Bericht zum AiF-Forschungsvorhaben Nr. 15273 N/1, Oktober 2009

1 Forschungsthema

Verzugsberechnungen an einer lichtbogengeschweißten komplexen Trägerstruktur aus dem Schienenfahrzeugbau
im Paketantrag *Anwendungsnahe Schweißsimulation komplexer Strukturen*

2 Forschungsziel

Ziel der hier beschriebenen Arbeiten ist die Entwicklung bzw. Erweiterung, Anwendung und Validierung neuer und bestehender Rechenmethoden zur Verzugs- und Eigenspannungsberechnung beim Schweißen komplexer Strukturen. Hierzu werden neue Ansätze aus diesem und aus den anderen Projekten des Paketantrags sowie bestehende Methoden auf eine komplexe Trägerstruktur des Schienenfahrzeugbaus angewendet. Ein Vergleich mit den im Rahmen dieses Antrags geplanten Experimenten ermöglicht dann eine Bewertung der verschiedenen Modellierungsansätze. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf der Verzugsberechnung aufgrund ihres großen Potentials zur Optimierung von Fertigungsabläufen.

Auf Grundlage der geplanten Arbeiten kann besonders für kleine und mittelständische Unternehmen aufgezeigt werden, wie die verfügbaren Methoden der Schweißsimulation genutzt werden können, um die Fertigung neuer Produkte zeitnah und kostengünstig umzusetzen.

3 Forschungsergebnis

Wie im Antrag beschrieben wurde zum Projektbeginn eine Trägerstruktur aus dem Wagenkastenuntergestell eines Nahverkehrs-Dieseltriebwagens des Herstellers ALSTOM LHB ausgewählt. Die betrachtete Struktur ist typisch für den Schienenfahrzeugbau und in dieser oder in ähnlichen Formen in vielen Stahl-Vollbahnwagen und Straßenbahnen zu finden. Aus dieser Struktur wurde ein Profilknoten als Grundlage der Untersuchungen bestimmt. Dieser besteht aus U-Profilen mit einer Ausklinkung aus dem Werkstoff S355J2G3 mit einer Blechdicke von 4 mm. Weiterhin wird ein Rahmen aus vier der Profilknoten als komplexe Struktur untersucht. Die ausgewählten Schweißnähte sind, wie im Antrag bereits vorgesehen, ausschließlich in nicht umgeformten Bereichen angeordnet.

Die Versuche zum Arbeitsschritt 3 des Projektplanes, das Fügen eines Knotens mittels einer Naht ohne äußere Verformungsbehinderung sind abgeschlossen.

Die weiteren Arbeitsschritte sehen das Fügen eines Knotens mit einer Naht und fester Einspannung vor. Als weitere Schritte folgen das Fügen mit einer zusätzlichen Gegenlage und zwei weiteren eingebrachten Kehlnähten. Die für den Abgleich der Wärmequelle in der Berechnung notwendigen Experimente wurden durchgeführt. Es wurden Temperaturkurven nahe der Schweißnähte aufgenommen und die transienten, sowie die Endverzüge gemessen.

Für die FE-Berechnungen wurde ein entsprechendes FE-Modell realisiert, Abbildung 1. Zu erkennen ist die erste Naht auf deren Rückseite die zweite Naht als Gegenlage liegt. Weiterhin ist die eingebrachte Kehlnaht zu sehen, die zweite Kehlnaht liegt im Inneren des Profilknotens der ersten Kehlnaht gegenüber. Mit Hilfe der gemessenen Temperaturverläufe und erstellten Querschliffe der Nähte wurde in den FE-Berechnungen die Ersatzwärmequelle abgeglichen. Das Temperaturfeld der Schweißung wurde berechnet. Anhand der auftretenden Wärmedehnungen wurden die Verzüge während des Schweißens, sowie die Endverzüge berechnet.

Die in den Berechnungen verwendeten Methoden zur Darstellung der Einspannung wurden variiert, um die Wirkung darzustellen und den Verzug zu berechnen. Hierzu wurde die Anzahl und Lage von festgesetzten Knoten verändert.

Abbildung 2 zeigt die gemessenen Verzüge der ersten und zweiten Naht in eingespanntem Zustand aus drei Schweißversuchen. Die Messposition für den Verzug liegt in der Mitte des Profilknotens in senkrechter Richtung zum, durch den Profilknoten dargestellten, Kreuz.

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in den Kurven B3 bis B7 zu erkennen. B3, B4 und B5 zeigen die Variation der festgesetzten Knoten für die Einspannung. Die Variation der Anzahl, sowie der Richtung, in die keine Verschiebung der Knoten zugelassen wurde, zeigt nur einen geringen Einfluss auf die Ergebnisse der auftretenden berechneten Verzüge.

Zusätzlich wurden Sensibilitätsuntersuchungen von Werkstoffkennwerten durchgeführt. Eine Erhöhung der mechanischen Werkstoffkennwerte um 40% und die Auswirkung auf den berechneten Verzug gibt Abbildung 2, Kurve B7 wieder. Auch hier ist kein signifikanter Einfluss zu erkennen.

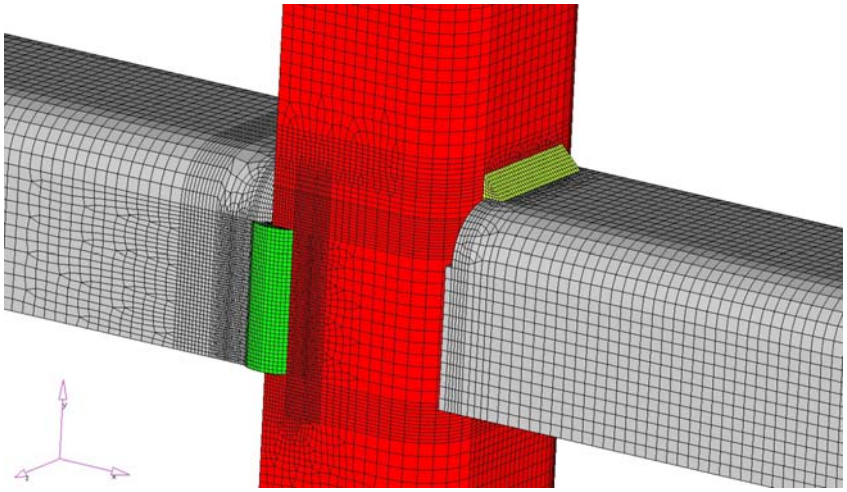

Abbildung 1: FE-Modell mit vier Nähten (ein Stumpfstoß mit Gegenlage, zwei Kehlnähte)

Alle Daten wurden als Referenzmodell den Projektpartnern im Paketantrag zur Verfügung gestellt.

Über die Darstellung der Einspannsituation fand ein Austausch mit dem iwb statt. In dem Projekt des iwb werden die Steifigkeiten der Spanner und die Umsetzung in der Berechnung untersucht.

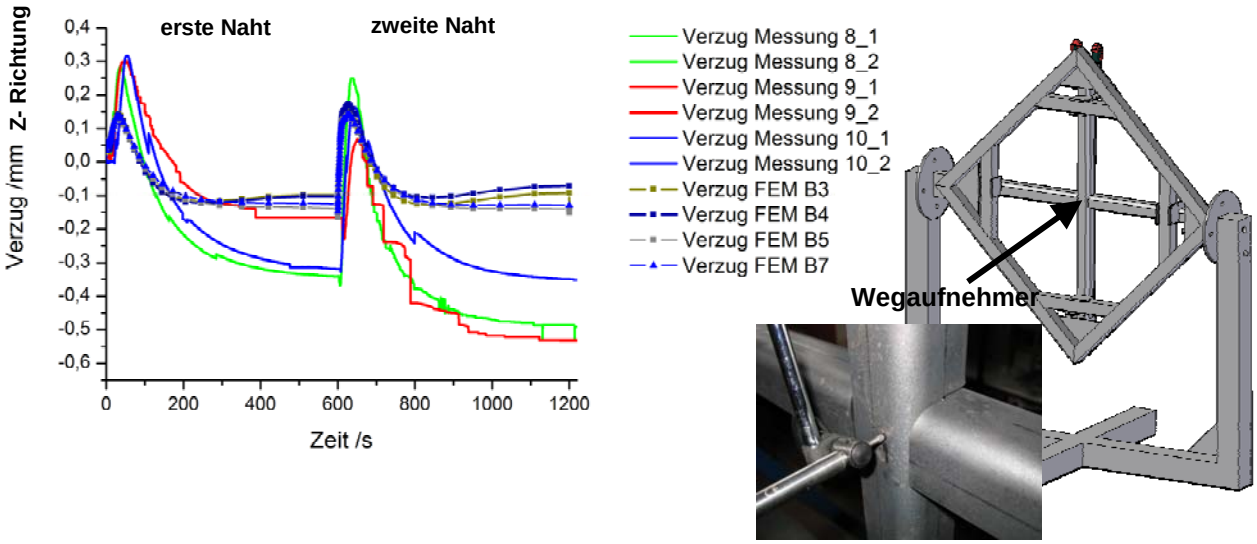

Abbildung 2: gemessene und berechnete Verzüge, Position des Wegaufnehmers

4 Weiteres Vorgehen

Auf der Grundlage der vorangegangenen Arbeitsschritte wird nun die Komplexität des Bauteils weiter erhöht. Aus den bereits untersuchten Profilknoten wird ein Rahmen mit vier Knoten aufgebaut. Die entsprechende Spannvorrichtung zur Durchführung der Schweißversuche wird konstruiert und gefertigt, so dass der Rahmen auf dem Drehgestell automatisiert geschweißt werden kann.

An dem Rahmen werden mit den vorher bei den einzelnen Profilknoten verwendeten Parametern Schweißnähte ausgeführt. An den fertig geschweißten Rahmen werden die Endverzüge gemessen.

Mit Hilfe eines erstellten FE-Modells werden die Verzüge unter zu Hilfenahme der Local-Global-Methode und der Superelement-Methode berechnet und mit den gemessenen Werten verglichen.

5 Forschungsstelle und Forschungsstellenleiter

ifs - Institut für Füge- und Schweißtechnik
TU Braunschweig
Langer Kamp 8
D-38106 Braunschweig
Tel.: 0531/391-7820, Fax: 0531/391-5834

Leiter der Forschungsstelle: Prof. Dr.-Ing. K. Dilger

Projektleiter: Dipl.-Ing. Martin Vogt
Dipl.-Ing. Markus Urner