Bruchdehnung : 10,2 % bei $t_{8,5/5} = 5,9 \text{ s}$

Härte: 318 HV30

$R_{p_{0,2}}$: 629 N/mm²

$K_{30} = 4,4 \text{ s} < t_{8,5/5}$ Zeit von 5,9 s

Bruchdehnung : 19,1 % bei $t_{8,5/5} = 5,9 \text{ s}$

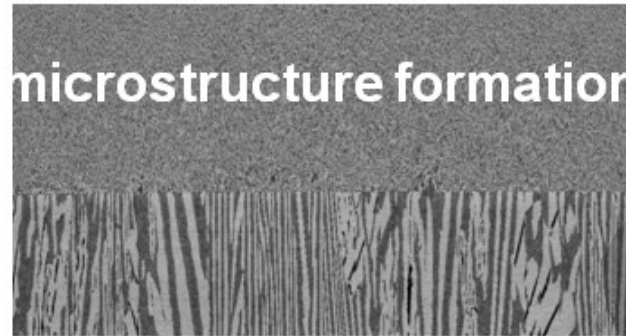
Härte: 281 HV30

$R_{p_{0,2}}$: 642 N/mm²

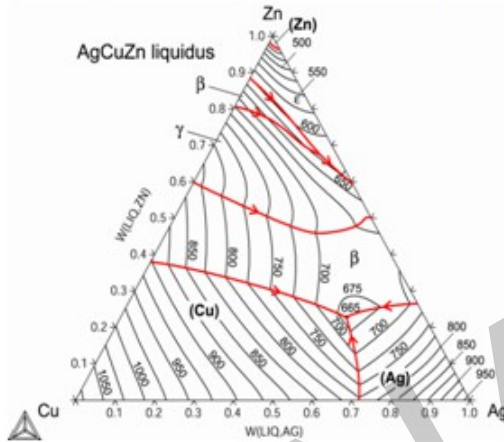


Simulation auf Mikroebene

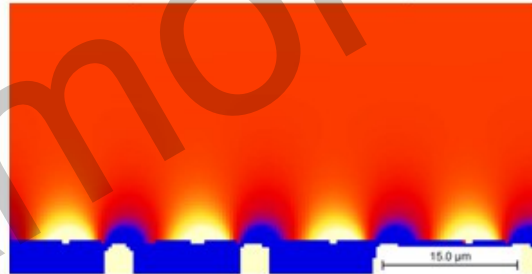
Erstarrung, Kornwachstum, Gefügeumwandlung



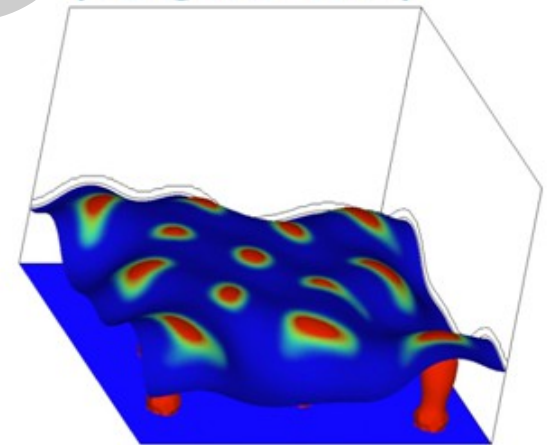
thermodynamics
(energy scale)



transport / diffusion
(time scale)



interfaces
(length scale)



TQ interface and
databases from TCS

diffusion solver

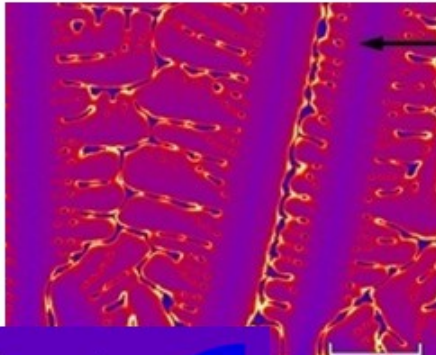
phase field method



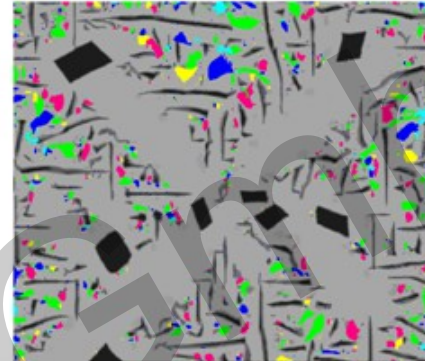
powered by technology



MICRESS simulations of technical alloy grades



Steel
(e.g. stainless steel)

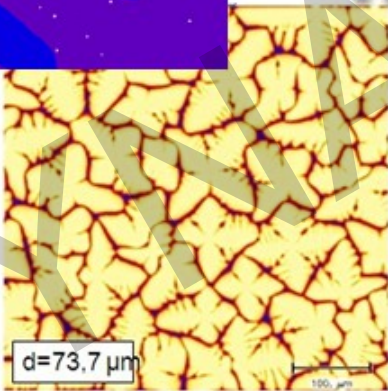
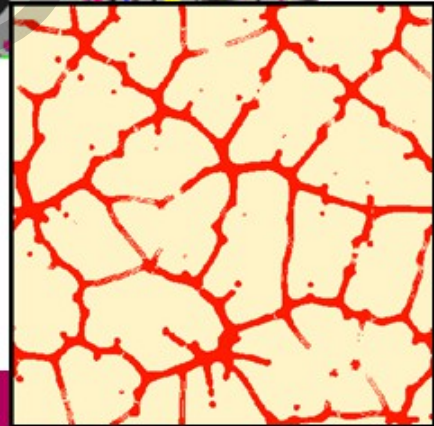


Al-alloys
(e.g. KS 1295)

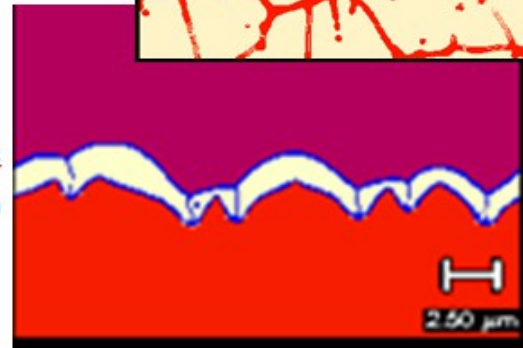


micress®

www.micress.de



Superalloys
(e.g. IN 718)



Solders
(e.g. SAC)



micress®

powered by technology



access

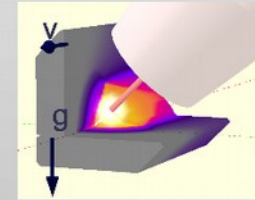
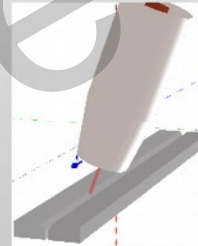


SimWeld



In **SimWeld** steckt langjährige Forschung und Entwicklung in der anwendungsnahen Schweißprozeßsimulation vom

Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik der RWTH Aachen.



Schmelzbadberechnung

Schweißparameterfindung (MSG)

Berechnung der eingebrachten Energie

Ein- und Ausgabegrößen der Prozeßsimulation

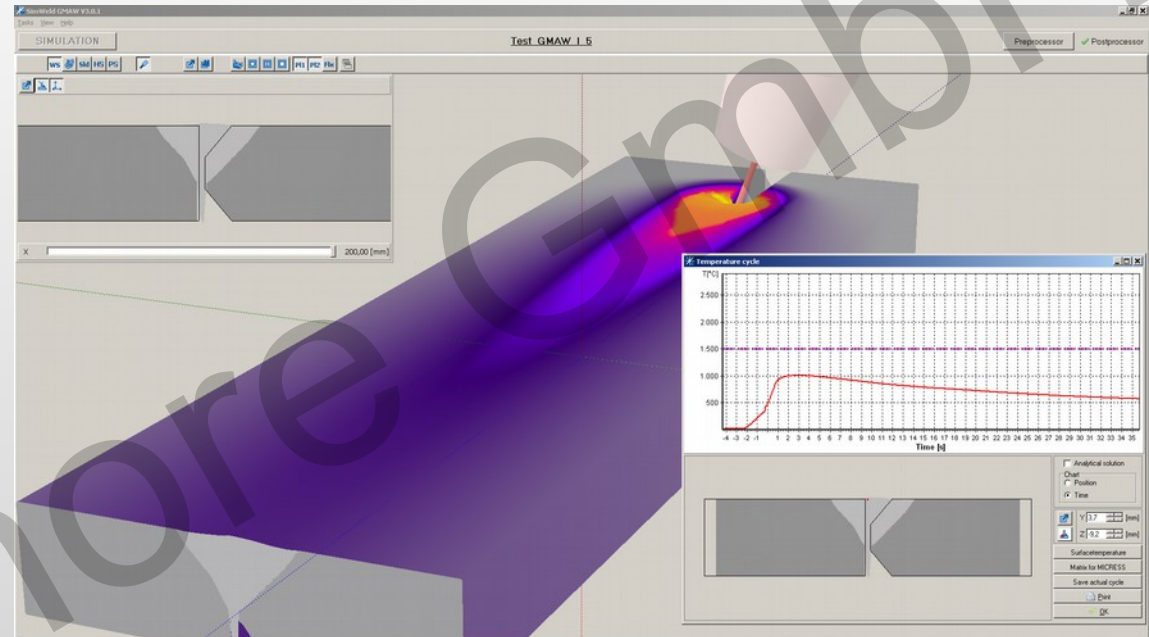
Eingabeparameter:

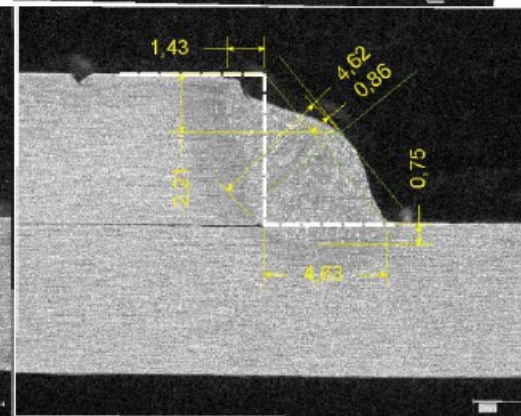
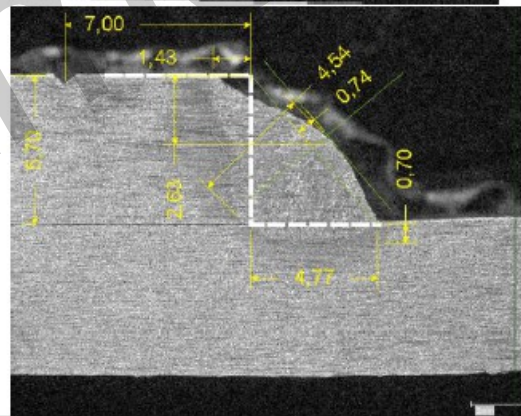
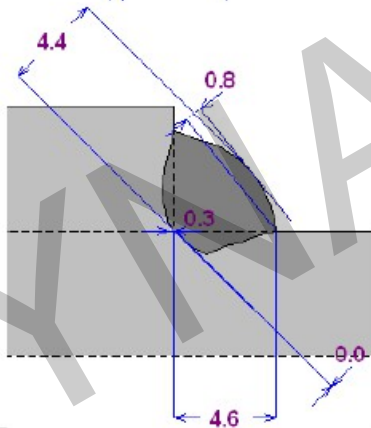
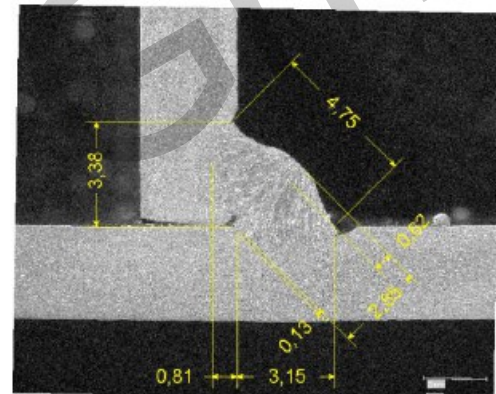
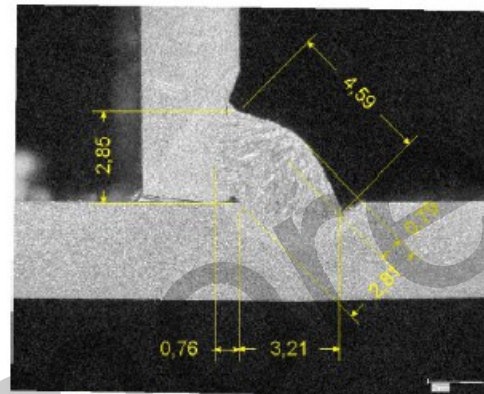
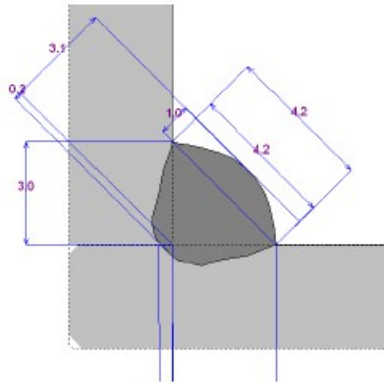
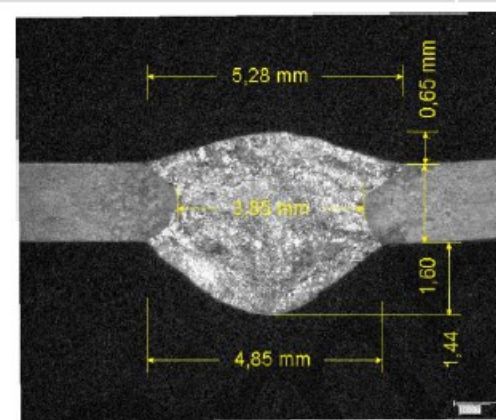
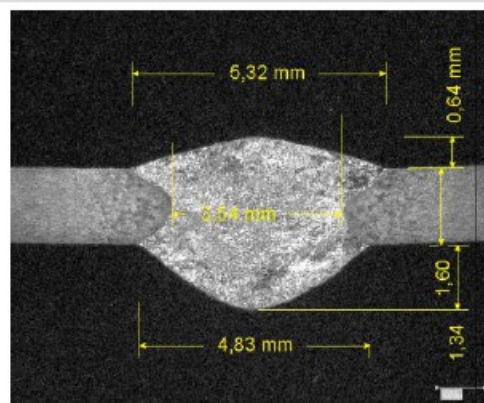
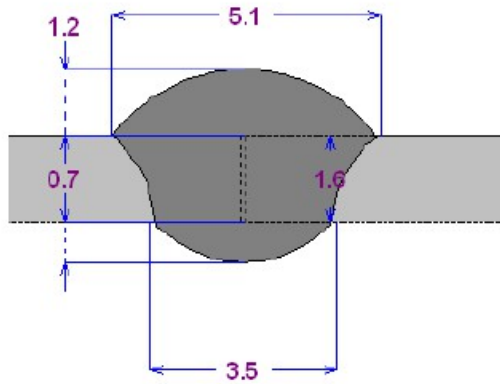
- Drahtvorschub
- Schutzgas
- Schweißgeschwindigkeit
- Stromstärke / Spannung
- Anstellwinkel
- Schweißposition und Bauteilgeometrie

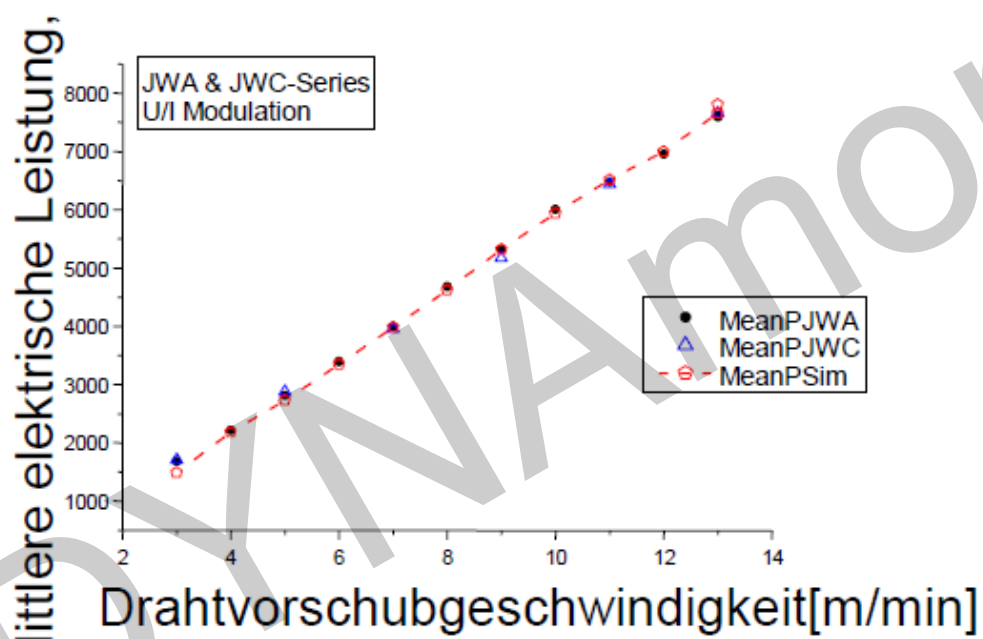
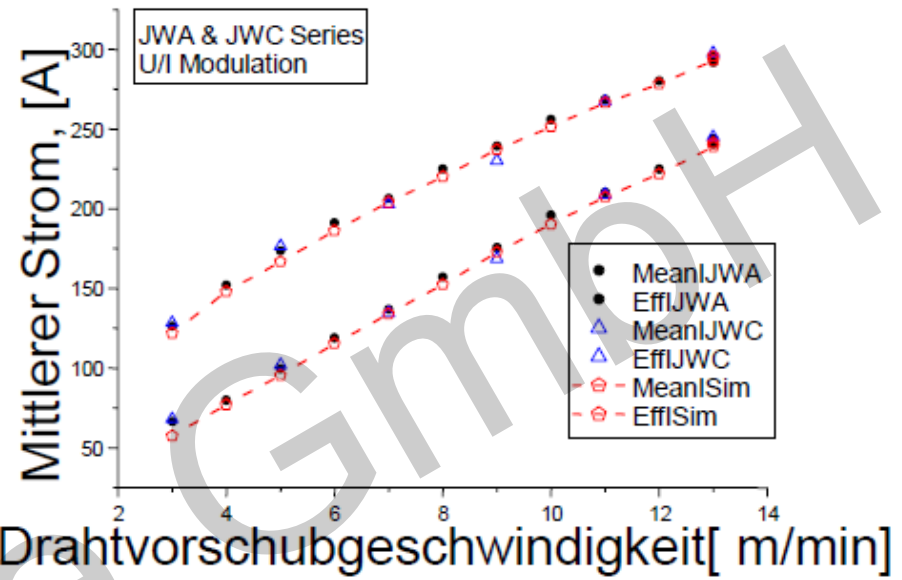
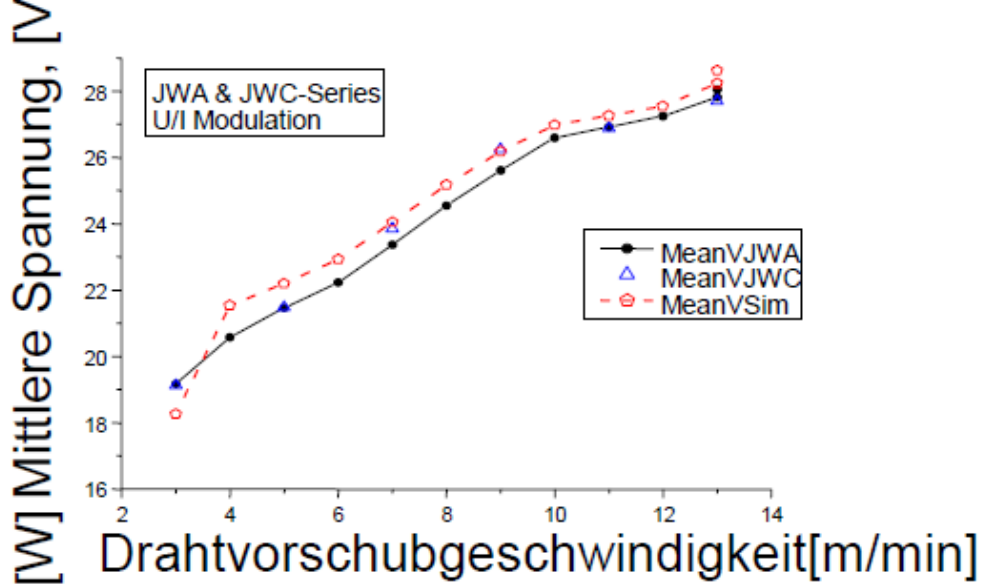
Ausgabeparameter:

- Nahtgeometrie
- Einbrand / Einbrandkerben
- Schweißbarkeit
- Temperaturverlauf und Tropfenablösung
- Kontrollgrößen: Schweißstrom, Spannung zwischen Bauteil und Brenner

Berechnungszeit zwischen 0,5 und 2 Minuten







Grundwerkstoff	DC01
Blindschweißung	
Werkstückdicke	2,99mm
Schweißdraht	YM-28S / JIS-3312
Drahtdurchmesser	1,0mm
Schutzgas	Corgon18
Prozess Typ	U/I-Modulation
<i>Kontaktrohrabstand</i>	<i>15mm</i>

Lichtbogen, Tropfenablösung, Leistung

SimWELD ArcSolver

Anlage | OTC

Stromquelle | OTC

Draht

Drahttype | SG-2(G3Si1)

Drahtgeometrie | 1.0 mm

Abstand | 15,0 mm

Schutzgas

| 82% Ar 18% CO2

Schweißskabel

Schlauchpaketlänge | 3,5 m

Leitungsquerschnitt | 33 mm²

Stromzufuehrung | 10,5 m

Leitungsquerschnitt | 95 mm²

Stromrueckfuehrung | 10,5 m

Leitungsquerschnitt | 95 mm²

Spannungsmessung

Regler

Quelle

Vorschub

Bild

Quelle

Vorschub

mm | T surface - T axial

200 400 600 800 1.000 1.200 1.400 1.600 1.800 2.000 [°C]

save as fil

current voltage arc length droplet

[A] [V], [m]

0,03 0,08 0,13 0,18 0,23 0,28 0,33 0,38 0,43 0,48 0,53 0,58 [s]

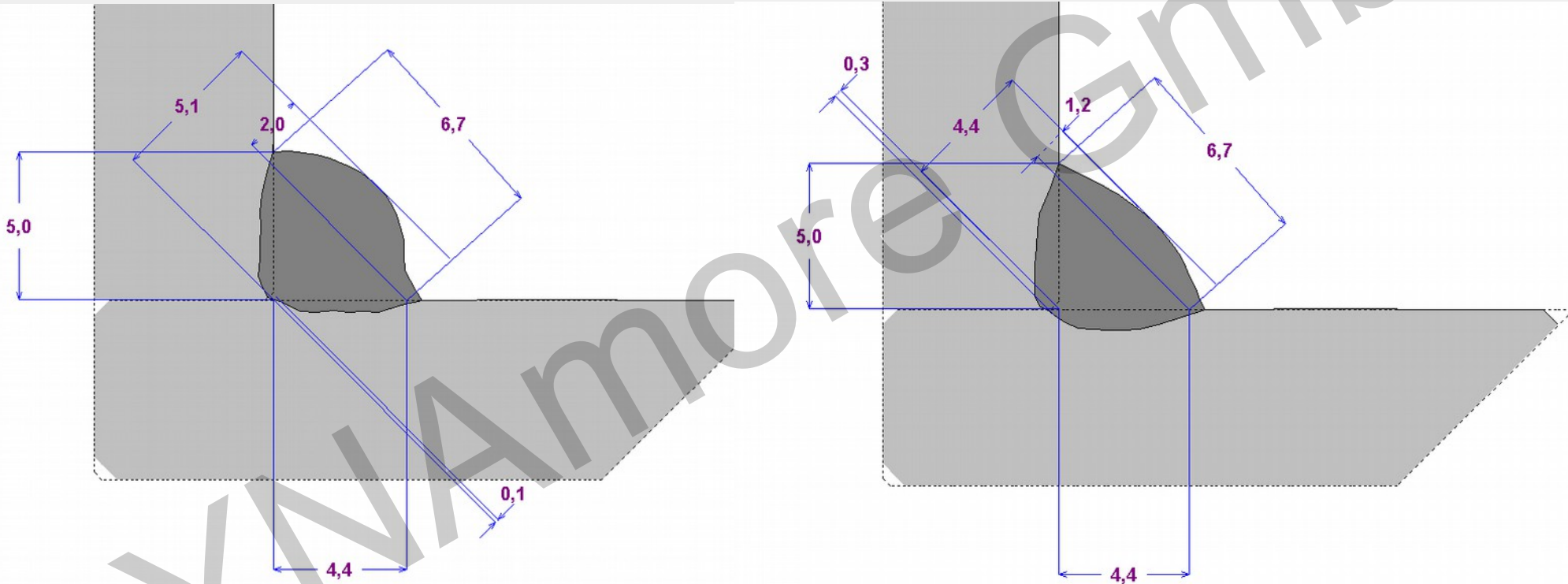
100%

Ergebnisse							
Kathode	7,3 V	Kathodenleistung	1142,9 W	Verdampfungsleistung	423,5 W	Mittlere Tropfentemperatur	2631,6 °C
Anode+Draht	11,0 V	(An.+Dr.) El. Leist.	1760,9 W	Verdampfungsverlust	24,1 %	Mittlere Frequenz	61,1
Saeule	0,8 V	Mittlerer Strom	160,6 A	Tropfenleistung	1337,3 W		
Spann.(Bild)	19,2 V	Eff.mittl. Strom	163,4 A	Integ. Leistung (Bild)	3035,6 W		
Kabelverlust	0,6 V						

Simulation
Pause
Stop

Version 2.105.1 Diese Version ist nur fuer Testzwecke geeignet

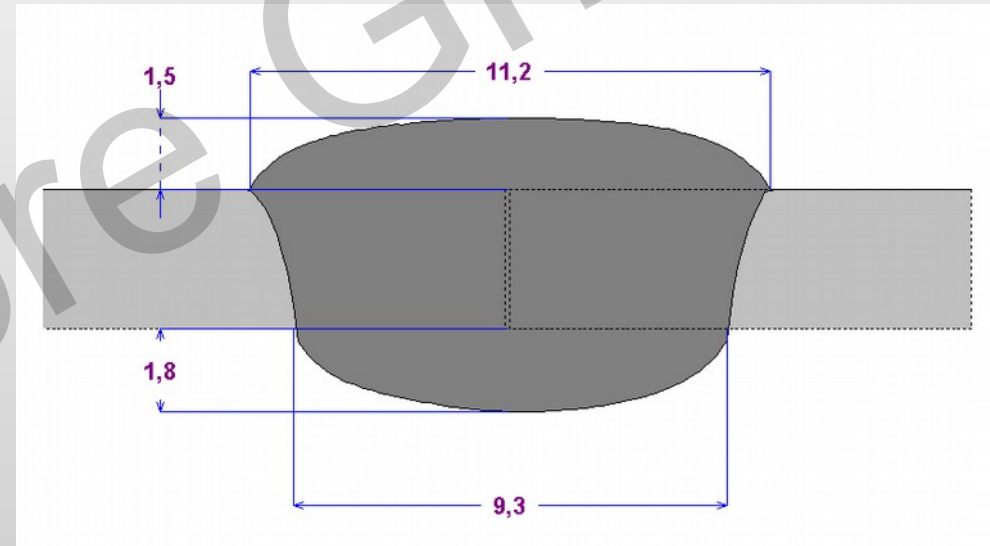
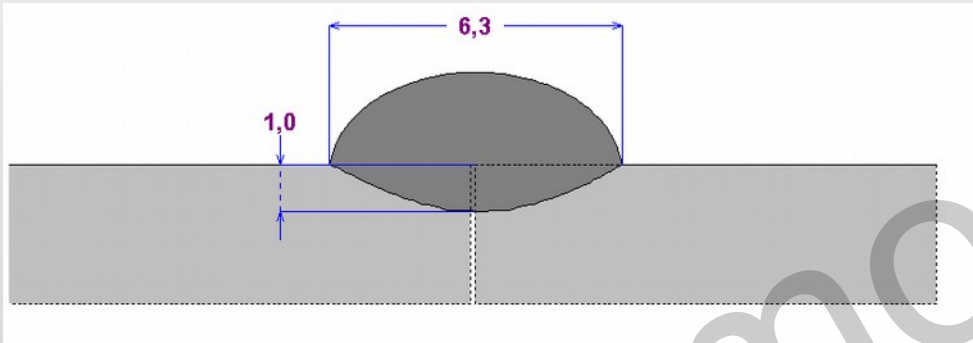
Kehlnaht



Schweißgeschwindigkeit: 25 cm/min
Drahtvorschub: 6 m/min

50 cm/min
10 m/min

Stumpfnaht



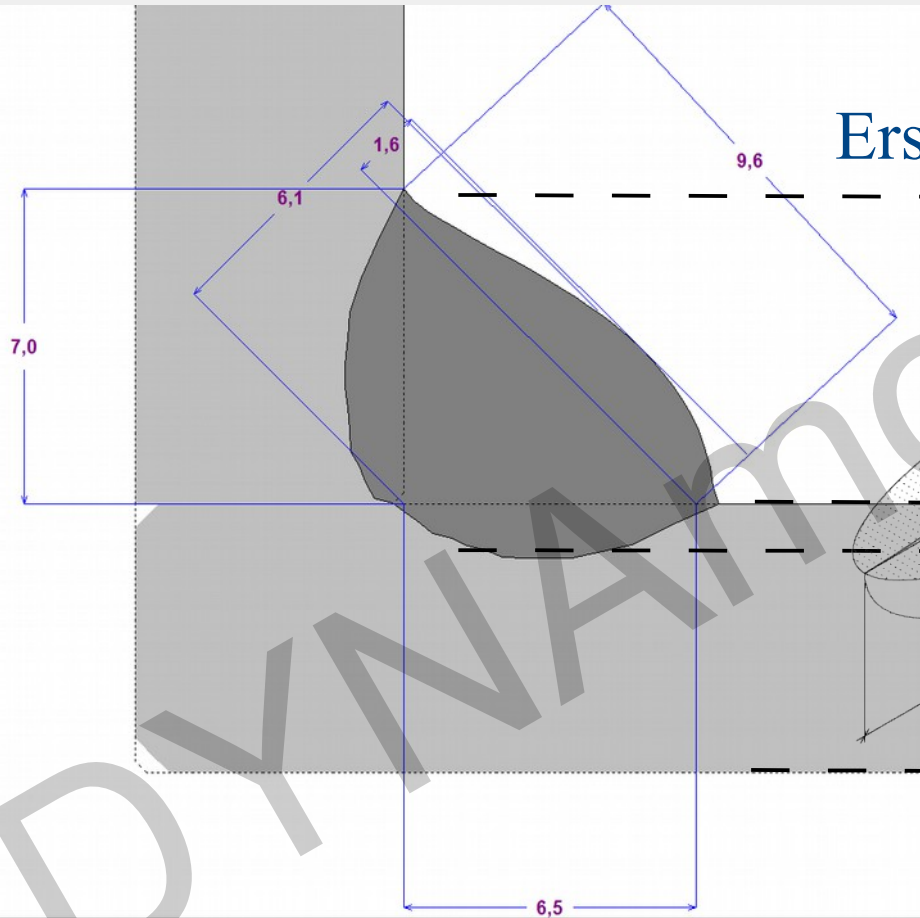
Schweißgeschwindigkeit: 50 cm/min
Drahtvorschub: 6 m/min

30 cm/min
10 m/min

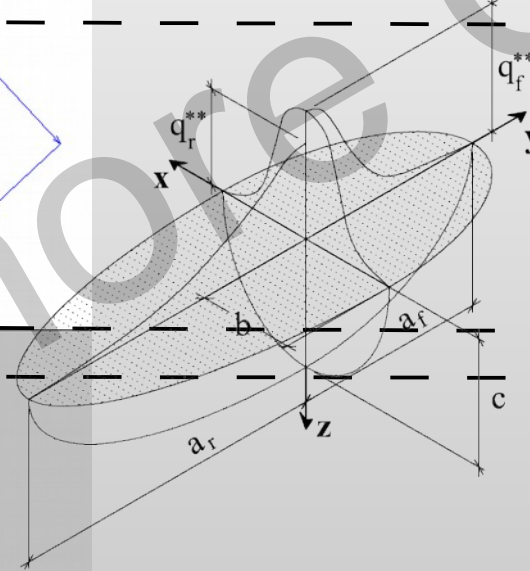
Kopplung Prozeßsimulation – Struktursimulation

Transfer des berechneten Wärmeeintrages

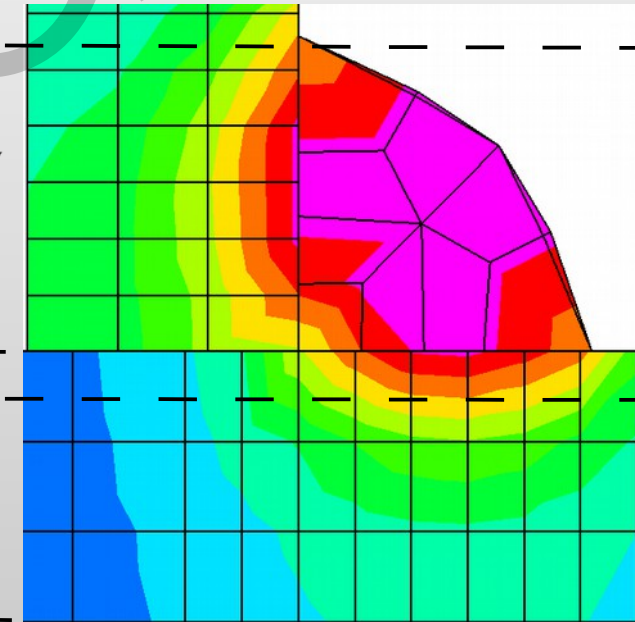
SimWeld



→
Funktion der
äquivalenten
Ersatzwärmequelle



LS-DYNA



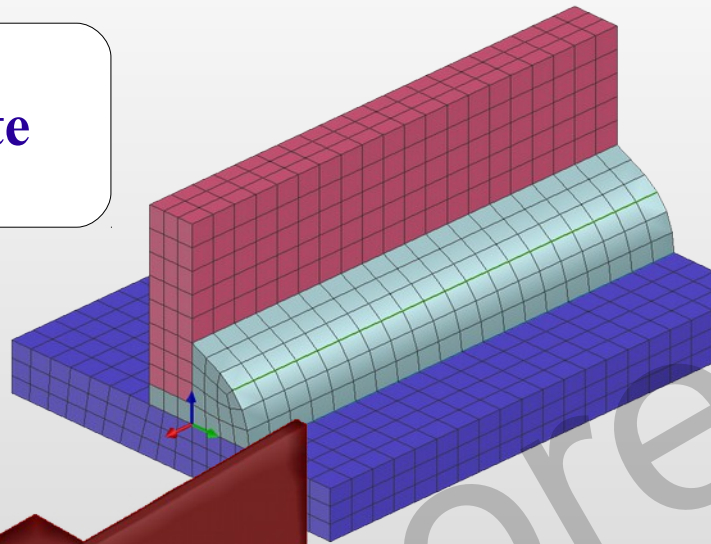
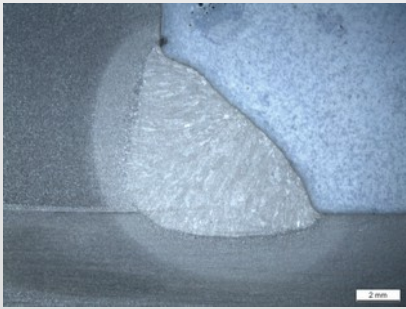


Schweißstruktursimulation

Eigenstressen - Verzug - Temperatur
im gesamten Bauteil

Schweißstruktursimulation mit der Methode der Finiten Elemente

Methode der Finiten Elemente FEM



**Geometriebeschreibung
des Bauteils - CAD**

**Einteilung in Finte Elemente
Vernetzen**

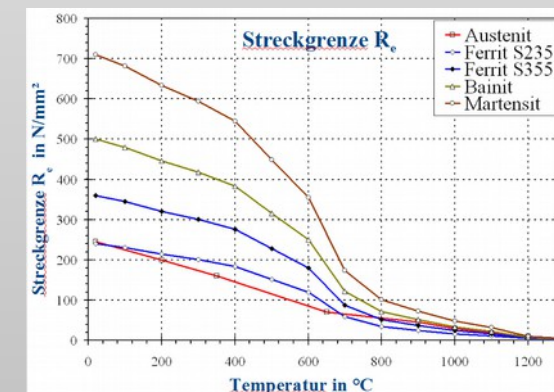
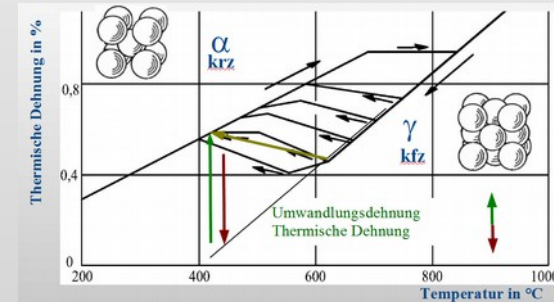
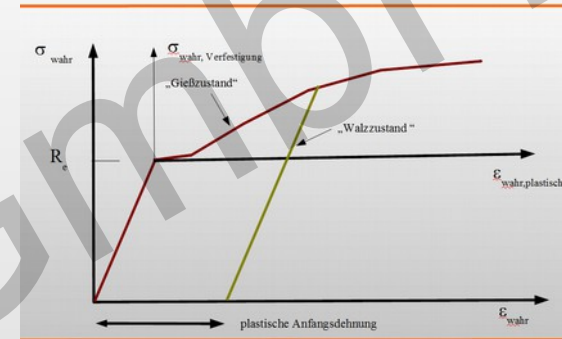
**Werkstoff
Materialeigenschaften**

**Schweißen
Definition der Ersatzwärmequelle**

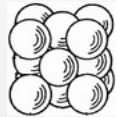
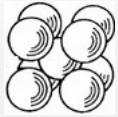
**Fertigungsprozeß
Materialzuweisung, Schweißfolge,
Spannvorrichtung, äußere Lasten**

Die wichtigsten Aspekte der Schweißstruktursimulation

- **Geometrie**
- **Material**
 - Temperaturabhängigkeit
 - Verfestigung
 - Rücksetzen der Verfestigung beim Aufschmelzen
 - Gefügemwandlung
 - Umwandlungsdehnungen
 - gefügeabhängige Änderung der Materialkennwerte
- **Wärmequelle**
 - Geometrie und Wärmeeintragsfunktion
 - Bahn und Bahngeschwindigkeit
- **Mechanische Randbedingung**
 - Spannvorrichtung
 - Kontakt
- **Ergebnisgrößen**
 - Verformung
 - Eigenspannung und Dehnung
 - Gefügezusammensetzung und Härte



Gefügeumwandlung und Umwandlungseffekte



ferritisches Gefüge krz → austinitisches Gefüge kfz
 Volumenänderung bei der Gefügeumwandlung

rechts:

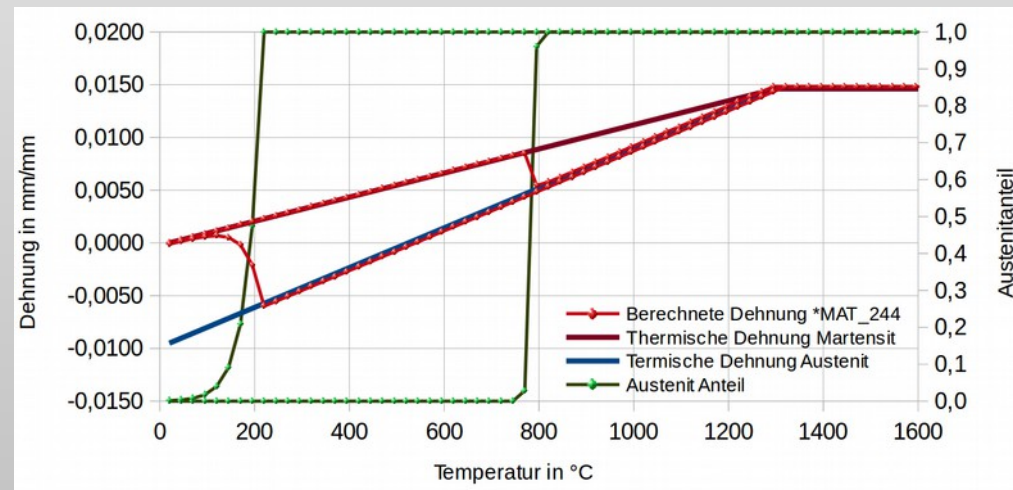
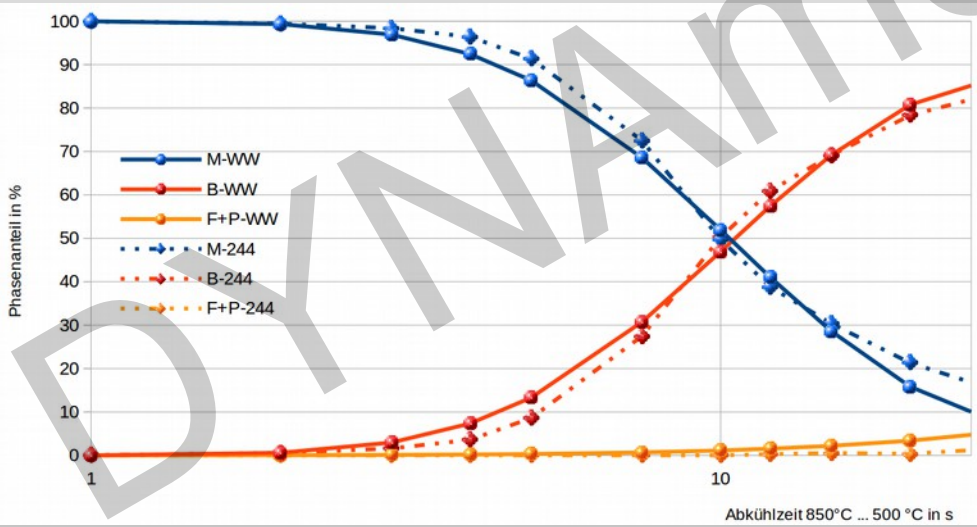
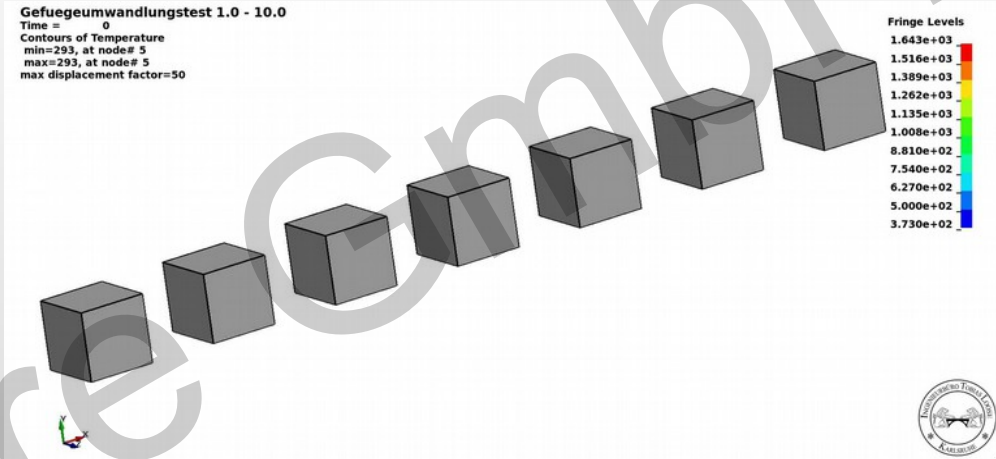
Animation thermische Dehnung und Umwandlungsdehnung beim Erwärmen und Abkühlen bei unterschiedlichen Abkühlraten (S355)

unten rechts:

Umwandlung Dilatation (1.4317)

unten links:

ATU-Diagramm S500 Abgleich Quelldaten und Simulation





Verzugsberechnung

Verzug normal zur Blechebene

Laser Welding

Time = 1015.1

Contours of Z-displacement

min=-5.77562, at node# 503

max=1.15873, at node# 6212

max displacement factor=5

Fringe Levels

1.159e+00

6.634e-01

1.681e-01

-3.272e-01

-8.225e-01

-1.318e+00

-1.813e+00

-2.308e+00

-2.804e+00

-3.299e+00

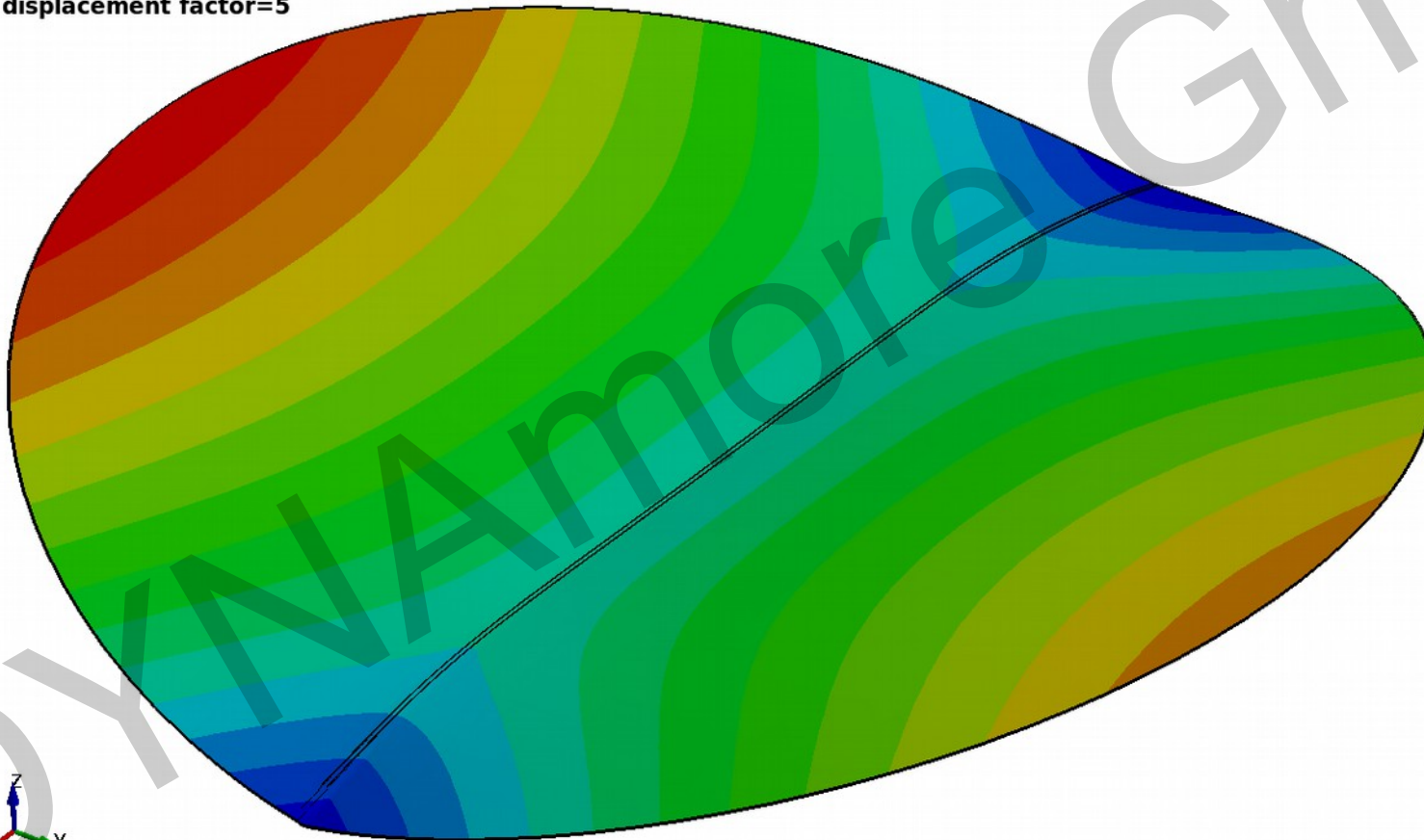
-3.794e+00

-4.290e+00

-4.785e+00

-5.280e+00

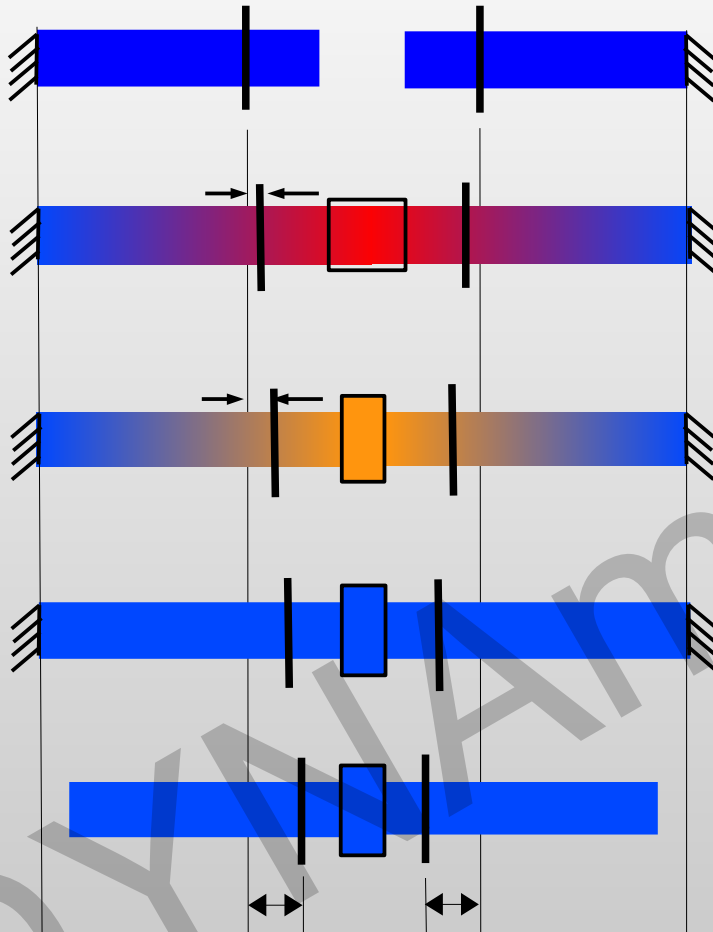
-5.776e+00



Die wichtigsten Mechanismen

- Erwärmung → Ausdehnen
- Abkühlen → Zusammenziehen
- Während eines Schweißzyklus treten immer gegenläufige Bewegungen auf (oben – unten, innen-außen)
- Weiche Bereiche werden von den Bewegungen der angrenzenden Bereiche gedehnt oder gestaucht, das „Eingestauchte Material“ verursacht den Verzug.
- „Warmumformung“ der weichen Bereiche: Einfrieren eines Verformungszustandes nach dem Erstarren
- Ausschlaggebend ist nicht das Zusammenziehen der Schmelze sondern die Bewegung der Bereiche neben der Naht
- Die maßgebende Größe ist die Bauteilsteifigkeit, diese ändert sich während des Schweißens ständig durch das Erstarren der Schweißraupen.

Querverzug



Ausgangszustand

Nebenbereiche dehnen sich aus

und stauchen den Nahtbereich wegen
Quereinspannung auf

Abkühlen mit Schrumpfung erzeugt Verkürzung

oder bei verbleibender Einspannung
Eigenspannungen

Quellen:

ESI : How to model Weld Distortion with shell elements, 2009

Dissertation von Leggatt 1980

Beispiel Winkelverzug mehrlagiger Nähte

2D-Modell LS-DYNA - Simulationsmodell

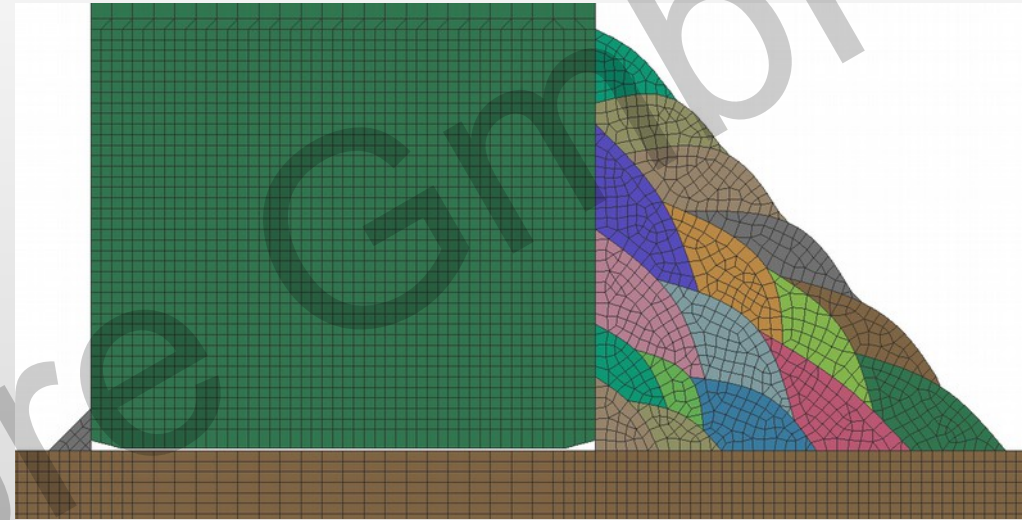
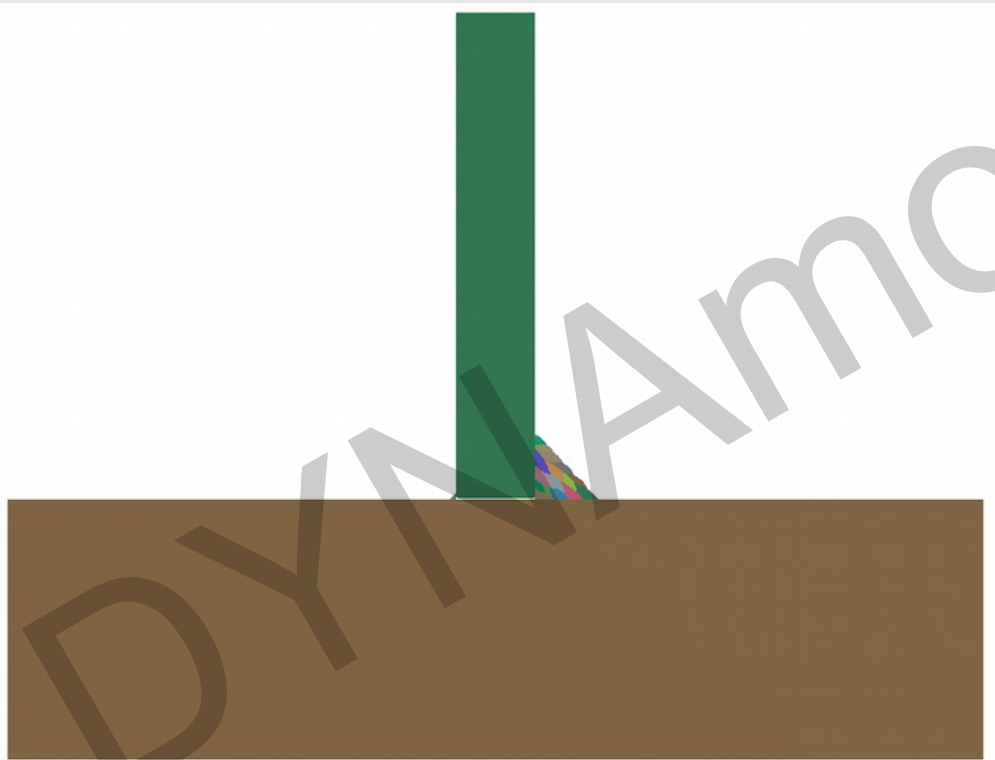
2D ebener Dehnungszustand

Platte: 300 x 80 mm

Steife: 150 x 24 mm

Kehlnaht: $a = 13$ mm

Material: 1.4301



Heftnaht $a = 1,4$ mm
mit Dehnungsversagen $K_{FAIL} = 0,25$ m/m

Anfangsspalt zwischen Steife und Platte:
0,1 mm

Die Plate ist mit Symmetrierand-
bedingungen an der linken und rechten
Seite gehalten.



Validierung

Validierung IIW Round Robin Versuch

- Platte mit den Abmessungen 270 x 200 x 30 mm³ mit V/U-förmiger Nut
- Austenitischer Nichtrostender Stahl (316LNSPH, $k_f = 275 \text{ MPa}$)
- 2 Lagen, Zuschweißen der Nut mit artgleichem Zusatzmaterial 316L
- TIG Schweißung mit $U = 9 \text{ V}$, $I = 155 \text{ A}$, $v = 0,67 \text{ mm/s}$

Vergleich Meßwerte und Berechnungsergebnis

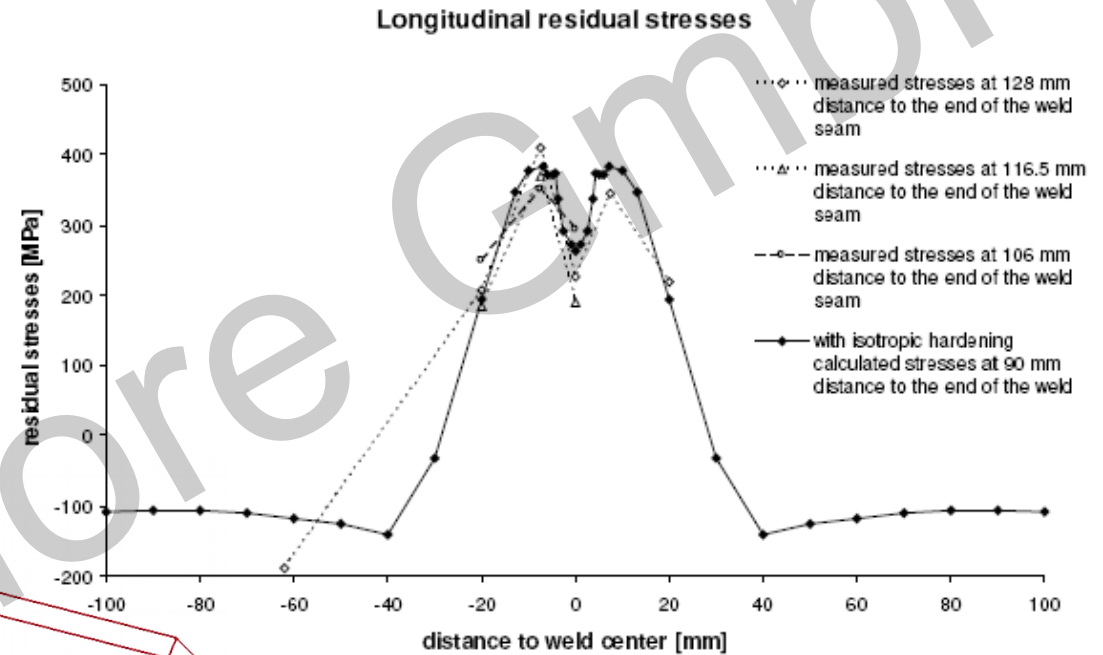
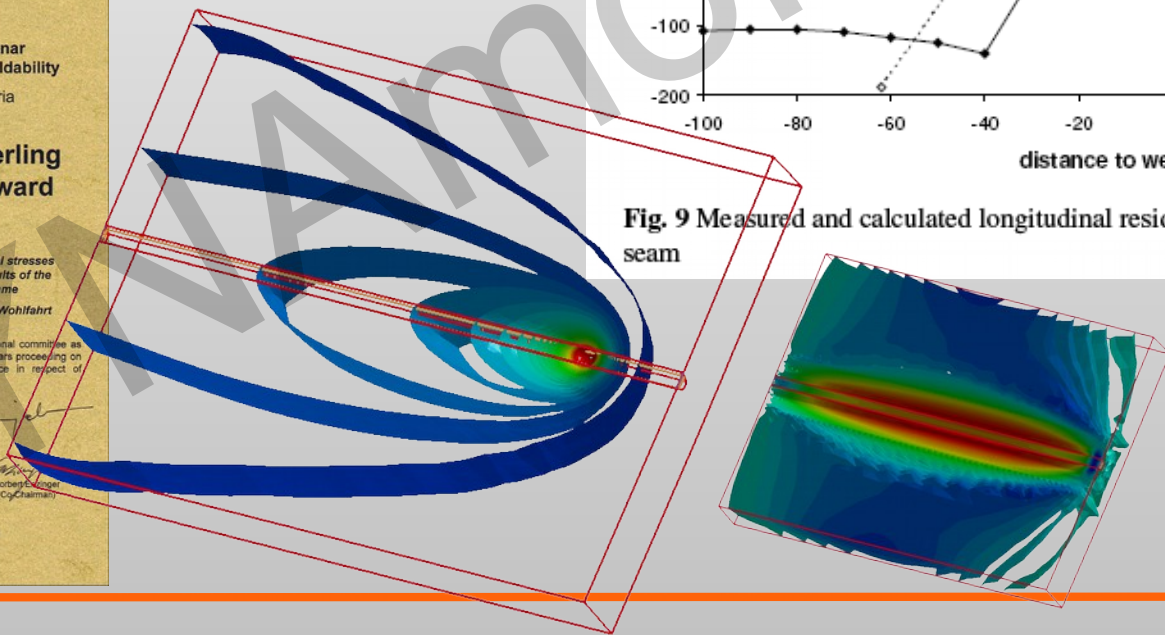


Fig. 9 Measured and calculated longitudinal residual stresses along a line transverse to the weld seam



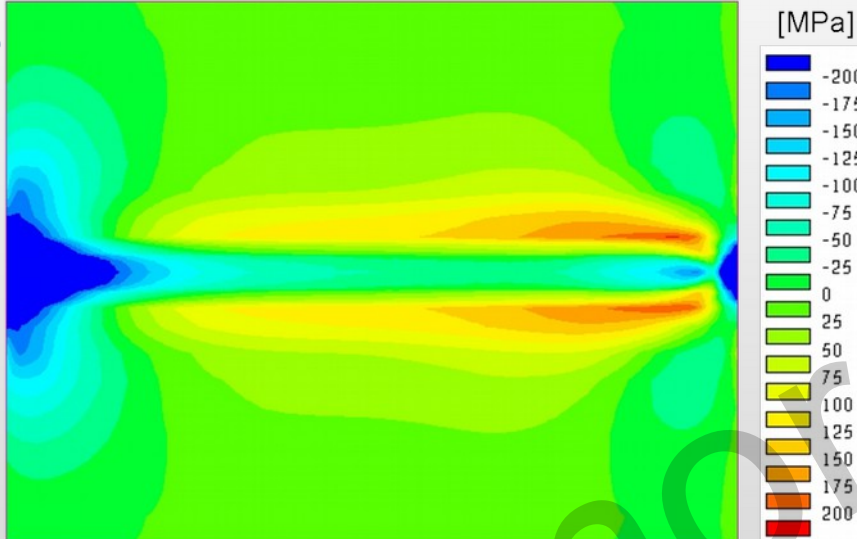
Loose, T. ; Sakkietitbutra, J. ; Wohlfahrt, H. :
New 3D-Calculations of residual stresses
consistent with measured results of the
IIW Round Robin Programme.
In: Cherjak, H. (Ed.) ; Enzinger, N. (Ed.) :
Mathematical Modelling of Weld Phenomena Bd. 9,
Verlag der Technischen Universität Graz, 2010



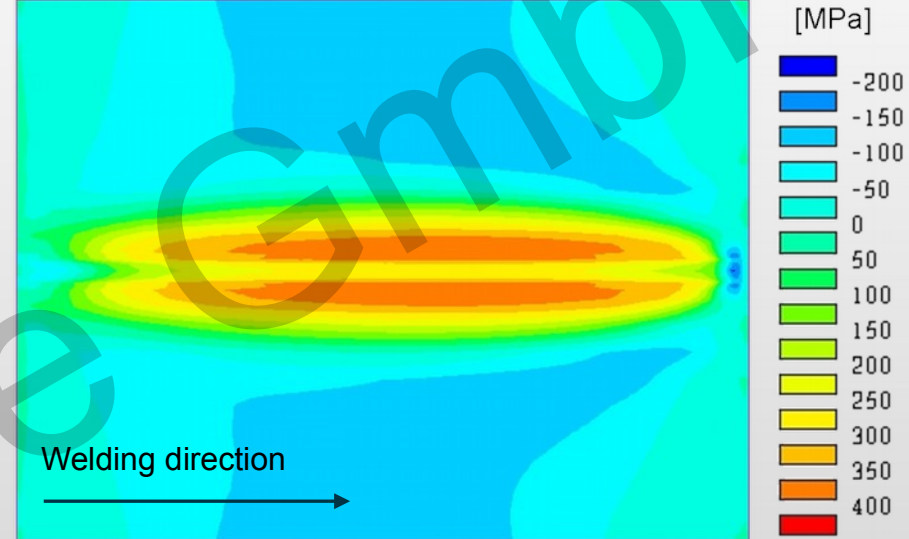
Validierung IIW Round Robin Versuch

Quereigenspannung

SYSWELD

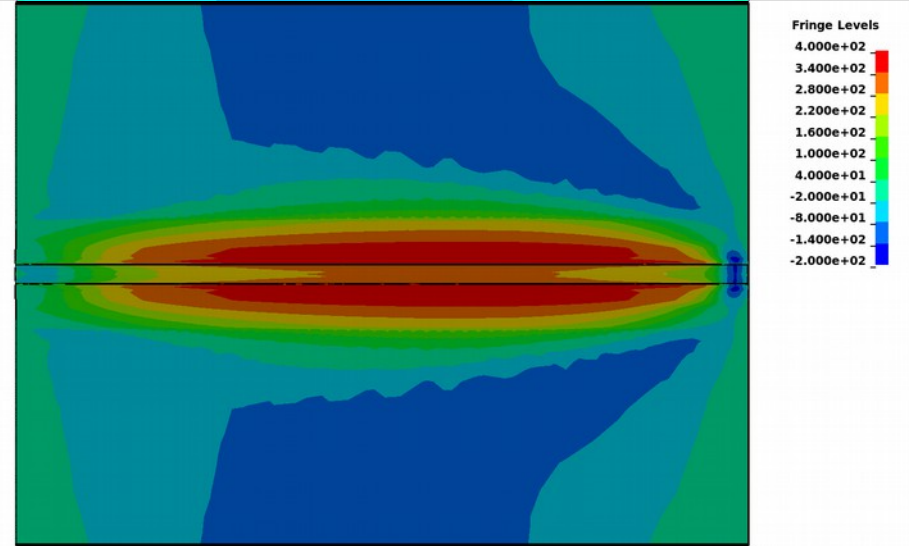
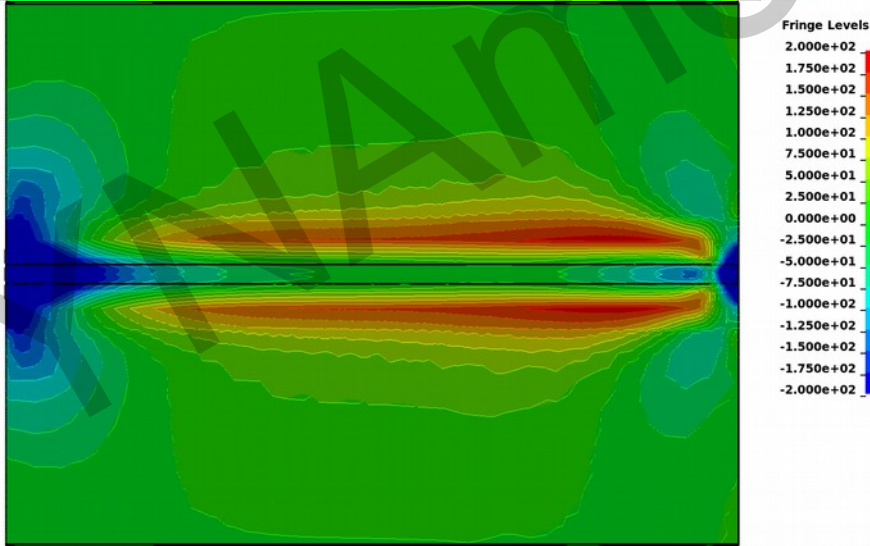


Längseigenspannung

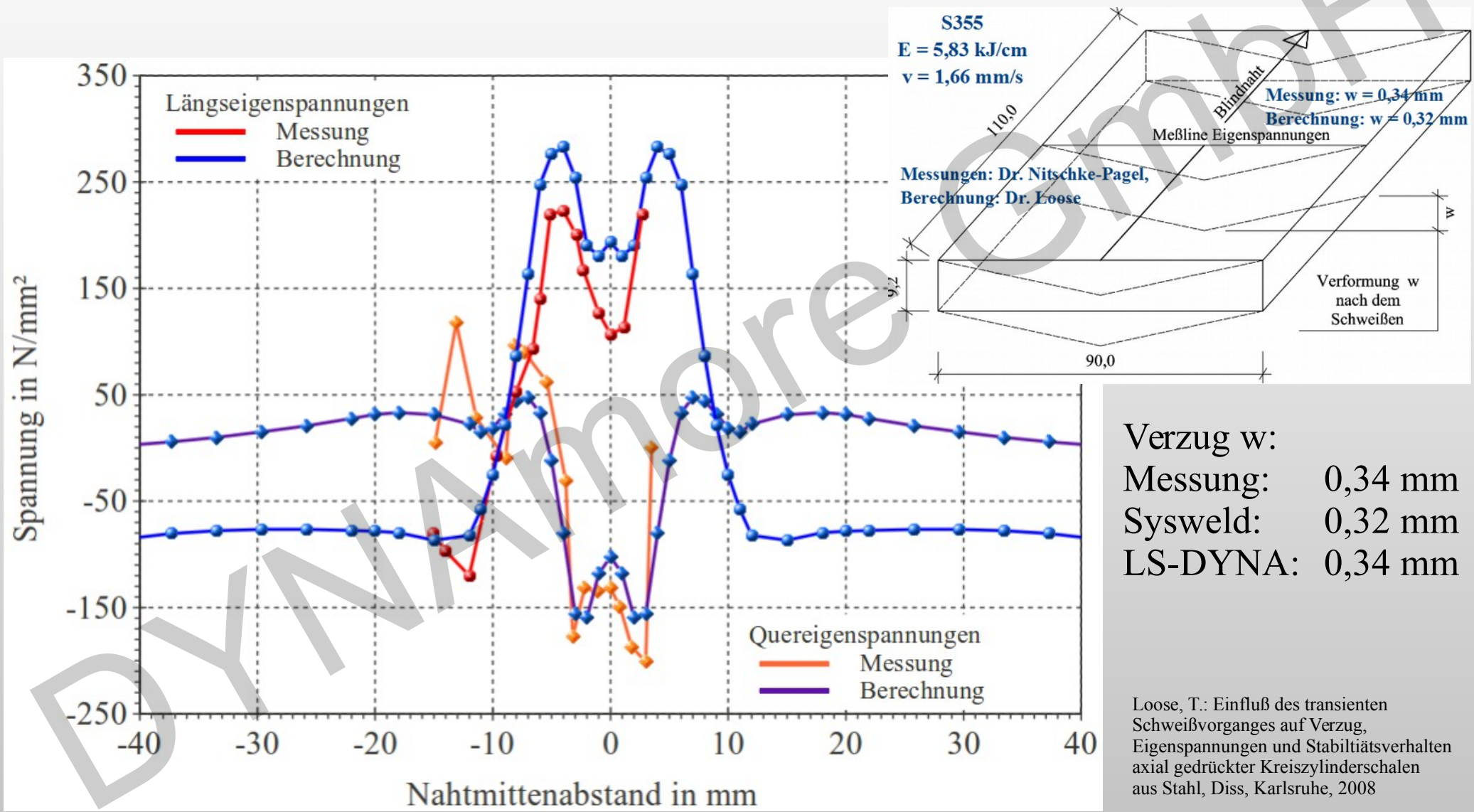


Round Robin
Time = 15000
Contours of Z-stress
min=-445.209, at elem# 286
max=352.951, at elem# 36458

LS-DYNA



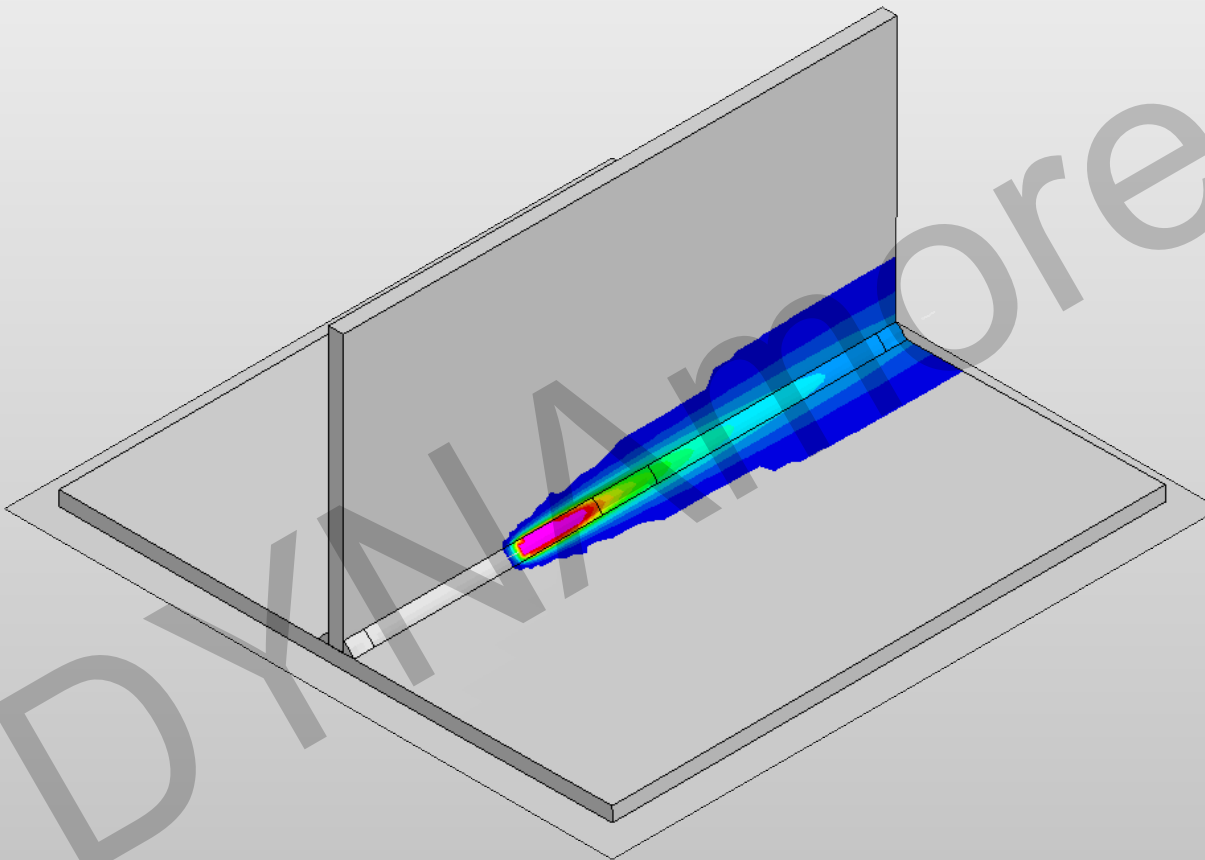
Validierung Nitschke-Pagel Versuch



SimWeld - DynaWeld - LS-DYNA

Benchmark Welding Distortion Analysis

Volvo T-Joint



Welding Task

- **Double sided T-Joint $a = 4$ mm**
- **Plate S355 thickness 8 mm**
- **3 Tacks double sided**
- **Travel speed 80 cm/min**
- **Current: 390 A**
- **Voltage: 30 V**

- **Start Time Tack 1: 0 s**
- **Start Time Tack 2: 20 s**
- **Start Time Weld 1: 1000 s**
- **Start Time Weld 2: 1023 s**
- **Weld 1 and Weld 2 have the same travel direction**



Foto: Volvo

Input-Parameter SimWeld

Workpiece parameters (Ctrl + 1)

Geometry
 EN ISO **EN ISO 9692-1: 2003 (D)**

Joint type: **Square edges (3.1.1)**

width: 40,00 [mm] height: -1,00 [mm]
 t1: 8,00 [mm] t2: 8,00 [mm]
 b: 0,00 [mm] c: -1,00 [mm]
 radius: -1,00 [mm] e: -1,00 [mm]
 alpha: 90,00 [°] beta: -1,00 [°]

Left plate visible Right plate visible

Material
 Plates: S355

Position
 Type: Custom
 across: 45,00 [°] along: 0,00 [°]

Process parameters (Ctrl + 2)

Process parameters
 Welding speed: 80,00 [cm/min]
 Initial temperature: 20,00 [°C]

Simulation Options
 Consider gap

Calculation length: User defined
 100,00 [mm]

Mesh density: normal (1.0x)

Resources: medium
 Accuracy: medium

OK Cancel

Torch parameters (Ctrl + 3)

Wire
 Diameter: 1.6 [mm]
 Material: SG-Fe
 Wire initial heating
 Contact noz. t.: 20 [°C]

Position
 X: 0,00 [mm]
 Y: 0,00 [mm]
 L: 20,00 [mm]
 R: 20,00 [mm]

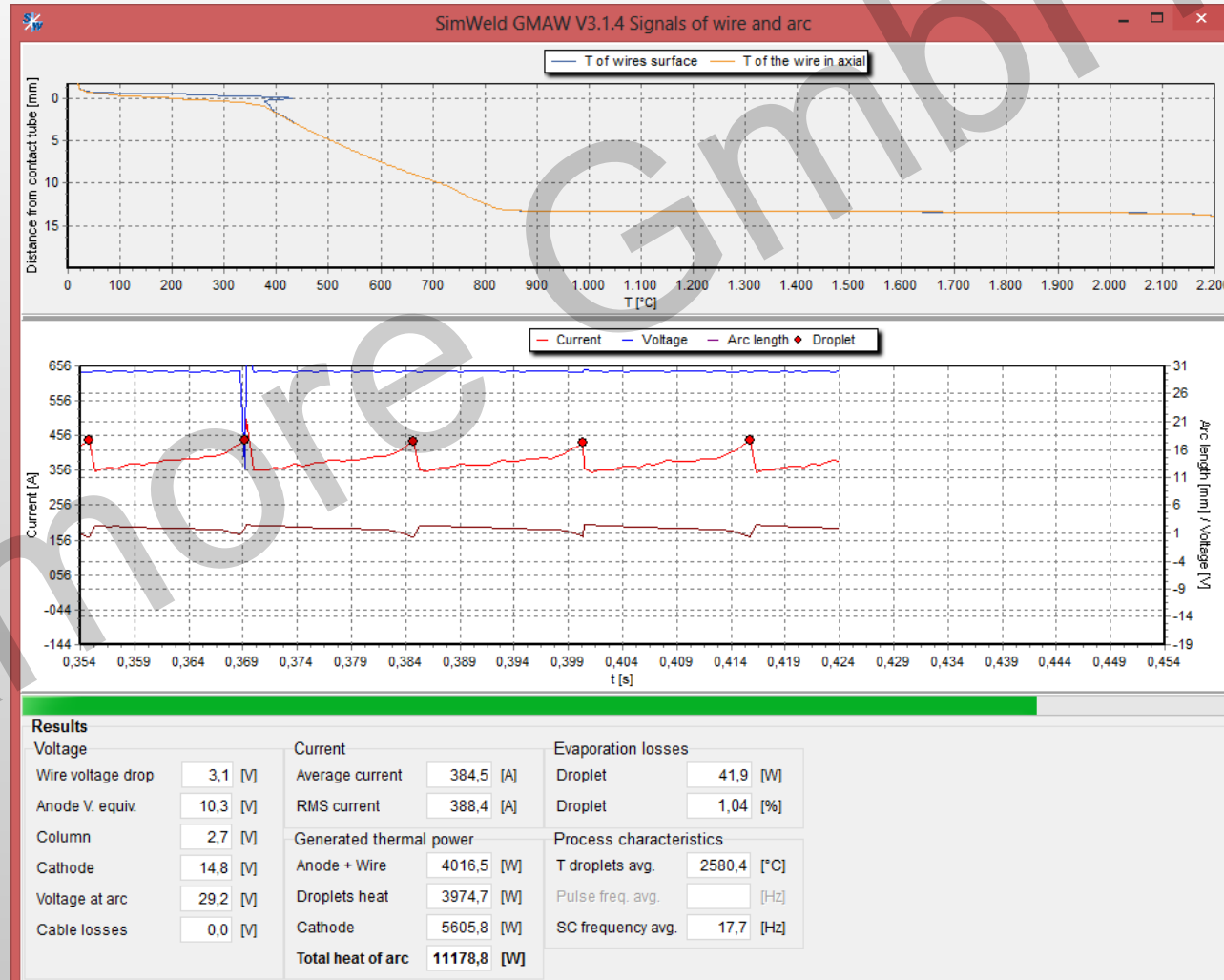
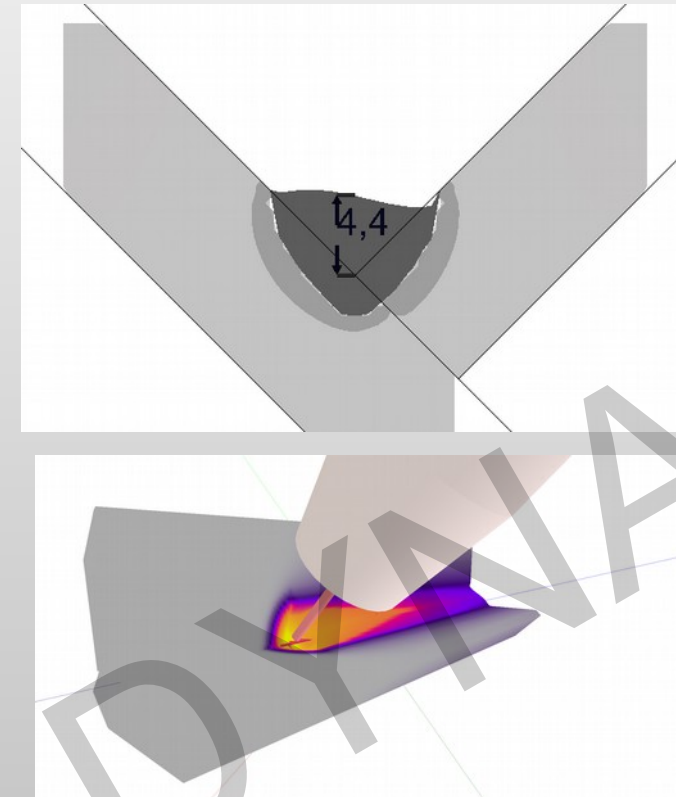
Angle
 Along: 0 [°]
 Across: 0 [°]

Equipment

Power source
 Select...: Custom
 Process type: Normal
 Wire feed: 7,0 [m/min]
 Voltage: 30,0 [V]
 Choke: 30,0 [%]

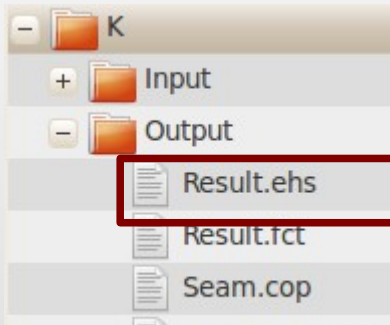
SimWeld Results

- $a = 4,4 \text{ mm}$
- $I = 390 \text{ A}$
- $V = 29,2 \text{ V}$



Equivalent Heat Source from SimWeld for the Welding Structure Analysis with LS-DYNA

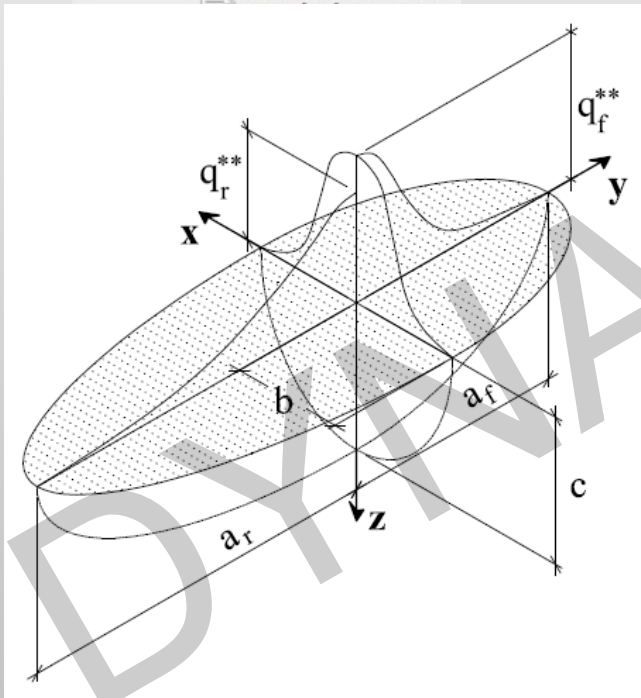
Result.ehs



```

3D double ellipsoid source
10142,58600 //Q (W)
6005,89110 //Qf (W)
4136,69530 //Qr (W)
375,36136 //q0_front (W/mm3)
7,87233 //q0_rear (W/mm3)
2,58247 //af (mm)
31,54304 //ar (mm)
4,67305 //b (mm)
6,65324 //c (mm)
3,30435 //x0 (mm)
3,30435 //z0 (mm)
45,00001 //ay (degree)
80,00000 //vy (cm/min)
    
```

q_f
 q_r



$$q_f^{**}(x, y, z) = \frac{6\sqrt{3}\Delta_f \cdot q}{a_f \cdot b \cdot c \cdot \pi \sqrt{\pi}} \cdot e^{-\frac{nx^2}{a_f^2}} \cdot e^{-\frac{ny^2}{b^2}} \cdot e^{-\frac{nz^2}{c^2}}$$

$$q_r^{**}(x, y, z) = \frac{6\sqrt{3}\Delta_r \cdot q}{a_r \cdot b \cdot c \cdot \pi \sqrt{\pi}} \cdot e^{-\frac{nx^2}{a_r^2}} \cdot e^{-\frac{ny^2}{b^2}} \cdot e^{-\frac{nz^2}{c^2}}$$

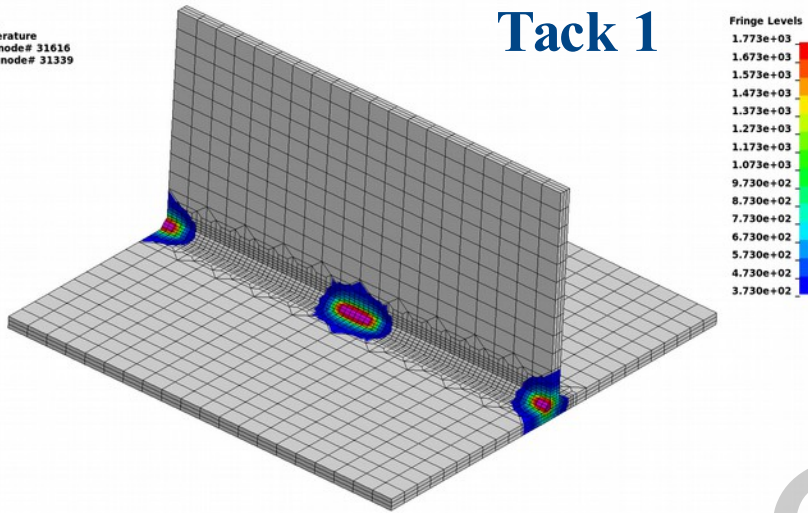
Check of heat input with LS-DYNA Logfile (tprint):

	Total Energy per Timestep		Effective Energy/Time		
Zeit in s	Heatinput in kW	Timestep in s	Heatinput in kW	Target in kW	Relativ in %
3,47	2,94	0,28	10,46	10,14	103%
7,6	2,95	0,28	10,45	10,14	103%

Temperature

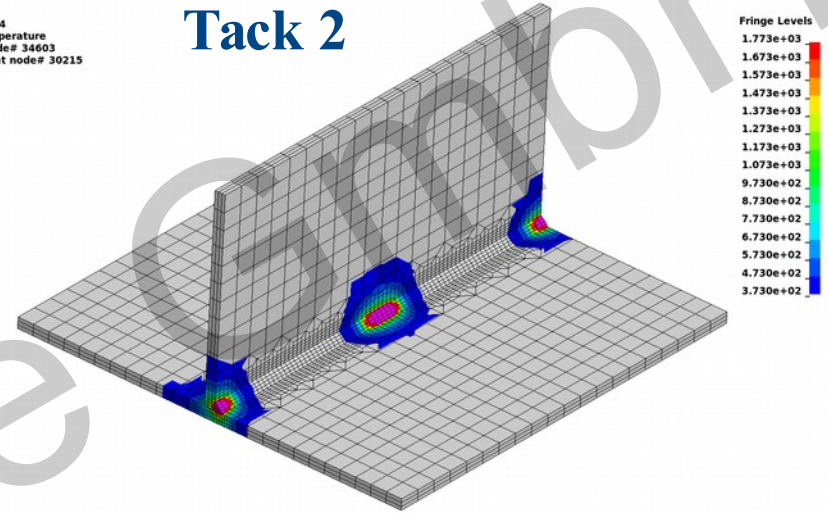
T-joint
Time = 7.1145
Contours of Temperature
min=292.704, at node# 31616
max=2772.31, at node# 31339

Tack 1



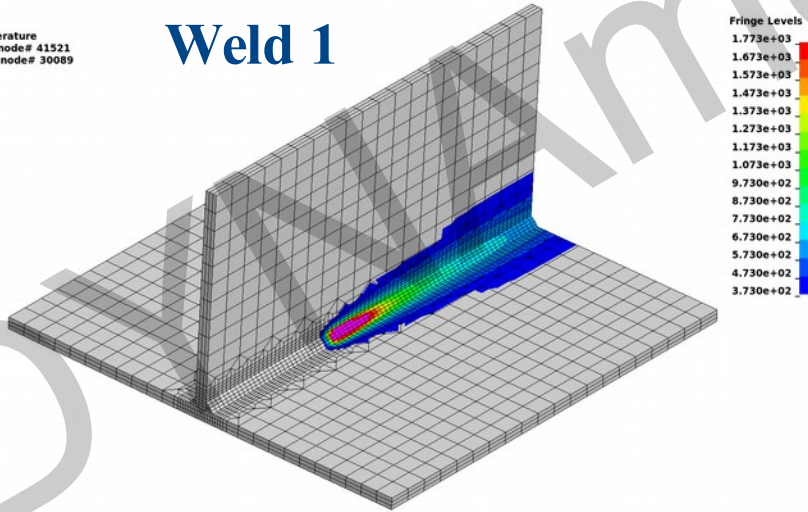
T-joint
Time = 27.114
Contours of Temperature
min=293, at node# 34603
max=3024.08, at node# 30215

Tack 2



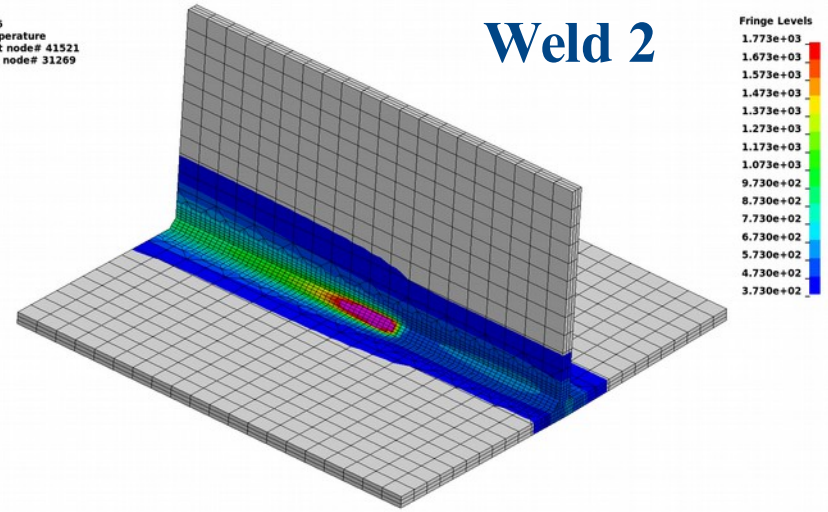
T-joint
Time = 1014.2
Contours of Temperature
min=309.221, at node# 41521
max=3706.89, at node# 30089

Weld 1



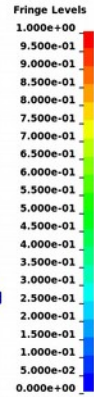
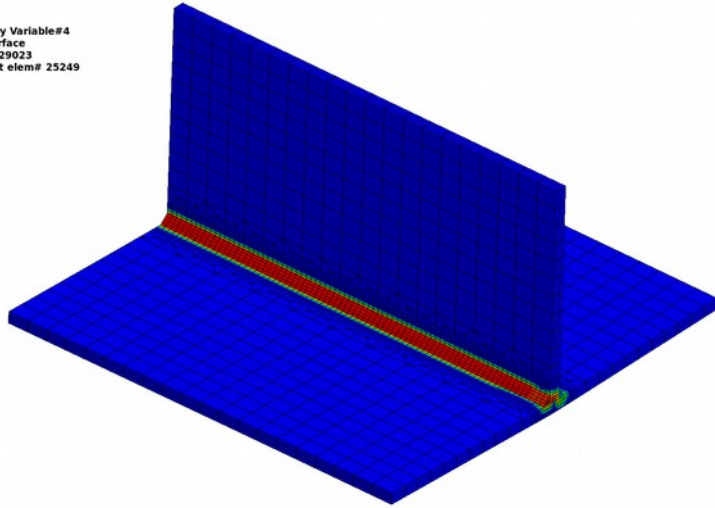
T-joint
Time = 1036
Contours of Temperature
min=309.069, at node# 41521
max=3706.2, at node# 31269

Weld 2



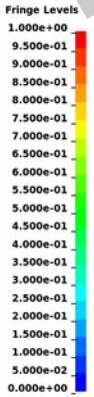
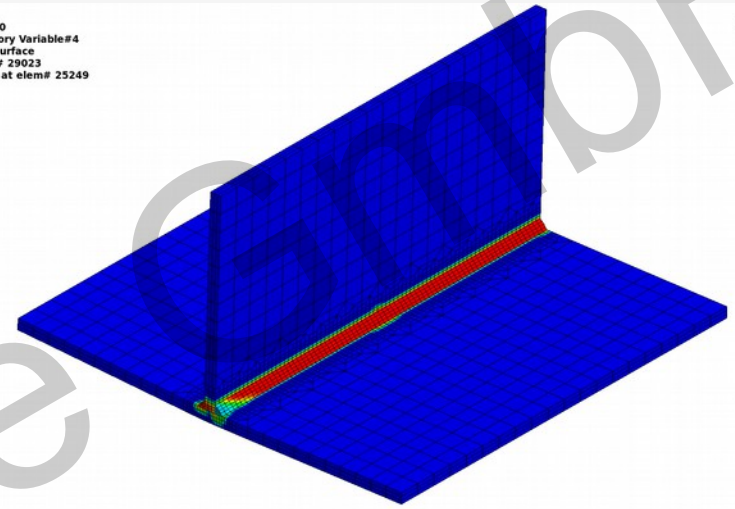
Microstructure

T-joint
 Time = 10000
 Contours of History Variable#4
 reference shell surface
 min=0, at elem# 29023
 max=0.998463, at elem# 25249

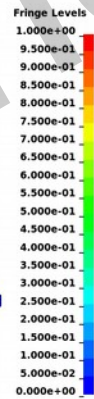
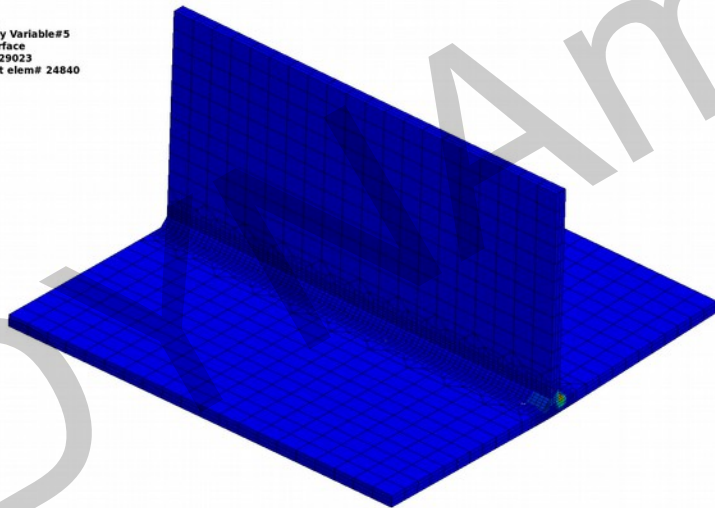


Bainit

T-joint
 Time = 10000
 Contours of History Variable#4
 reference shell surface
 min=0, at elem# 29023
 max=0.998463, at elem# 25249

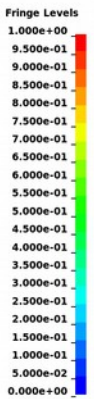
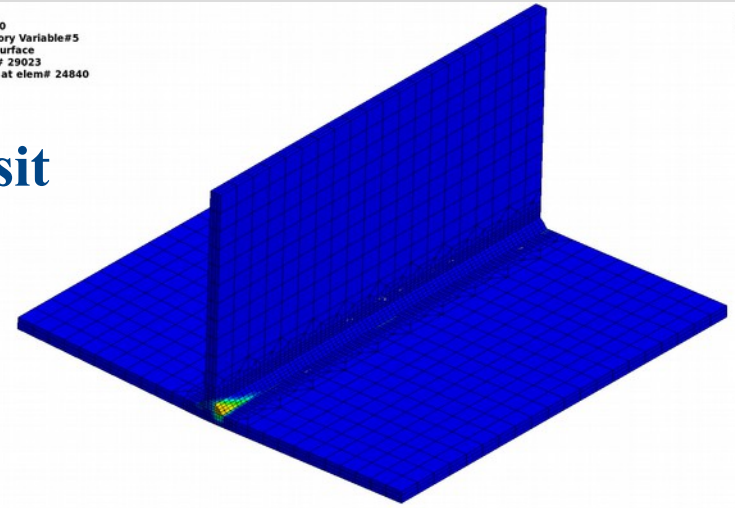


T-joint
 Time = 10000
 Contours of History Variable#5
 reference shell surface
 min=0, at elem# 29023
 max=0.798152, at elem# 24840



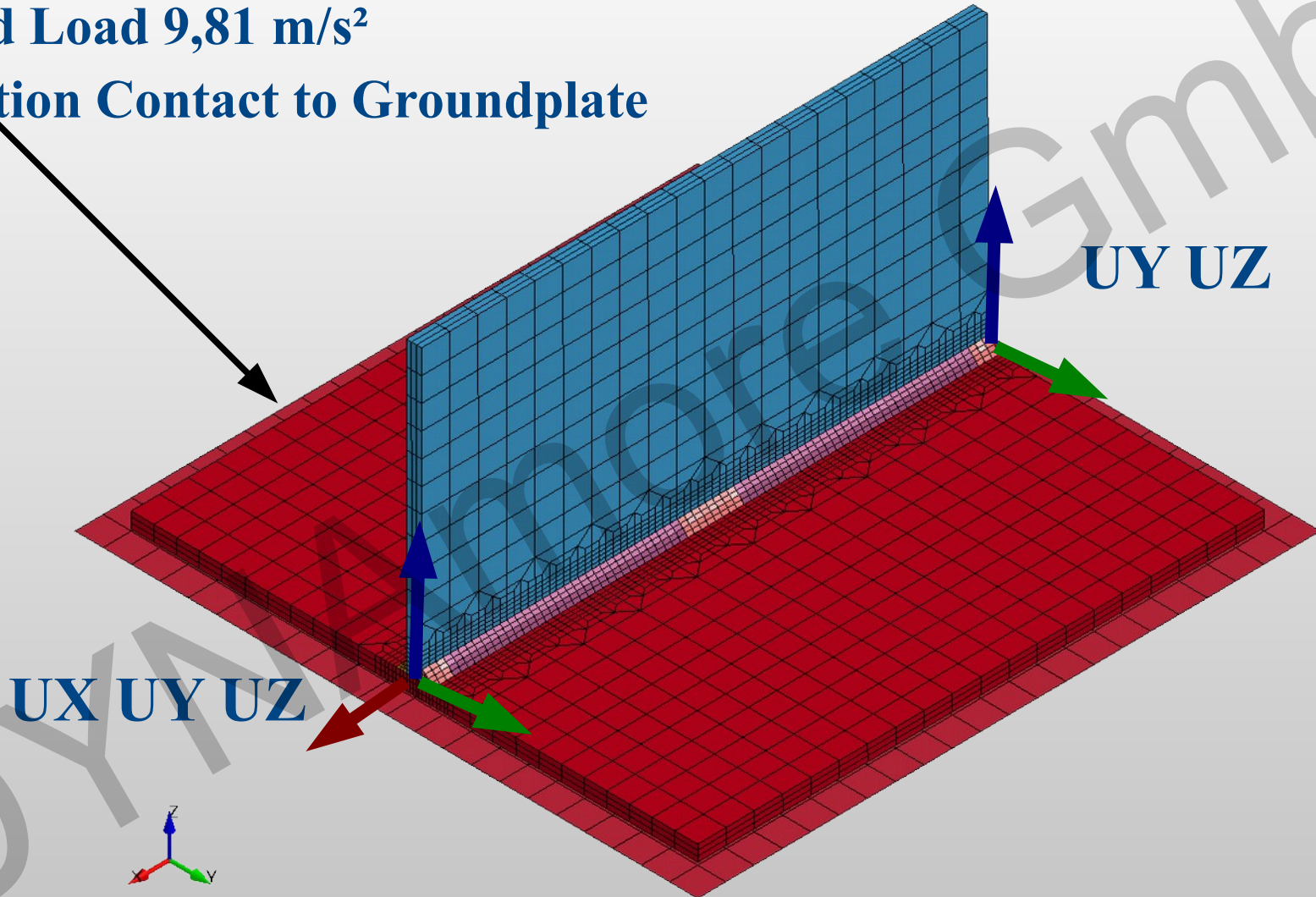
Martensit

T-joint
 Time = 10000
 Contours of History Variable#5
 reference shell surface
 min=0, at elem# 29023
 max=0.798152, at elem# 24840



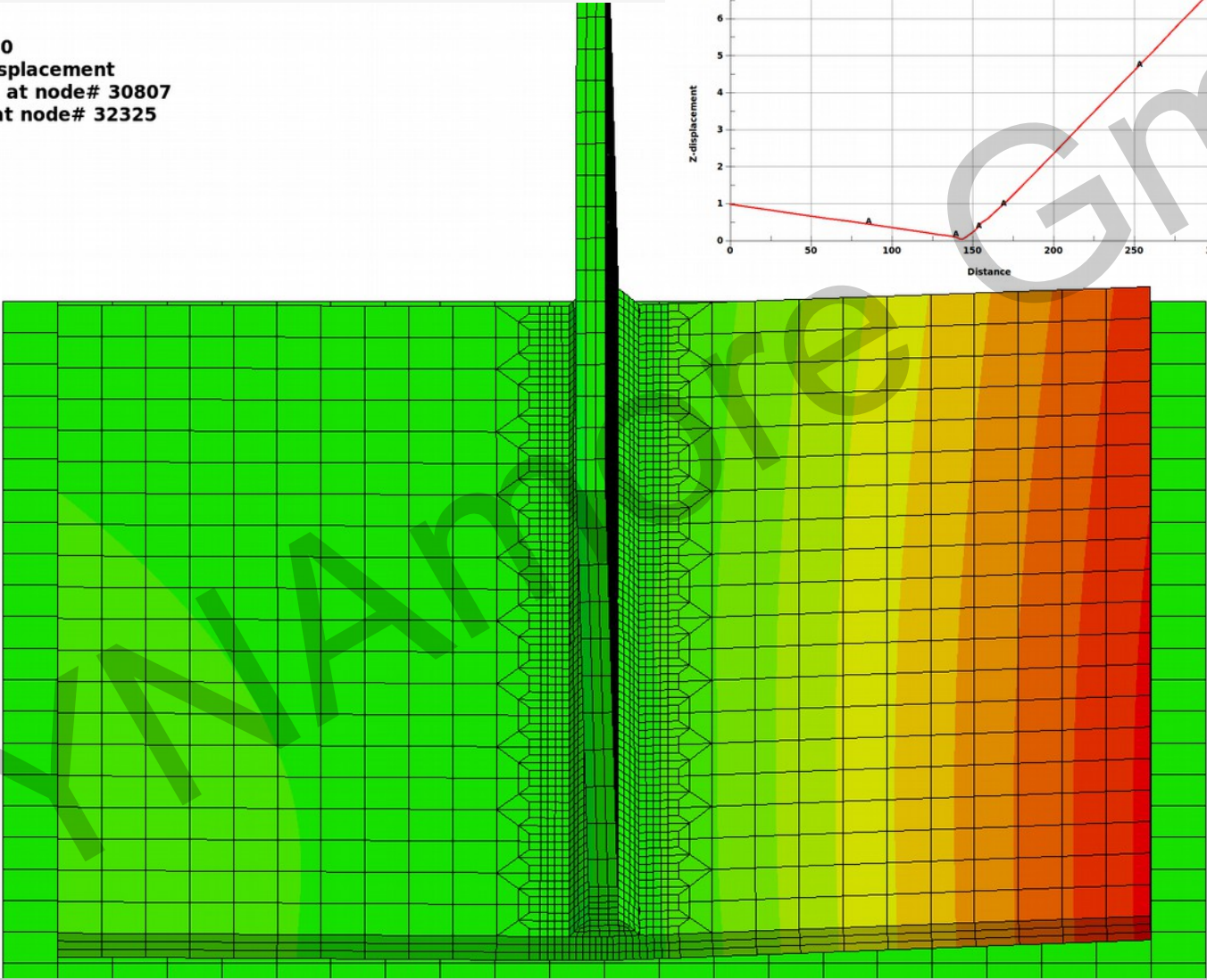
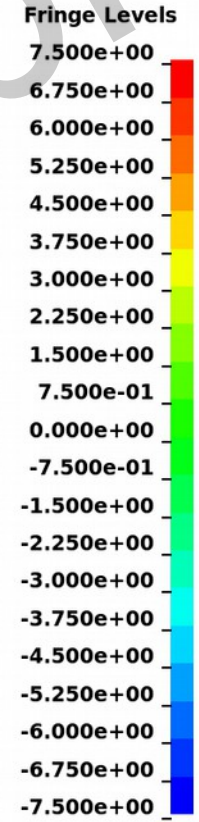
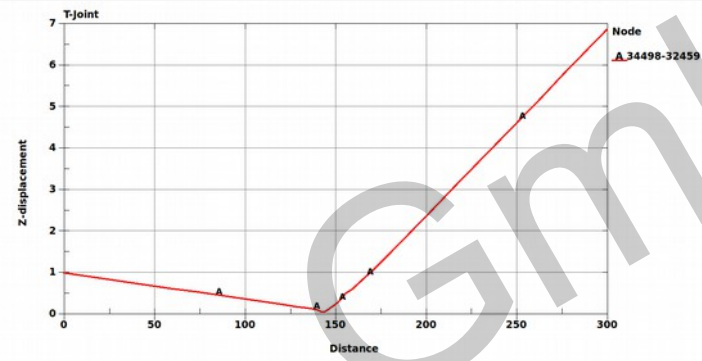
Boundary Condition

- **Dead Load $9,81 \text{ m/s}^2$**
- **Friction Contact to Groundplate**



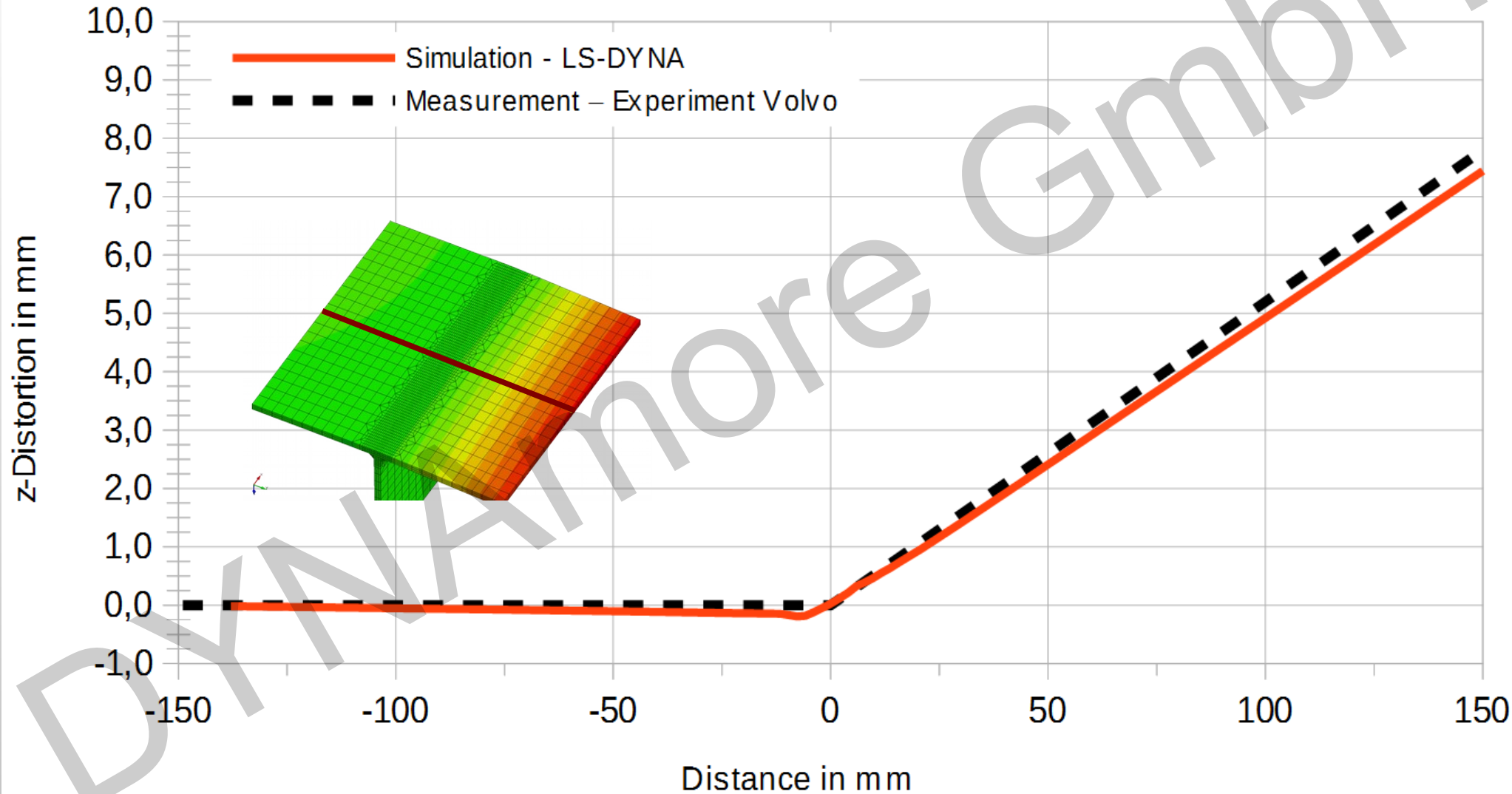
z-Distortion after Welding -7,5 .. 7,5 mm

T-joint
 Time = 10000
 Contours of Z-displacement
 min=-0.218492, at node# 30807
 max=6.97371, at node# 32325



z-Distortion along Evaluation Path

transformed to flat left side



Danke!

