Forschungsvorhaben:	AiF N 08383 / 08 bzw. IGF 16216 N
Thema:	Schnelle und automatisierte Temperaturfeldgenerierung für die Schweißverzugssimulation
Laufzeit	01.09.2009 – 31.08.2011

1 Forschungsziel

Das Ziel der Untersuchungen ist die Entwicklung einer schnellen und automatisierten Temperaturfeldgenerierung für die Berechnung schweißbedingter Bauteilverzüge. Dies stellt einen der Kernpunkte des im FAI2 von den Mitgliedern erarbeiteten Forschungsbedarfes in der Schweißsimulation dar. Der Vorteil der Methodik besteht in der automatisierten Bereitstellung des Temperaturfeldes binnen weniger Minuten bis Stunden. Das Verfahren soll ohne ausgewiesenes Expertenwissen des Anwenders auskommen und das hohe Fehlerpotential einer manuellen Anpassung der Modellparameter ausschließen. Seine Anwendbarkeit ist unabhängig von dem zu berechnenden Schmelzschweißverfahren (z.B. Lichtbogenschweißen, Strahlschweißen), der Blechdicke und von kommerziell verfügbarer FEM-Software. Weiterhin soll die Anwendbarkeit dieser Methodik anhand verschiedener klassifizierter Bauteilkategorien, abgeleitet aus Demonstratoren der Industrie, nachgewiesen und ihr Einfluss auf die Ergebnisse quantifiziert werden.

2 Forschungsergebnisse

Die zahlreichen gemachten Messungen zu den Lichtbogen-, Laserstrahl- und Laserstrahl-Hybrid-Schweißungen wurden vollständig ausgewertet. Anschließend wurden die Wärmequellen in den Simulationen automatisiert abgeglichen. Abbildung 1 zeigt beispielhaft die sehr gute qualitative und quantitative Übereinstimmung zwischen den Mess- und den optimierten Simulationsergebnissen.

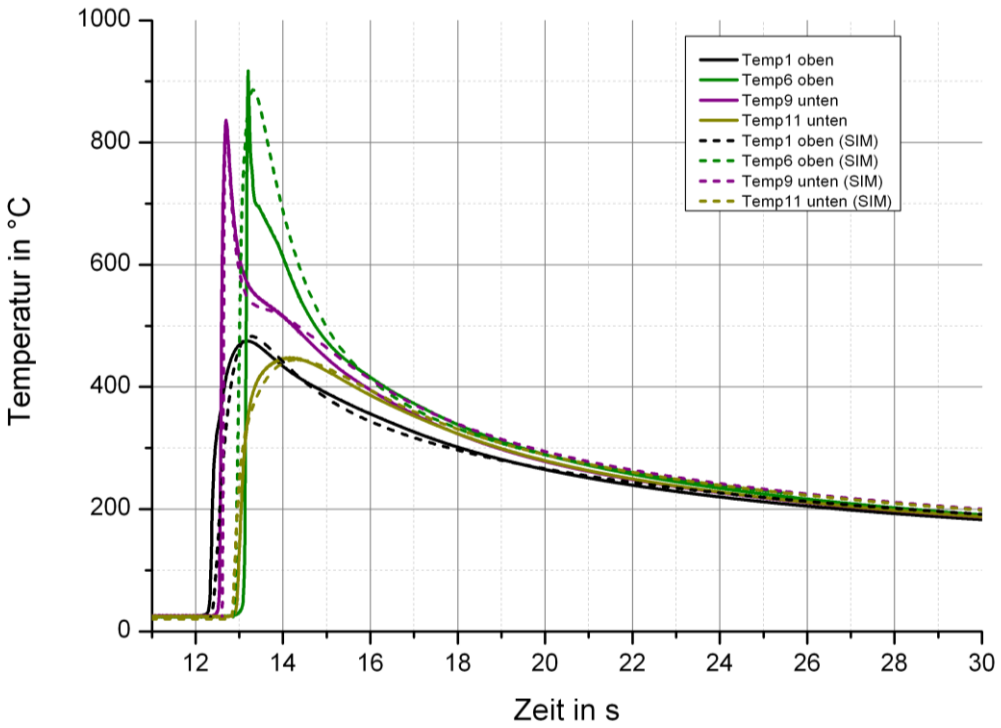

Abbildung 1: Abgleich zwischen Simulation und Messung, Laser-Hybrid-Prozess, Lichtbogen schleppend, Blechdicke 6mm, Werkstoff S355, v=3m/min, v_{Draht}=10m/min

In Abbildung 2 ist der Vergleich des Makroquerschliffs aus der Messung mit der Schmelzbadkontur aus der Simulation nach Optimierung der Wärmequellenparameter dargestellt. Auch hier zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung in den Querschnitts-Abmessungen des Schmelzbades.

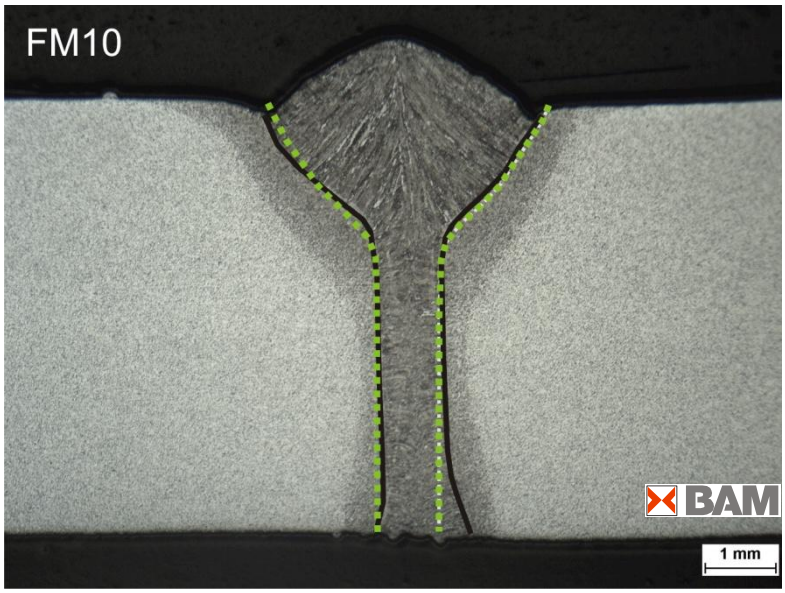

Abbildung 2: Abgleich der Querschliffs-Abmessungen, grün: Querschliff aus Simulation, Laser-Hybrid-Prozess, Lichtbogen schleppend, Blechdicke 6mm, Werkstoff S355, v=3m/min, v_{Draht}=10m/min

Die Optimierung der Parameter in der Simulation mit Hilfe des automatisierten Abgleichs erzeugt also Parametersätze, die sowohl für die Temperaturzyklen, als auch für die Querschnitts-Abmessungen gute quantitative Übereinstimmungen liefern. Die Methodik ist bislang auf den Stumpfstoß beschränkt. Der Ansatz der Erweiterung auf komplexe Geometrien mit Hilfe konformer Abbildungen hat sich nach intensiver Analyse der Thematik als nicht praktikabel herausgestellt. Der Kern des Problems liegt in der Tatsache begründet, dass für die transformierte Problemstellung keine allgemein gültige analytische Lösung existiert. Das Vorgehen ist in Abbildung 3 schematisch dargestellt. Das Wärmeleitungsproblem wird von der realen Geometrie auf die Berechnungsgeometrie abgebildet.

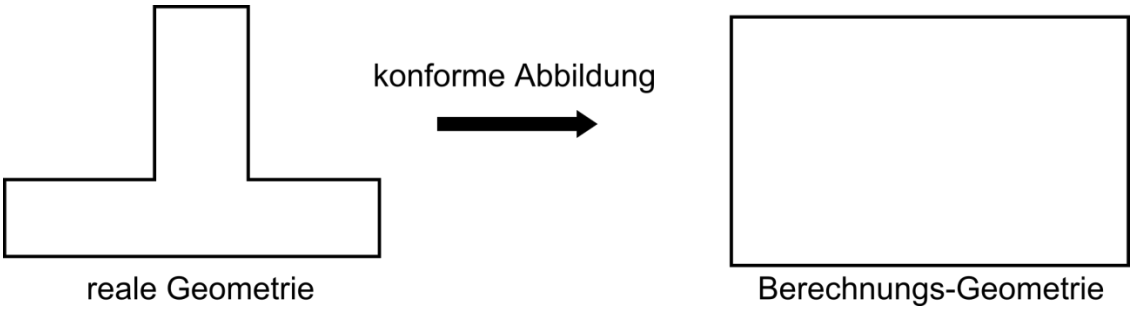

Abbildung 3: Schema für Transformation des Problems

Aus der Transformation des Wärmeleitungsproblems von der realen auf die Berechnungsgeometrie resultiert ein i.A. hochgradig nichtlinearer Term, der die Lösung mit Hilfe analytischer Verfahren in einigen Fällen erschwert und in den meisten Fällen unmöglich macht. Die transformierte Wärmeleitungsgleichung lautet wie folgt:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} + f\lambda\Delta T = q. \tag{1}$$

Darin ist f eine i.A. nichtlineare Funktion vom Ort. Die konkrete Form von f hängt von der verwendeten konformen Abbildung und damit von der realen Geometrie, von der das Problem auf die einfache Geometrie transformiert werden soll, ab.

Die Nächsten anstehenden Arbeitspunkte sind:

- Veröffentlichung zu Möglichkeiten und Grenzen der konformen Abbildungen ist eingereicht
- Erweiterung der Methodik auf Rohrgeometrien
- Suche nach alternativen Methoden für Berechnung auf komplexen Geometrien

3 Zeitplanung

Die Zeitplanung ist in Tabelle 1 dargestellt. Durchgeführte PBA-Sitzungen sind grün, die weiteren geplanten PBA-Sitzungen sind grau markiert. Die Entwicklung der automatisierten Methode und die Durchführung der Grundlagen-Experimente sind wie geplant so gut wie abgeschlossen. Die Arbeitsschritte zur Wahl von Demonstratoren und zur Modellgenerierung wurden nach Abstimmung mit den Industrievertretern bis zum Vorliegen einer alternativen Methode zu den konformen Abbildungen gestoppt, da die notwendige Berechnungsgrundlage für die komplexen Geometrien fehlt.

Arbeitsschritte	**2009**				**2010**												**2011**							
	09	**10**	**11**	**12**	**01**	**02**	**03**	**04**	**05**	**06**	**07**	**08**	**09**	**10**	**11**	**12**	**01**	**02**	**03**	**04**	**05**	**06**	**07**	**08**
experimentell																								
Analyse und Charakterisierung vorhandener Fügestellenarten	x	x	x																					
Auswahl geeigneter Demonstratoren	x	x	x																					
Schweißversuche mit Temperaturfeld-/Verzugsmessungen				x	x	x	x	x	x															
numerisch																								
Entwicklung der automatisierten Methode	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x									
Vernetzung der Bauteile und Modellgenerierung				x	x	x																		
Abgleich der Temperaturfelder (per Hand)				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x									
Abgleich der Temperaturfelder (automatisiert)										x	x	x	x	x	x									
Verzugsberechnungen										x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
Analyse der Sensitivität der Temperaturfelder																			x	x	x	x	x	x

Tabelle 1: Zeitplanung

4 Sitzung des PBA

Die ursprünglich für April 2010 geplante PBA-Sitzung wurde nach Rücksprache mit dem PBA verlegt und wird im September 2010 in Berlin auf dem Gelände der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung nachgeholt. Diese Sitzung findet in Kombination mit dem Abschluss-PBA des Vorhabens „Optimierung von Verzug und Eigenspannungen beim Schweißen dickwandiger Bauteile“ mit der Kennzeichnung IGF 15746 N statt.

Ansprechpartner ist der Projektsachbearbeiter:

Dipl.-Ing. Peter Wyrwich
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
V.5 Sicherheit gefügter Bauteile
Unter den Eichen 87
D-12205 Berlin

Tel.: 030 / 8104 4602
Fax: 030 / 8104 1557

E-Mail: peter.wyrwich@bam.de

Berlin, 03.09.2010

i. A. Dr. C. Schwenk

Ort, Datum

Projektleiter (Dr. C. Schwenk)