

Berichte aus dem Institut für Statik und Dynamik der  
Tragstrukturen

Band 11

**Mario Timmel**

**Zur numerischen Modellierung von Schädigungs-  
phänomenen dynamisch beanspruchter Strukturen**

Shaker Verlag  
Aachen 2008

**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.: Leipzig, Univ., Diss., 2008

Copyright Shaker Verlag 2008

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-7751-2

ISSN 1615-8423

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)

In der vorliegenden Arbeit erfolgt die Diskussion von numerischen Ansätzen für die Abbildung von Schädigungsphänomenen bei dynamisch beanspruchten Strukturen. Hierbei wird insbesondere das Entfestigungsverhalten der Materialien betrachtet, das auf Veränderungen in der Mikroebene der Strukturen basiert. Da weitestgehend phänomenologische Materialmodelle verwendet werden, um die Steifigkeitsreduktion abzubilden, werden diese Ansätze theoretisch und anhand von Anwendungsproblemen reflektiert. Eine wesentlich detailliertere Schädigungsmodellierung erfolgt über die gezielte numerische Abbildung der Prozesse in der Mikroebene. In diesem Zusammenhang wird ein kontinuumsmechanischer Ansatz vorgestellt, mithilfe dessen eine mikrostrukturelle Evolution modelliert werden kann. Hierzu wird ein repräsentatives Volumenelement (RVE) definiert, in welchem ein weicher Einschluss in steiferem Matrixmaterial eingebettet ist. Der weiche Einschluss stellt das geschädigte Gebiet dar. Indem mit zunehmender Beanspruchung eine geometrische Veränderung der Matrix- und Einschlusskonfiguration erfolgt, ergibt sich über die Homogenisierung eine Verringerung der Steifigkeit der Mikrostruktur. Durch eine Kopplung mit der Makroebene wird diese Steifigkeitsreduktion übertragen. Als thermodynamisch treibende Größe für die Beschreibung der geometrischen Veränderung der Mikrostruktur werden verallgemeinerte Kräfte verwendet, die über eine materielle Impulsbilanz bestimmt werden. Während die materiellen Kräfte für quasistatische Untersuchungen zunehmend als thermodynamisches Kriterium verwendet werden, existieren wenige Studien im Zusammenhang mit dynamischen Beanspruchungen. Zudem können damit auch weitere in der Mechanik sowie numerischen Simulation relevanten Phänomene betrachtet werden. Aus diesem Grund wird der Veranschaulichung der Mikrostrukturentwicklung eine Diskussion der verallgemeinerten Kräfte anhand verschiedener Modellprobleme wie beispielsweise Risswachstumsphänomene und Impaktbeanspruchungen vorangestellt. Ein in der Dynamik sehr interessanter Anwendungsfall wird mit der Diskussion von Stoßwellenphänomenen dargestellt. Neben den theoretischen Grundlagen werden auch die numerischen Besonderheiten für die Simulation mit einem expliziten Finite-Elemente-Algorithmus aufgezeigt. Den Abschluss der Stoßwellen-Diskussion bildet die Auswertung der materiellen Kräfte an den Stoßfronten. Im Anschluss erfolgt die Vorstellung verschiedener Anwendungsfälle der Mikrostrukturevolution. Für linear-elastisches und isotropes Werkstoffverhalten wird die analytische Lösung von Eshelby verwendet, womit die Schädigungsmodellierung sehr effizient erfolgen kann. Für davon abweichende Randbedingungen wird eine FE-gestützte Analyse der Mikroskala dargestellt. Für gummiartige Materialien werden verschiedene hyperelastische Materialmodelle anhand komplexer Beanspruchungen simuliert, um hinsichtlich der Approximationsgüte geeignete Ansätze zu identifizieren. Um die Anwendung der Mikrostrukturevolution nicht auf eine spezielle Materialgruppe einzuschränken, werden darüber hinaus weitere Werkstoffmodelle für die numerischen Studien verwendet. Für die Abbildung von Schädigung bei Richtungsabhängigkeit, zum Beispiel im Fall faserverstärkter Strukturen, wird ein anisotropes hyperelastisches Materialmodell vorgestellt. Für eine Verwendung des Mikrostrukturmodells bei plastischen Effekten unter kleinen Verzerrungen erfolgt die Implementierung einer elasto-plastischen Formulierung, und eine Gegenüberstellung mit dem Gurson-Ansatz. Abschließend wird das Mikrostrukturmodell mit der diskreten Makroebene gekoppelt, womit ein Zweiskalen-FEM-Ansatz zur Verfügung steht, mit welchem Entfestigungsverhalten für eine Vielzahl von Werkstoffen analysiert werden kann. Dieser Ansatz kann für eine numerische Evaluation oder mikromechanische Motivation komplexer phänomenologischer Schädigungsansätze verwendet werden.