

# Experimentelle und numerische Simulation der Einflüsse konstruktions- und fertigungsbedingter Toleranzen auf das Crashverhalten von Klebverbindungen

Prof. Dr.-Ing. G. Meschut<sup>1</sup>, Dr.-Ing. D. Teutenberg<sup>1</sup>, Dipl.-Ing. M. Bobbert<sup>1</sup>  
Prof. Dr.-Ing. A Matzenmiller<sup>2</sup>, Dipl.-Ing. G. Schwarzkopf<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorium für Werkstoff- und Fügetechnik (LWF), Universität Paderborn  
<sup>2</sup>Institut für Mechanik (IfM), Universität Kassel

## 1 Einleitung und Problemstellung

Die Fügetechnologie Klebtechnik spielt im heutigen Automobilbau eine entscheidende Rolle. Viele Leichtbaukonzepte, die auf dem Prinzip des Multimaterialdesigns basieren, lassen sich erst sinnvoll mit dieser Fügetechnologie realisieren. Einer optimalen Ausnutzung des enormen Potenzials dieser Fügetechnik stehen jedoch fertigungs- und prozesstechnische Einflussfaktoren gegenüber. Dies betrifft insbesondere die in der Serienfertigung auftretenden Toleranzen hinsichtlich der geometrischen Ausprägung der Fügezone. Diese Einflussgrößen, wie z. B. die Klebschichtdicke, die Fugenfüllung oder die Fügeglieddicke können einen signifikanten Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften der Verbindung haben. Eine Kenntnis der im Fertigungsprozess auftretenden Streuungen und deren Auswirkungen, auch unter Berücksichtigung des Spannungszustandes und der Belastungsgeschwindigkeit sind für eine kalkulierbare Anwendung dieser Fügetechnik wichtig.

## 2 Lösungsansatz und Ergebnisse

Um den Einfluss der Fertigungs- und Konstruktionstoleranzen auf das mechanische Verhalten von Klebverbindungen zu quantifizieren, werden im ersten Schritt anhand von Grundversuchen Materialparameter für ein Klebstoffmaterialmodell, das TAPO-Modell [1], ermittelt, wobei verschiedene Identifikationsstrategien im Bezug auf Effizienz und Genauigkeit in LS-OPT untersucht werden [2]. Als Grundlage dazu dienen die an der dicken Zugscherprobe und der Kopfzugprobe ermittelten Schubspannung-Gleitung- und Normalspannung-Dehnung-Verläufe in Abhängigkeit der Klebschichtdicke und der Dehnrates. Es hat sich herausgestellt, dass das mechanische Verhalten der Klebschicht sowohl eine ausgeprägte Abhängigkeit von der Klebschichtdicke als auch von der Belastungsgeschwindigkeit aufweist. Die Änderung der mechanischen Eigenschaften der Klebschicht in Folge unterschiedlicher Belastungsgeschwindigkeiten kann in der Berechnung über den im Materialmodell implementierten Parameter gut wiedergegeben werden. Um den Einfluss der Klebschichtdicke auf das mechanische Verhalten der Proben ausreichend genau berechnen zu können, werden für unterschiedliche Klebschichtdicken neue Schädigungs- und Versagensparameter identifiziert und eine Abhängigkeit dieser von der Klebschichtdicke aufgezeigt.

Im nächsten Schritt wird an den so genannten technologischen Proben der Einfluss der obengenannten Parameter verifiziert und der Einfluss des Fugenfüllungsgrades und Fügegliedwerkstoffe untersucht. Vor Allem die Untersuchungen zum Fugenfüllungsgrad unter Schälzugbeanspruchung haben gezeigt, dass dieser Fertigungsparameter einen beachtlichen Einfluss auf die maximal ertragbare Beanspruchung der Verbindung hat.

Zur Validierung werden T-Stöße als bauteilähnliche Proben untersucht, die unter Variation der Klebschichtdicken, Belastungsgeschwindigkeiten und -richtungen sowie der Fügegliedwerkstoffe geprüft werden. Im ersten Schritt werden zur Validierungszwecken deterministische Simulationsmodelle aufgebaut, berechnet und mit den experimentell ermittelten Kennwertfunktionen verglichen, wobei eine gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Experiment erzielt werden konnte. Im nächsten Schritt werden stochastische Untersuchungen zum Einfluss der Fertigungsparameter durchgeführt, wobei die Geometrie der Klebnaht, die Fließfunktion der Fügegliedwerkstoffe als auch die Lage der Schweißpunkte im T-Stoß als variable Größen definiert werden. Aus den Untersuchungsergebnissen geht hervor, dass die Klebnahtgeometrie einen entscheidenden Einfluss auf das mechanische Verhalten geklebter Bauteile hat. Je nach

Belastungsart spielt nicht nur die Klebschichtdicke, sondern auch der Grad der Fugenfüllung eine entscheidende Rolle für die Tragfähigkeit der Verbindung. In Abbildung 1 links ist das FE-Modell der T-Stoß-Probe dargestellt. Auf der rechten Seite sind berechnete Kraft-Weg-Verläufe der T-Stoß-Probe dargestellt, wobei die Klebschichtdicke im Bereich zwischen 0,1mm und 1,0mm, der Fugenfüllungsgrad zwischen 0% und 100%, die Fließspannung des Fügeteilwerkstoffes um -5% bis +10% und die Lage der Schweißpunkte variiert wurden. Es ist deutlich zu sehen, dass je nach Parameterkombination die maximal ertragbare Kraft um ca. 40% und die Energieaufnahme sogar um ca. 80% abnehmen kann. Die Sensitivitätsanalyse der Fertigungsparameter zeigt, dass die Klebschichtdicke mit über 60% den Stärksten Einfluss auf die Energieaufnahme des Bauteils aufweist.

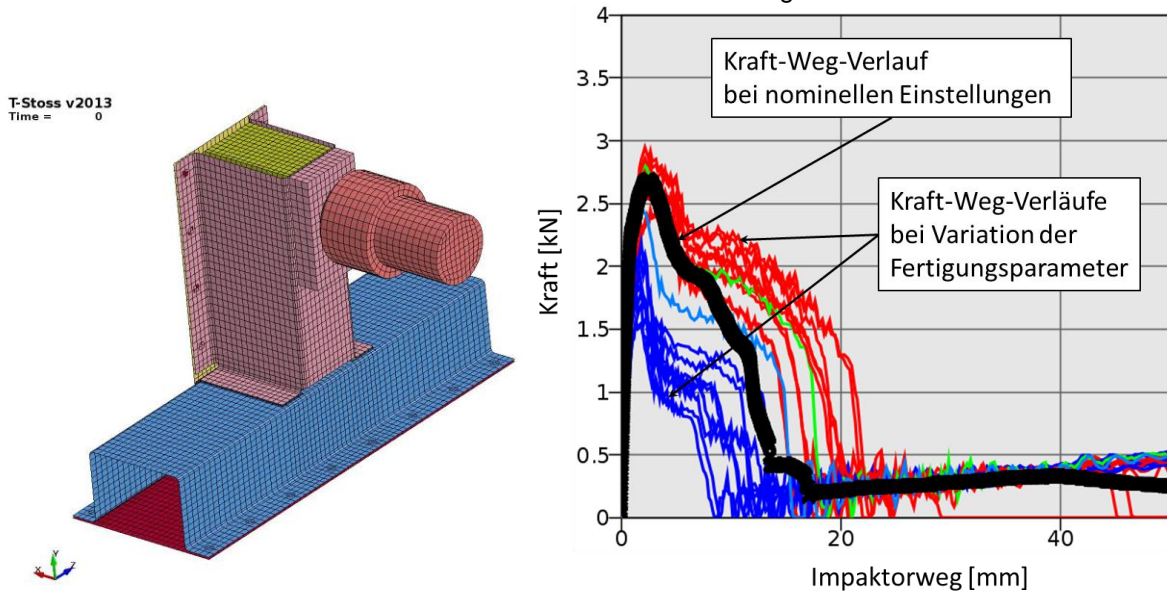


Fig.1: Links:FE-Modell der T-Stoß-Probe; rechts: Ergebnisse der stochastischen Analyse bei Variation verschiedener Fertigungsparameter.

### 3 Zusammenfassung

Auf Grundlage zahlreiche Untersuchungen wurde ein Zusammenhang zwischen Fertigungsparametern und mechanischem Verhalten geklebter Verbindungen experimentell aufgezeigt und numerisch nachgebildet. Insbesondere beeinflusst die Klebschichtgeometrie sowohl die maximal ertragbare Kraft als auch die Energieaufnahme der Verbindung wesentlich. Basierend auf diesen Untersuchungsergebnissen können stochastische Untersuchungen zu geklebten Verbindungen durchgeführt und somit robuste Bauteilauslegung realisiert werden.

#### Dank

Die Forschungsstellen bedanken sich bei den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses für die intensive Zusammenarbeit und Unterstützung. Das IGF-Vorhaben 17352 N (Projektlaufzeit Dez 2012 – Sep 2014) der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V. – FOSTA, Sohnstraße 65, 40237 Düsseldorf wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Für die Förderung sei gedankt.

#### Literaturverzeichnis

- [1] Abschlussbericht zum AiF/FOSTA Forschungsvorhaben P 828: Robustheit und Zuverlässigkeit der Berechnungsmethoden von Klebverbindungen mit hochfesten Stahlblechen unter Crashbedingungen, Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V., Düsseldorf, 2014
- [2] Stander, N.; Roux, W.; Goel, T.; Eggleston, T.; Craig, K.: LS-OPT User's Manual, A Design Optimization And Probabilistic Analysis Tool For The Engineering Analyst. Livermore Software Technology Corporation, 2011