

---

<b>IGF-Vorhaben</b>	<b>17883</b>
<b>Laufzeit</b>	<b>01.01.2014 – 30.06.2017</b>
<b>Titel</b>	<b>Versagensverhalten von Mischschweißverbindungen unter crashartiger, mehrachsiger Beanspruchung am Beispiel von EMPT-Blechscheidungen</b>

---

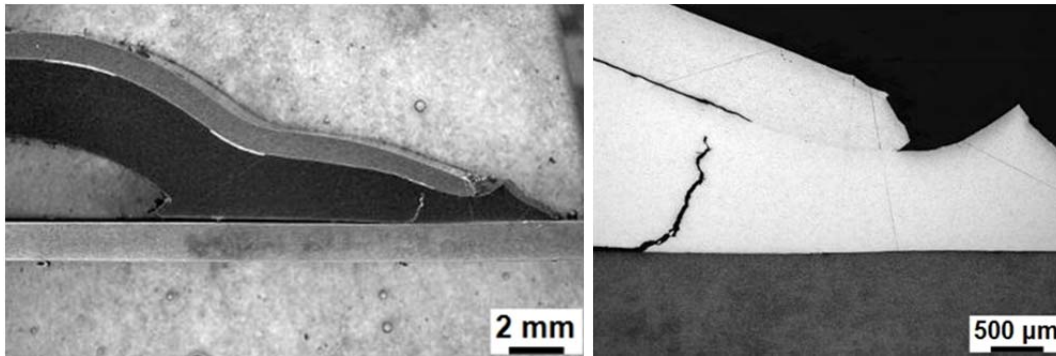
### **Motivation**

Die anhaltende Suche der Automobilindustrie an kostengünstigen Leichtbaulösungen führt häufig zu der Notwendigkeit, Stahl- und Aluminiumlegierungen zu verbinden. Mit der elektromagnetischen Puls-Technologie (EMPT) steht ein Fügeverfahren zur Verfügung, das insbesondere in Bezug auf die Fügezeiten anderen Verfahren wie dem Kleben weit voraus ist. In dem durchgeführten Vorhaben konnte gezeigt werden, dass auch die Schwingfestigkeit dieser Verbindungen hohen Ansprüchen genügt. Zudem wurde ein Bewertungskonzept entwickelt, das eine zuverlässige Auslegung zyklisch beanspruchter EMPT-Verbindungen ermöglicht. Die Crashbewertung wurde von Probenuntersuchungen bis zu repräsentativen Bauteilen durchgeführt und durch Modellbildung auf Probenbasis und FEM-Simulationen begleitet. Die Simulation konnten die Bauteilversuche abbilden. Die Verbindung zeigte in den Untersuchungen großes Potential aber auch noch Forschungsbedarf an verschiedenen Punkten.

### **Forschungsergebnisse**

Mischschweißverbindungen sind im Leichtbau für künftige innovative Konstruktionen von großer Bedeutung, da durch sie Komponenten realisiert werden können, die hohe Festigkeiten und niedriges Gewicht gezielt vereinen. Ein neues innovatives Verfahren zur Erzeugung solcher Verbindungen stellt die elektromagnetische Puls-Technologie (EMPT) dar. Dabei werden die zu fügenden Bleche auf hohe Geschwindigkeiten durch ein gepulstes elektromagnetisches Feld beschleunigt und aufeinander stoffschlüssig verbunden.

In metallographischen Untersuchungen zeigt sich bei den artgleichen Aluminiumverbindungen eine gute Verbindung der gefügten Bleche in Schliffbildern. Bedingt durch die hohen Relativverschiebungen der Bleche während des Fügeprozesses bildet sich eine wellenartige Verbindungsstruktur in der Fügezone ab. Bei den Aluminium-Stahl-Verbindungen lässt sich auf den Schliffen im Verbindungsbereich hingegen keine klar definierte Fügezone erkennen, **Abbildung 1**. Trotzdem weisen diese Verbindungen eine hohe Festigkeit auf, so dass in den zyklischen Versuchen Risse nicht entlang der Fügezone sondern in den Grundwerkstoff laufen.



**Abbildung 1:** Stahl-Aluminium Verbindung nach zyklischer Schälbeanspruchung: Versagen im Aluminium

Zur Qualifizierung der Verbindungen hinsichtlich der *Schwingfestigkeit* wurden Versuche an Scherzug- und Schälzugproben durchgeführt. Hierbei stand im Mittelpunkt der Untersuchungen die Fragestellung: „Ist es möglich EMPT gefügte Verbindungen mit den bereits von klassischen Schweißverbindungen bekannten Konzepten zu bewerten und auszulegen?“

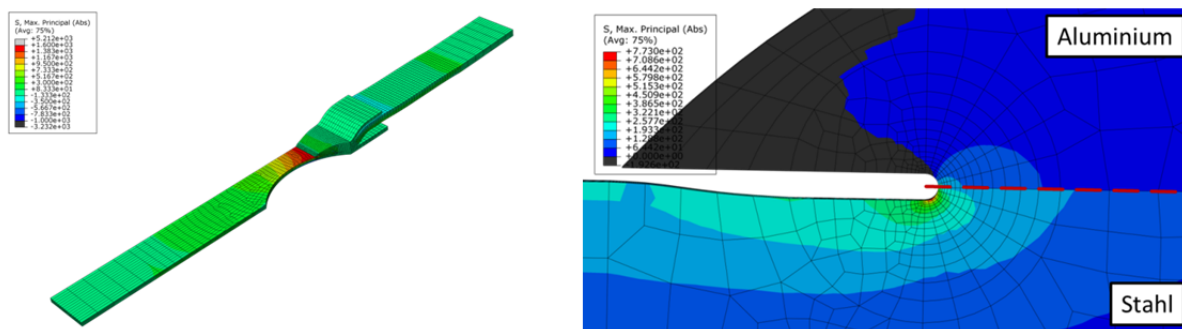
In den Schwingfestigkeitsversuchen zeigte sich, dass die eigentliche Fügezone der schwingenden Beanspruchung standhielt. Bei allen Proben initiierten die Risse bei zyklischer Beanspruchung immer an den scharfen Wurzelkerben der Überlappverbindungen. Bei den artgleichen Aluminiumverbindungen erfolgte der Rissfortschritt immer durch den Grundwerkstoff. Dieses Verhalten konnte auch bei den Aluminium-Stahl Proben unter Schäl-Beanspruchung beobachtet werden.

Bei den Aluminium-Stahl Proben unter Scher-Beanspruchung wies die Fügezone eine derart hohe Festigkeit auf, dass das Versagen im Aluminiumgrundwerkstoff initiierte, **Abbildung 2**. Nach einer Modifikation der Probenform konnte in den Versuchsreihen ein Risswachstum sowohl entlang der Fügezone als auch durch den Stahlwerkstoff beobachtet werden. Aber wie sind die Beanspruchbarkeiten einzuschätzen?



**Abbildung 2:** Prüfaufbau für die Schwingfestigkeitsversuche. Versagen der Aluminium-Stahl Proben im Grundwerkstoff

Um eine Schwingfestigkeitsbewertung vorzunehmen wurden Finite-Element Modelle der Proben aufgebaut. In den Modellen wurden die rissartigen Kerben mit ein standardisierten Referenzradius von  $r = 0,05 \text{ mm}$  modelliert, **Abbildung 3**. Eine Bewertung erfolgte mit dem Kerbspannungskonzept, das in vielen Bereichen das Standard-Verfahren zur Schwingfestigkeitsbewertung von Schweißverbindungen ist. Hierbei zeigte sich, dass die lokal ertragbaren Beanspruchungen bei allen Proben mit Versagen durch den Aluminiumwerkstoff vergleichbar zu konventionell (Laser, MIG) geschweißten Aluminiumverbindungen sind. Bei den Aluminium-Stahlproben mit Rissfortschritt durch die Fügezone bzw. den Stahl ergaben sich Beanspruchbarkeiten wie sie bei konventionell geschweißten Stahl-Stahl Verbindungen ermittelt werden.



**Abbildung 3:** Links: Halbmodell einer Stahl-Aluminium Scherzugprobe unter Symmetrienausnutzung. Rechts: Modellierung des Randes der Fügung mit einer speziellen Kerbvernetzung

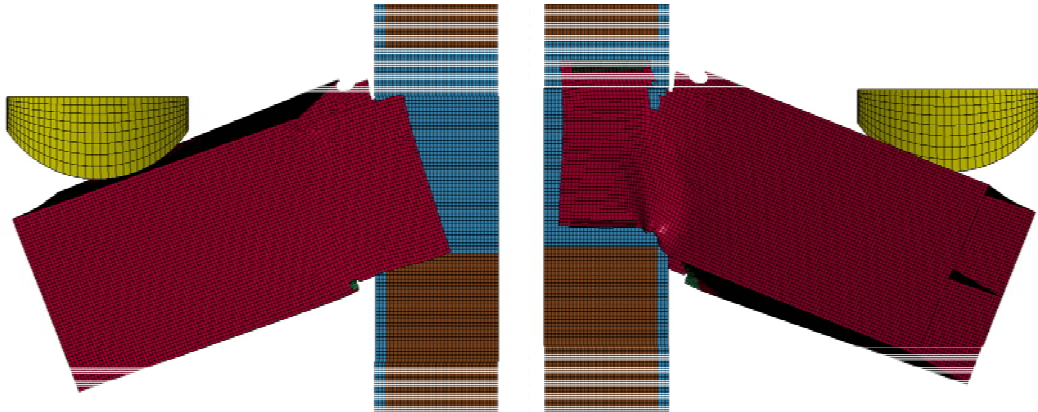
Die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchungen sind somit, dass sich in den Schwingfestigkeitsversuchen die eigentliche Fügezone als keine besondere Schwachstelle herausgestellt hat. Vielmehr weisen die Verbindungen Festigkeiten auf, die auch bei herkömmlichen Schweißverbindungen erreicht werden.

Bei monotoner Belastung konnte bei den Hybridverbindungen Alu-Stahl eine große Streuung im Versagen beobachtet werden, **Abbildung 4**.

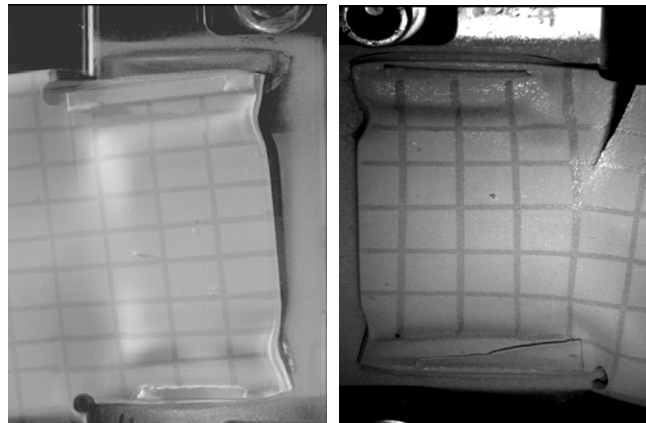


**Abbildung 4:** Versagensvarianten von vollständiger Trennung der Bleche (Links) in der Fügeebene, ausgerissene Teilanhaftungen Aluminium-Flyer am Stahl-Target (Mitte) und vollständiges Anhaften mit Versagen im Aluminium-Flyer

Diese Streuung wurde dann übertragen auf die Bauteilsimulationen, so dass diese das Bauteilverhalten in einer guten Übereinstimmung wiedergeben, **Abbildung 5** und **Abbildung 6**.



**Abbildung 5:** Bauteilsimulation tstoss\_15, Versagensbild linke Seite (links): Verbindungszonen versagen (Kohäsiv-Elemente), rechte Seite (rechts): Versagen im Aluminium Grundwerkstoff.



**Abbildung 6:** Bauteilversuch T-Stoß, Versagensbilder; Bild links: Verbindungszone oben versagt, anschl. auch unten; Bild rechts: Versagen im Aluminium Grundwerkstoff, Abreißen des Flansches

## Förderer und Partner

Das IGF-Vorhaben „Versagensverhalten von Mischschweißverbindungen unter mehrachsiger crashartiger und schwingender Beanspruchung am Beispiel von EMPT-Bleischweißungen“, IGF-Vorhaben Nr. 17883 N/1, der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e.V. des DVS, Aachener Straße 172, 40223 Düsseldorf wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Die Bearbeitung erfolgt zusammen mit dem Fraunhofer Institut für Werkstoffmechanik IWM in Freiburg, die erfolgreich die Crasheigenschaften der EMPT-Verbindungen charakterisiert haben.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

### **Kontakt Daten Fraunhofer LBF**

Dr.-Ing. Jörg Baumgartner, Tel: 06151-705-474, joerg.baumgartner@lbf.fraunhofer.de

Kai Schnabel, M.Sc. Tel: 06151-705-451, kai.schnabel@lbf.fraunhofer.de

### **Kontakt Daten „Crash“ Fraunhofer IWM**

Frank Huberth, Tel: 0761-5142-472, frank.huberth@iwm.fraunhofer.de

Dr. Silke Sommer, Tel: 0761-5142-266, silke.sommer@iwm.fraunhofer.de