Numerische Simulation von Gefügeentwicklung, Verzug und Eigenspannungen zur Verbesserung des Einsatzverhaltens geschweißter Guss-/Profil-Komponenten aus Aluminium

Forschungsvorhaben AiF 13.716 N / DVS 9.032

C. Veneziano, M. Brand, D. Siegele

Sitzung des DVS/FA 9 »Konstruktion und Berechnung«
19. Oktober 2006, SLV München

DVS FORSCHUNGSVEREINIGUNG FACHAUSSCHUSS 9 KONSTRUKTION UND BERECHNUNG
Fraunhofer IWM Institut Werkstoffmechanik
AiF Otto von Guericke

Ziele des Vorhabens

Gesamtziel

- Qualifizierung der numerischen Schweißsimulation zur Vorhersage von Verzug und Eigenspannungen bei geschweißten Al-Komponenten

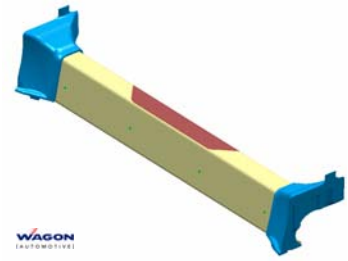
Einzelziele

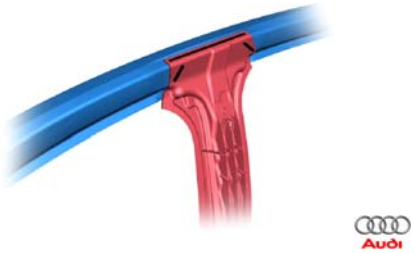
- Erfassung der werkstoff- und versuchstechnischen Randbedingungen durch metallografische Untersuchungen, Verzugsmessungen und röntgenografische Eigenspannungsmessungen
- Ermittlung von thermophysikalischen und thermomechanischen Werkstoffkennwerte
- FE-Modellierung, numerische Schweißsimulation und Abgleich von Rechnung und Versuch
- Variantenrechnungen und Sensibilitätsanalysen

DVS FORSCHUNGSVEREINIGUNG FACHAUSSCHUSS 9 KONSTRUKTION UND BERECHNUNG
Fraunhofer IWM Institut Werkstoffmechanik
AiF Otto von Guericke

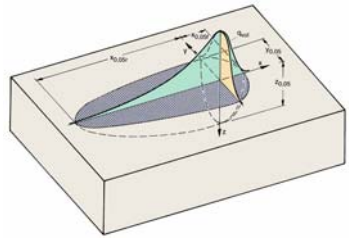
Bauteile – Schweißprozesse – Werkstoffe

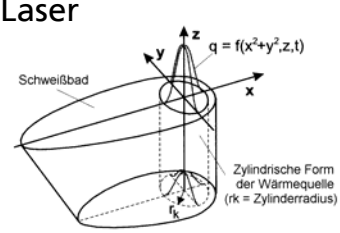
- **Bauteile:**





- **Verfahren:** MIG Laser

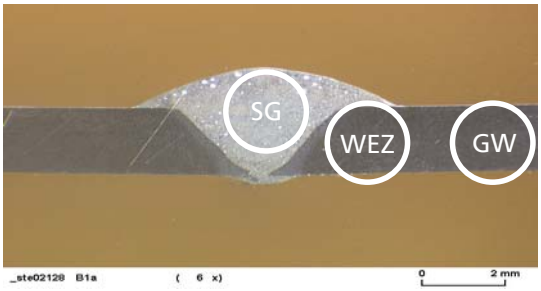


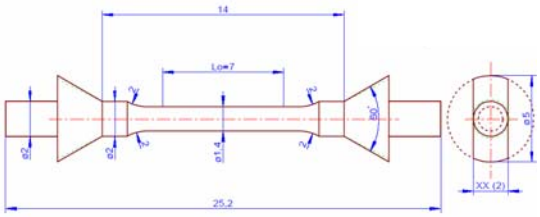


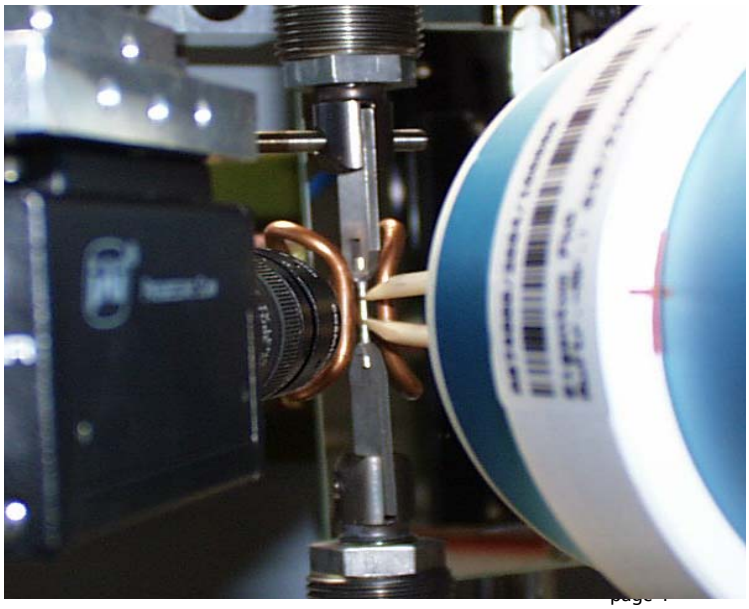
- **Werkstoffe (DIN 573-3) :** EN AW 6060 (AlMgSi0,5), EN AC 43000 (AlSi10Mg), S-AlSi12, S-AlMg5

Werkstoffeigenschaften

Probengeometrie und Versuchsaufbau

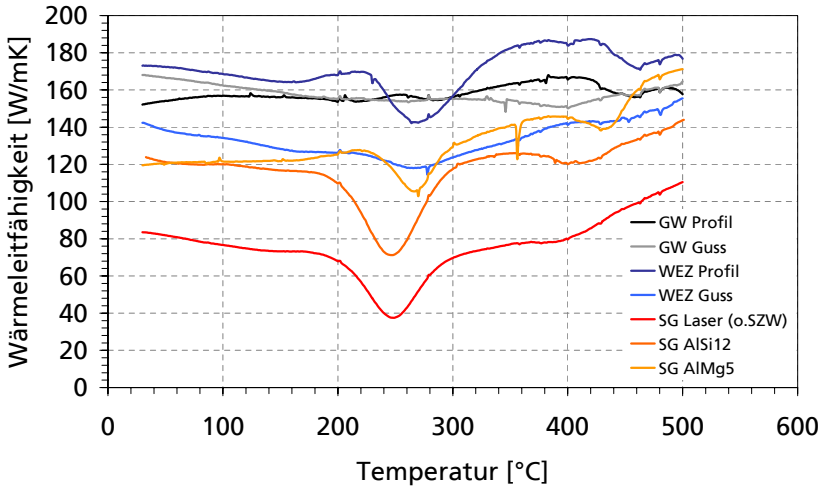


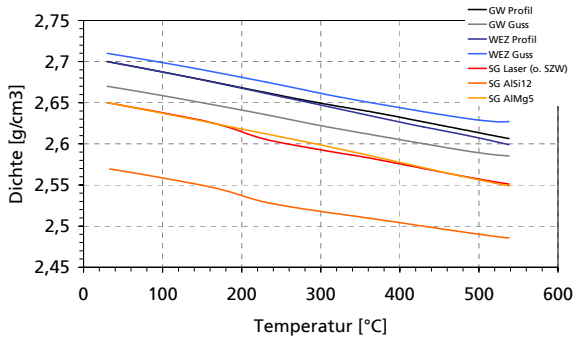


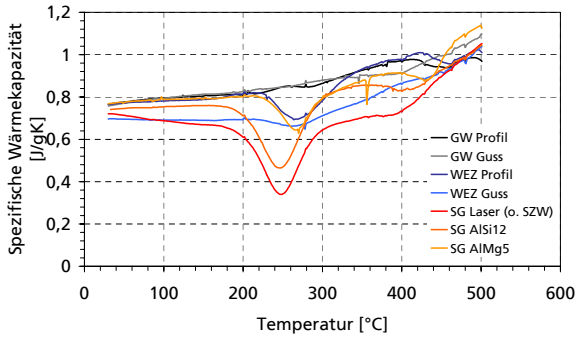


DVS FORSCHUNGSVEREINIGUNG FACHAUSSCHUSS 9 KONSTRUKTION UND BERECHNUNG
Fraunhofer IWM Institut Werkstoffmechanik
AiF Otto von Guericke

Werkstoffeigenschaften

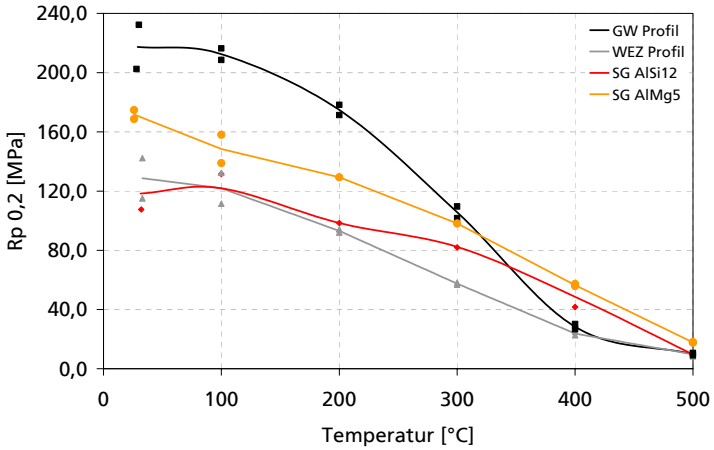




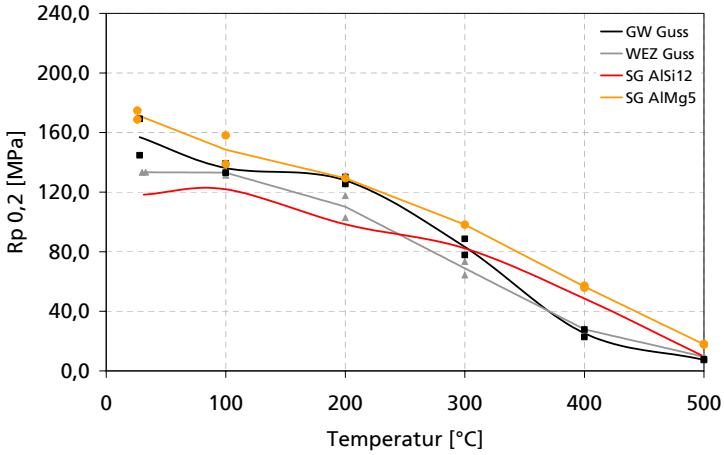


Werkstoffeigenschaften

Rp0,2-Grenze AlMgSi0,5 (AW 6060, Strangpressprofil)

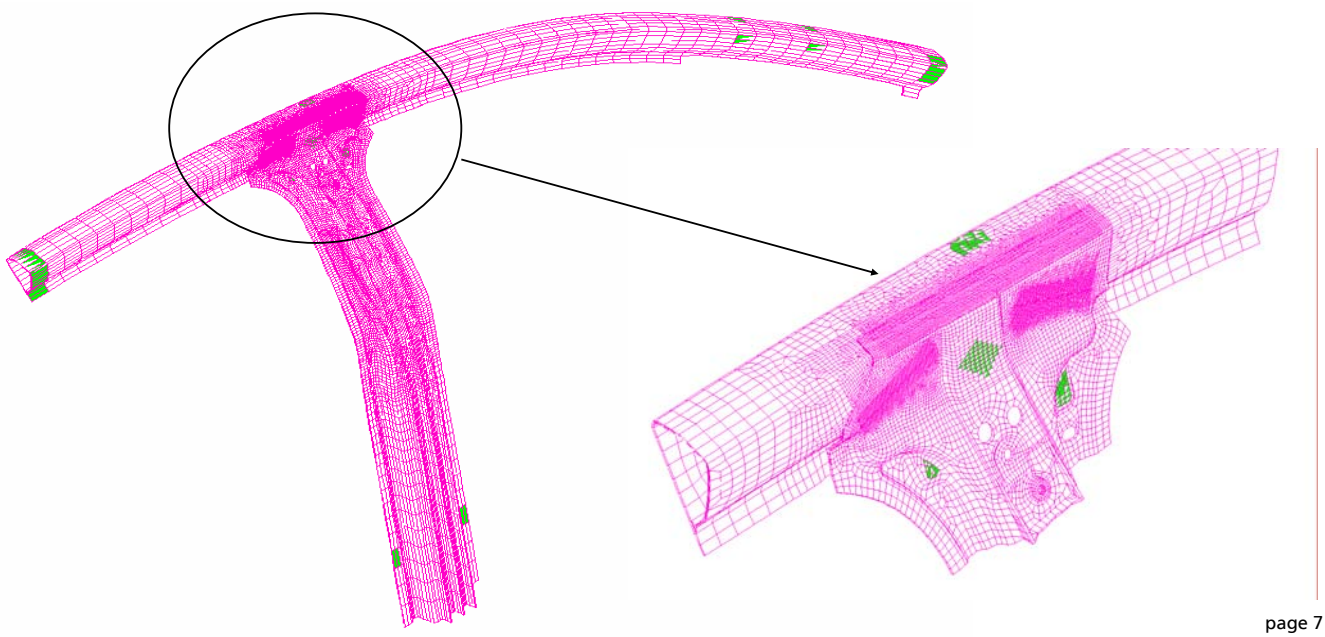


Rp0,2-Grenze AlMg10Mn (AC 43000, Druckguss)

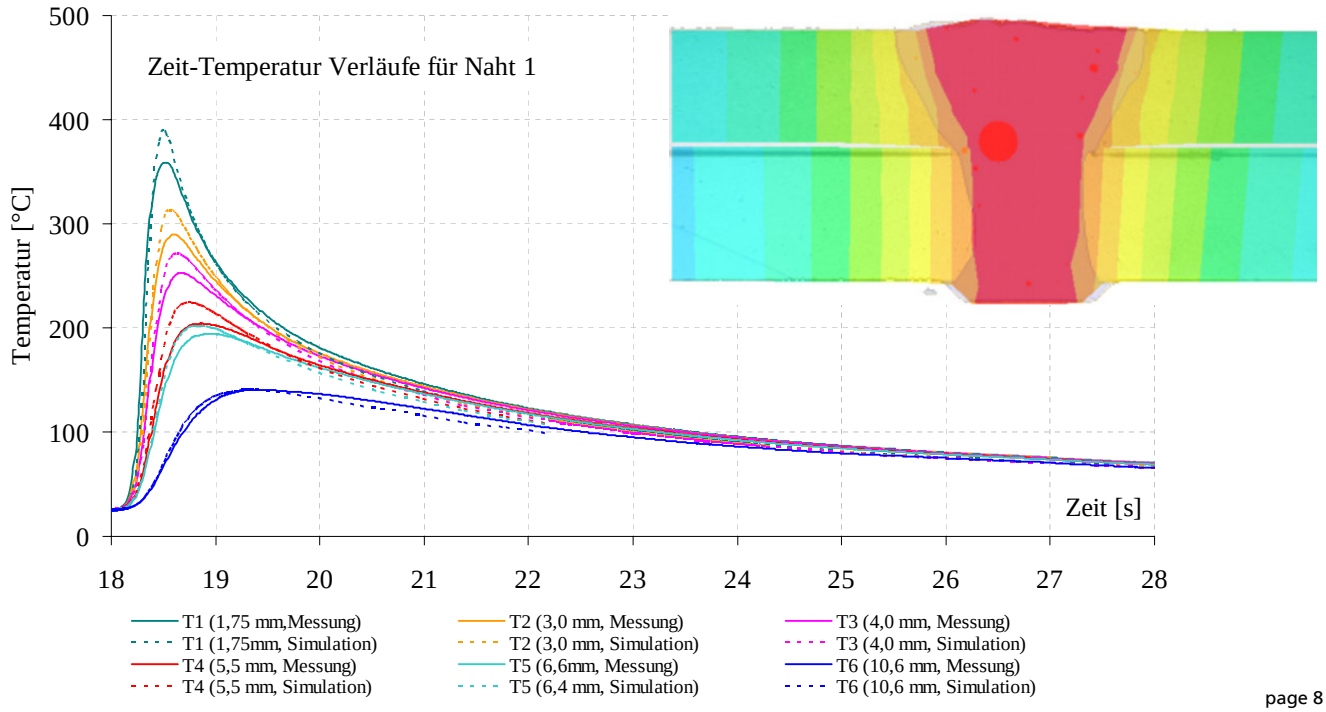


Dachträger-B-Säule

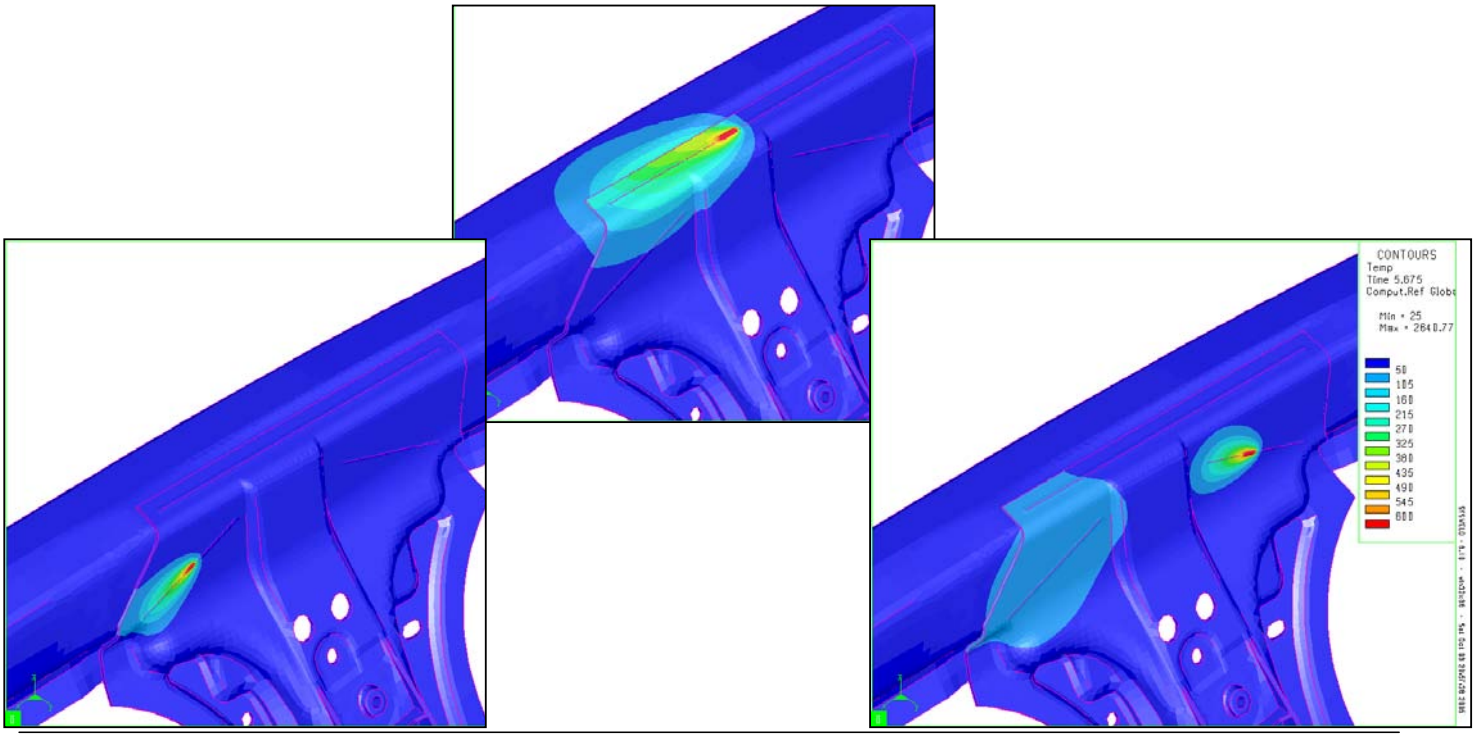
FE-Modell Laser (122563 Knoten, 158504 Elemente)



Dachträger-B-Säule, Temperaturabgleich Lasernaht 1



Dachträger-B-Säule, Temperaturfeld Laser

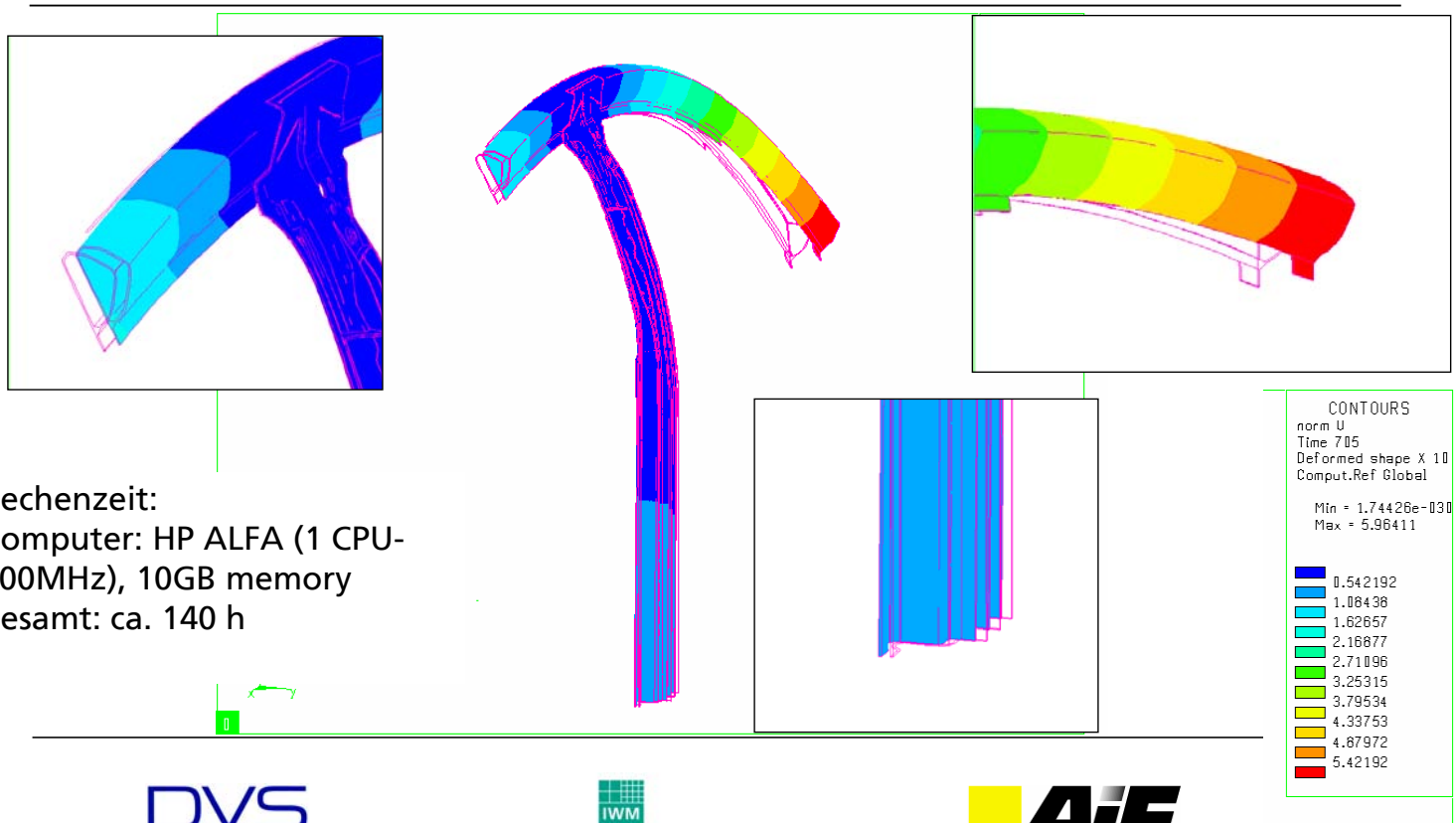


DVS FORSCHUNGSVEREINIGUNG FACHAUSSCHUSS 9 KONSTRUKTION UND BERECHNUNG

Fraunhofer Institut Werkstoffmechanik

AiF Otto von Guericke

Dachträger-B-Säule, Verzug Laserschweißung



Rechenzeit:
Computer: HP ALFA (1 CPU-800MHz), 10GB memory
gesamt: ca. 140 h

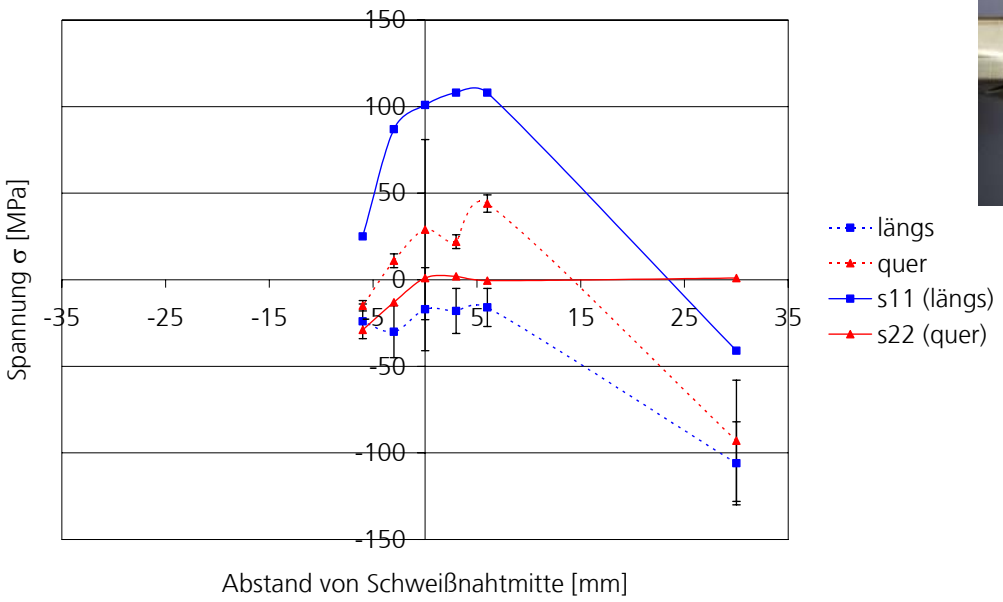
DVS FORSCHUNGSVEREINIGUNG FACHAUSSCHUSS 9 KONSTRUKTION UND BERECHNUNG

Fraunhofer Institut Werkstoffmechanik

AiF Otto von Guericke

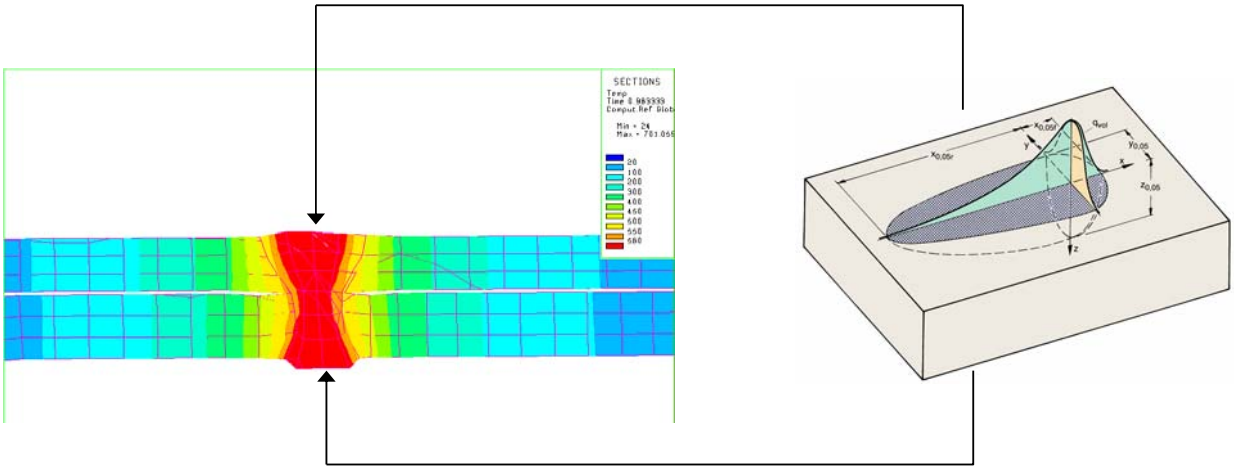
Dachträger-B-Säule, Laserschweißung

Eigenspannungen – Naht 3

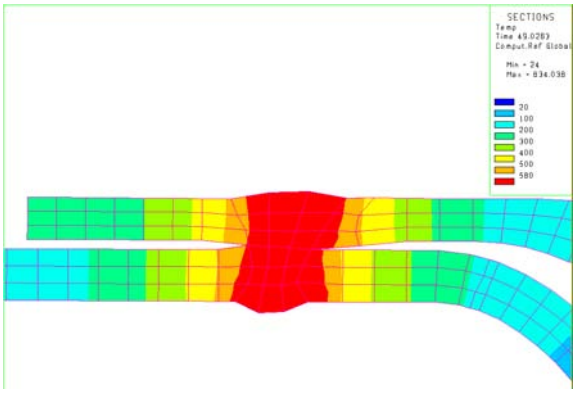


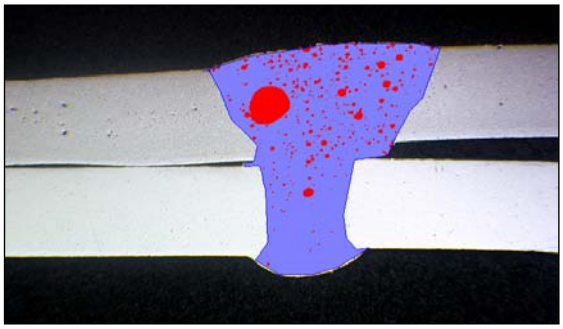
Dachträger-B-Säule, Wärmequelle Laser – Variante 2

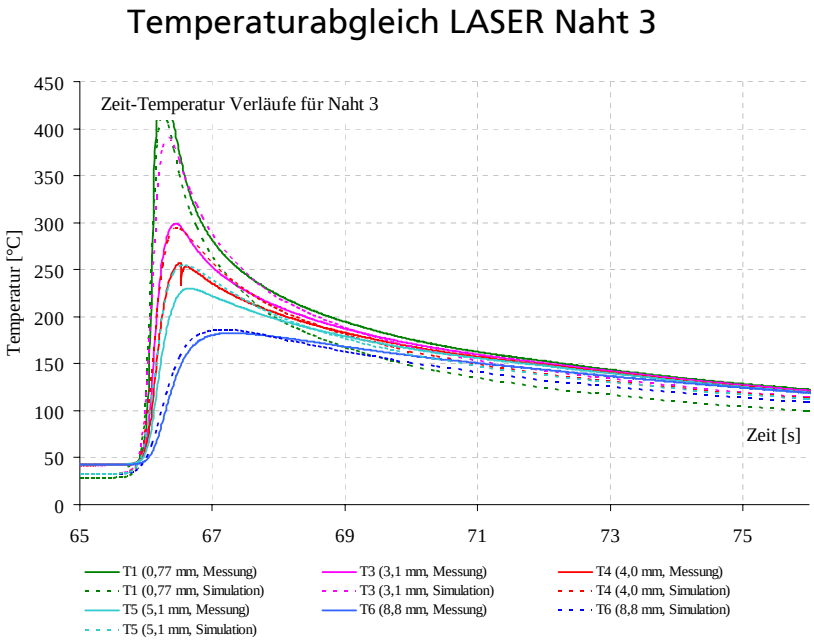
Modellierung des Wärmeeintrags mit 2 Goldak-Wärmequellen an der Ober- und Unterseite



Dachträger-B-Säule, Wärmequelle Laser – Variante 2







Dachträger-B-Säule, Schmelzisotherme Lasernaht

Vergleich der Varianten

	Ort	Verschiebung X in mm	Verschiebung Y in mm	Verschiebung Z in mm
Endverformungen bei „anisotroper“ Wärmequelle	1) linke Seite	0,16	**1,61**	1,00
	2) rechte Seite	-0,28	**6,23**	2,33
	3) unten	-0,16	-0,93	-0,07
Endverformungen bei zweifacher Wärmequelle	1) linke Seite	0,13	**1,36**	0,86
	2) rechte Seite	-0,35	**4,10**	1,99
	3) unten	-0,01	-0,79	-0,07

- Variante 1 („anisotrope“ Wärmequelle): sehr gute Übereinstimmung mit Experiment, Durchbiegungen: FE: 3,92 mm, Exp.: 3,95 mm
- Variante 2 (zweifache Wärmequelle): Abweichungen von Experiment bedingt durch Schmelzbadgeometrie der Naht 3 → Schwerpunktverlagerung zur neutralen Faser

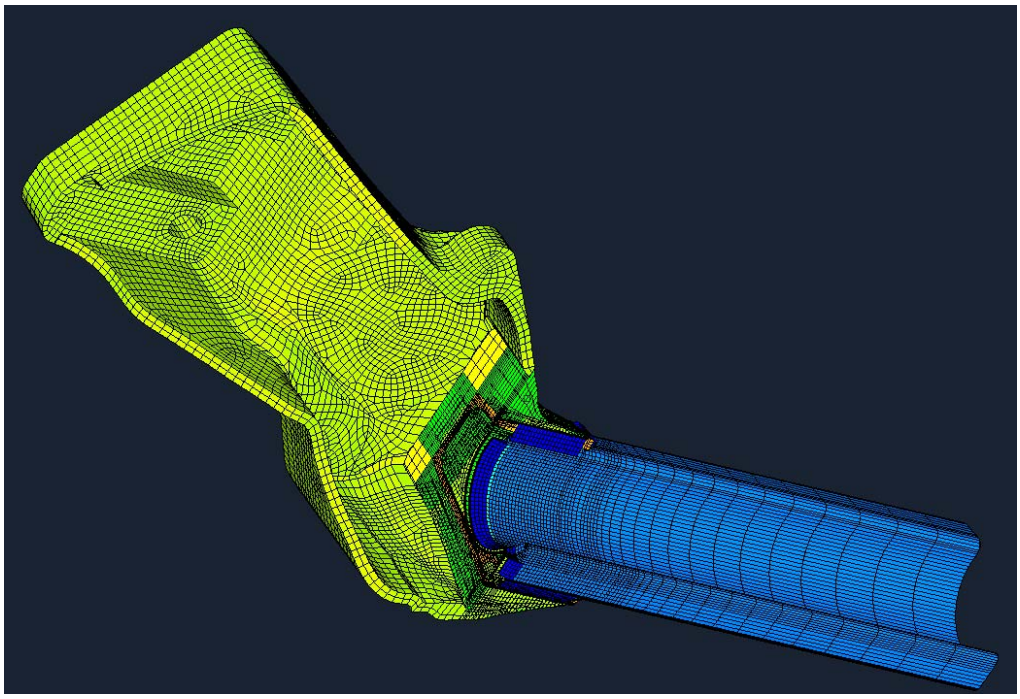
Dachträger-B-Säule, Verzug Laser - MIG

	Ort	Verschiebung X in mm	Verschiebung Y in mm	Verschiebung Z in mm
Endverformungen Laserstrahlschweißen	1) linke Seite	0,16	**1,61**	1,00
	2) rechte Seite	-0,28	**6,23**	2,33
	3) unten	-0,16	-0,93	-0,07
MIG-Schweißen	1) linke Seite	0,17	**3,09**	1,17
	2) rechte Seite	-1,05	**9,28**	5,03
	3) unten	-0,23	0,20	-0,04

- MIG-Schweißung zeigt aufgrund des höheren Wärmeeintrags etwa 1,5-fachen Verzug

Motorträger - MIG

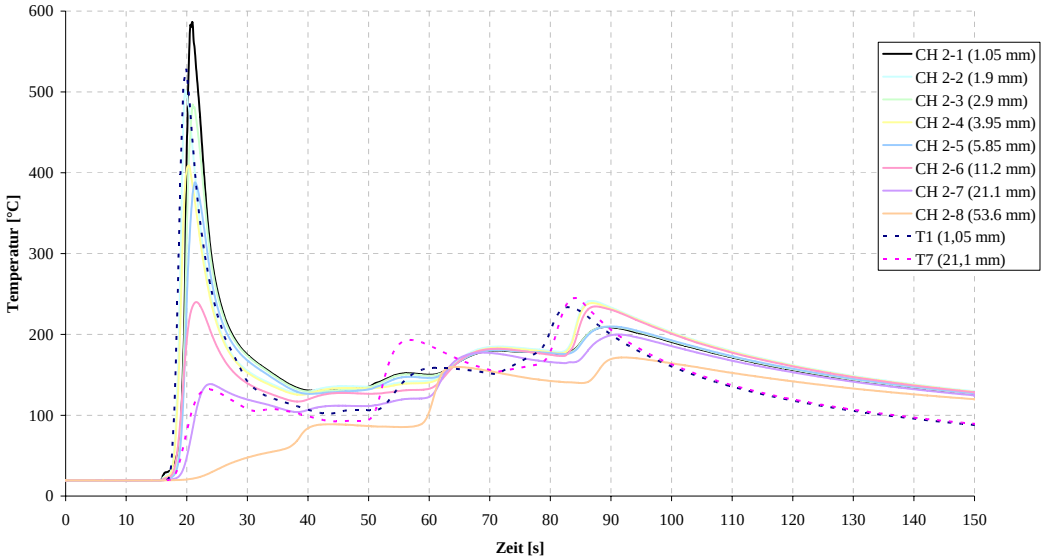
FE-Modell (Ausschnitt)



DVS FORSCHUNGSVEREINIGUNG FACHAUSSCHUSS 9 KONSTRUKTION UND BERECHNUNG
Fraunhofer IWM Institut Werkstoffmechanik
AiF Otto von Guericke

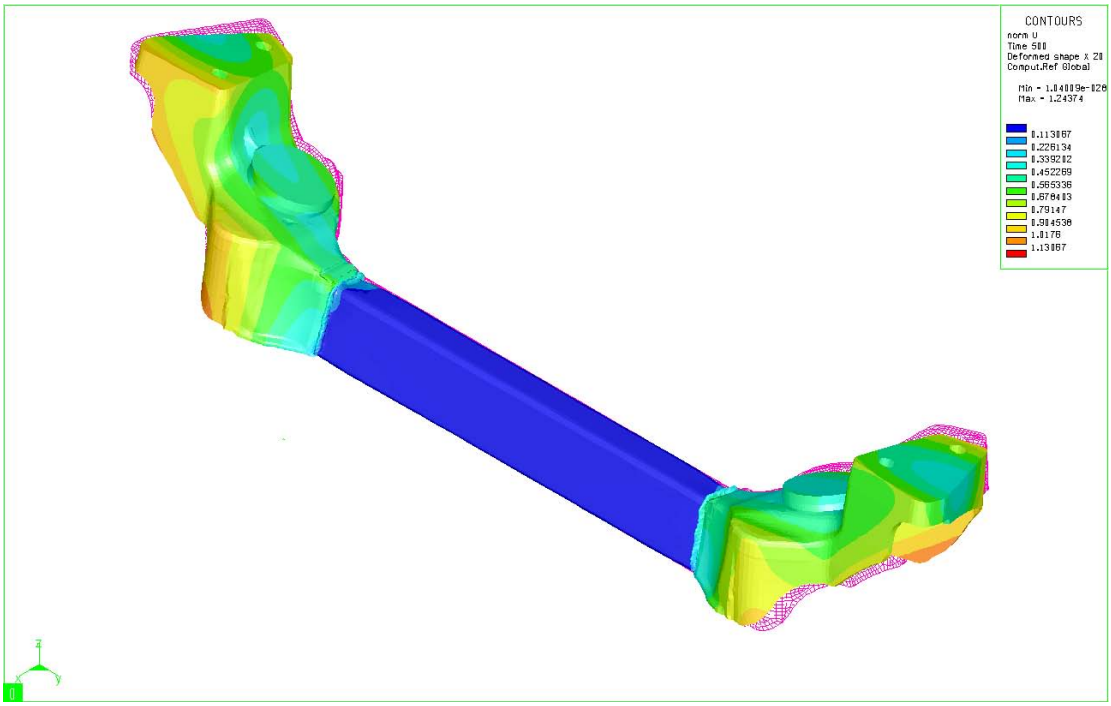
Motorträger - MIG

Temperaturabgleich



Motorträger - MIG

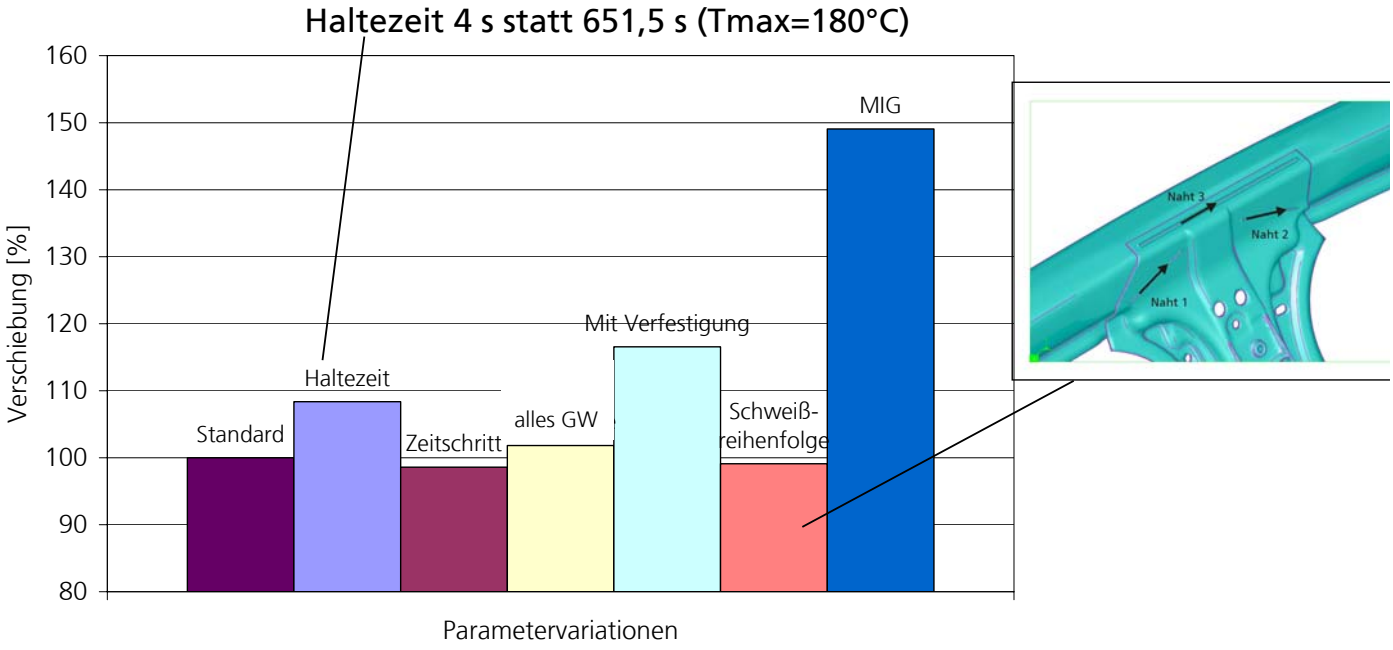
Verzugs-ergebnis



Parametervariationen

- Materialeigenschaften (Verfestigung)
- Ohne zonenspezifische Eigenschaften (alles GW)
- Zeitschrittoptimierung
- Schweißfolge
- Einspannbedigungen

Parametervariationen



Zusammenfassung (1)

- Numerische Analysen des Schweißprozesses qualifiziert durch Vergleich mit experimentellen Daten wie Schweißnahtgeometrie, Temperaturfeld und Verzug
- Abgleich von Schmelzbadgeometrie und Temperaturfeld bestimmt maßgeblich das Simulationsergebnis
- Gute Übereinstimmung mit Verzugsergebnissen für die Laserschweißung
- MIG-Schweißung zeigt ca. 1,5-fachen Verzug
- Berechnete Eigenspannungen zeigen Abweichungen zu Messergebnissen (Mögliche Ursache: Eigenspannungsbehafteter Ausgangszustand)
- Rechenzeiten noch sehr hoch (ca. 1 Woche bei Laser und 2 Tage bei MIG-Schweißung)

Zusammenfassung (2)

Parametervariationen zeigen

- Großen Einfluss der Qualität von Temperatur- und Schmelzbadabgleich
- Moderaten Einfluss der Werkstoffverfestigung
- Moderaten Einfluss der Haltezeit vor dem Lösen der Spannvorrichtung
- Geringere Einflüsse von Metallurgie (WEZ) und Schweißreihenfolge für die speziellen Variationsbeispiele
- Potenzial der Einsparung von Rechenzeit durch Zeitschrittoptimierung

Stellungnahme des Projekt begleitenden Ausschusses

Für ausgewählte Serienbauteile wurden numerische Schweißsimulationen durchgeführt und an experimentellen Ergebnissen verifiziert.

Die Untersuchungen zeigen, dass mit Hilfe der numerischen Schweißsimulation Trendaussagen zu Verzug und Eigenspannungen möglich sind und bei iterativer Anpassung des Temperaturfelds an Messergebnisse auch eine gute Quantifizierung des Verzugs erreicht werden kann. Der große Modellierungsaufwand, die hohen Rechenzeiten und die umfangreiche Ermittlung von Werkstoffkennwerten sind aber heute noch Hinderungsgründe für den Einsatz in der industriellen Praxis.

Die Bewertung des Einsatzverhaltens der Bauteile wurde in Abstimmung mit dem Projekt begleitenden Ausschuss zurückgestellt und stattdessen Verifikationsversuche an Plattenschweißungen durchgeführt.

Das Ziel des Vorhabens, durch numerische Schweißsimulation an Serienbauteilen die Verzüge und Eigenspannungen realitätsnah zu beschreiben, wurde erreicht. Die verifizierten Anwendungsbeispiele und die ermittelten Werkstoffkennwerte für die Al-Legierungen bilden eine wichtige Basis für die Weiterentwicklung und Optimierung der Simulationstechniken.

DVS FORSCHUNGSVEREINIGUNG FACHAUSSCHUSS 9 KONSTRUKTION UND BERECHNUNG
Fraunhofer Institut Werkstoffmechanik IWM
AiF Otto von Guericke