

Schriften des Lehrstuhls für Technische Mechanik  
herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Rolf Mahnken, M.Sc.

P-2010-2

**Manuel Hentrich**

## **Geklebte Strukturen unter Crashbeanspruchung**

Entwicklung und Parameteridentifikation eines Modells  
zur FEM-Simulation von Klebschichten

D 466 (Diss. Universität Paderborn)

Shaker Verlag  
Aachen 2010

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Paderborn, Univ., Diss., 2009

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Rolf Mahnken, M.Sc.  
Lehrstuhl für Technische Mechanik  
Warburger Straße 100  
33098 Paderborn  
Tel.: +(49) 5251 602283

Copyright Shaker Verlag 2010

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-8964-5  
ISSN 1867-1675

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen  
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9  
Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## Zusammenfassung

Geklebte Verbindungen stellen eines der effizientesten Fügeverfahren der Natur dar und auch in technischen Anwendungen wird das Potential dieser Technologie zunehmend erkannt. Anforderungen moderner Leichtbaukonzepte erfordern Fügekonzepte wie die Klebtechnik, welche unterschiedliche Materialien mit hoher Tragfähigkeit verbinden können. Zur Anwendung in der technischen Praxis sind jedoch präzise und zuverlässige FEM-Berechnungsmodelle von hoher Relevanz, welche für Klebschichten nur eingeschränkt zur Verfügung stehen.

In dieser Arbeit wird deshalb zunächst ein Überblick über die Werkstoffphänomene polymerer Klebstoffe unter Crashbeanspruchung gegeben und aus mikromechanischen Betrachtungen vier dominierende Werkstoffcharakteristika abgeleitet. Zunächst kennzeichnet die *Zug-Schub-Asymmetrie* die starke Abhängigkeit des Materialverhaltens vom jeweiligen Beanspruchungszustand, die *plastische Verfestigung* und das *Entfestigungsverhalten* sind für die Gesamtverformung einer Fügestelle entscheidend, da deren Spannungsniveau die Verformung der Fügeteile bestimmt. Ein letzter Aspekt gilt der ausgeprägten *Dehnratenabhängigkeit* der Klebstoffe, welche das gesamte Materialverhalten beeinflusst.

Diese physikalischen Eigenschaften werden in einem Materialmodell abgebildet, welches den Einfluss des Beanspruchungszustands und die Dehnratenabhängigkeit berücksichtigt. Ergänzt wird dieses Modell durch einen dualen Schädigungsansatz, welcher auf Basis einer volumetrischen bzw. deviatorischen Vergleichsdehnung das Entfestigungsverhalten beschreibt und sich stark an den mikromechanischen Verformungsmechanismen orientiert. Dieses Materialmodell wird in ein kommerzielles FEM-System integriert und mit Hilfe von Kohäsivzonenelementen so aufbereitet, dass auch Entfestigungsvorgänge numerisch stabil wiedergegeben werden.

Der eigentlichen Parameteridentifikation für einen exemplarisch ausgewählten Strukturklebstoff geht eine ausführliche Analyse unterschiedlicher Experimente zur Charakterisierung von Klebstoffen voraus. Dazu wird das implementierte Klebschichtmodell in FEM-Modelle der Werkstoffproben eingesetzt und untersucht, welche Beanspruchungssituationen in den jeweiligen Konfigurationen auftreten. Auf Basis dieser Betrachtungen lassen sich gezielt Experimente auswählen, welche zur Aktivierung aller Modellparameter erforderlich sind.

Die konkrete Bestimmung der Parameter erfolgt auf Basis ausgewählter Zug-, Zugscher und Doppelrohrversuchen, in einem kombinierten Verfahren werden die Vorteile numerischer Parameterbestimmung über einen Optimierungsalgorithmus mit den Erkenntnissen zur Aussagegenauigkeit der einzelnen Experimente verknüpft.

Der gewonnene Parametersatz wird sowohl anhand von FEM-Berechnungen der zugrunde liegenden Werkstoffversuche verifiziert, als auch über eine unabhängige bauteilähnliche KSII-Probe validiert. Die weitgehend gute Übereinstimmung mit den experimentellen Daten zeugt von einem viel versprechenden Ansatz zur besseren Berechenbarkeit geklebter Strukturen.