

Masterarbeit

Dreidimensionale Spannungsanalyse im Nahfeld transversaler Matrixrisse von Laminattragwerken

Problemstellung

Faserverstärkte Kunststoffe weisen neben ihren exzellenten spezifischen Eigenschaften einige Nachteile auf, die es bei der Analyse und Auslegung von Laminaten entsprechend zu berücksichtigen gilt. Zu nennen wäre in diesem Kontext der sog. Laminat-Randeffekt, welcher erstmals in [1] numerisch nachgewiesen wurde. Pipes und Pagano konnten hierbei eindeutig aufzeigen, dass es an den freien Rändern von ebenen Faserverbund-Werkstoffen zu stark lokalisierten interlaminaren Spannungen kommt, welche mitunter zu Randdelamination und somit zum vorzeitigen Versagen der Struktur führen können. Aus diesem Grund ist über die letzten Jahrzehnte ein erheblicher Forschungsaufwand betrieben worden, um die potentiell singulären Spannungskonzentrationen sowohl auf rein numerischem Wege, mithilfe geschlossen-analytischer Methoden oder auch experimentell zu erfassen.

Während der Randeffekt in ebenen Laminaten in seinen wesentlichen Zügen verstanden ist und diesbezüglich auf einen beeindruckenden Kenntnisstand aus fünf Jahrzehnten intensiver Forschung zurückgegriffen werden kann [2-4], besteht hinsichtlich des dreidimensionalen Spannungsfeldes im Nahfeld eines sich ausbildenden Matrixrisses in ebenen Laminaten noch reger Forschungsbedarf. Numerische Berechnungen weisen nämlich darauf hin, dass es am Rand von Matrixrissen zu stark lokalisierten interlaminaren Spannungszuständen kommt (siehe Abbildung 1), die aufgrund der geringen transversalen Festigkeitseigenschaften der Fasern eine zusätzliche Delamination der Struktur begünstigen.



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

KLuB Konstruktiver
Leichtbau und
Bauweisen

Prof. Dr.-Ing. habil.
Christian Mittelstedt

Fachgebiet Konstruktiver
Leichtbau und Bauweisen

Fachbereich 16
Maschinenbau

Otto-Berndt-Straße 2
64287 Darmstadt
Tel. +49 6151 16 - 22020
Fax +49 6151 16 - 21980

Ansprechpartner:
Andreas Kappel, M.Sc.
Raum L1 | 01 306
andreas.kappel@klub.tu-
darmstadt.de
Tel. +49 6151 16 - 22028

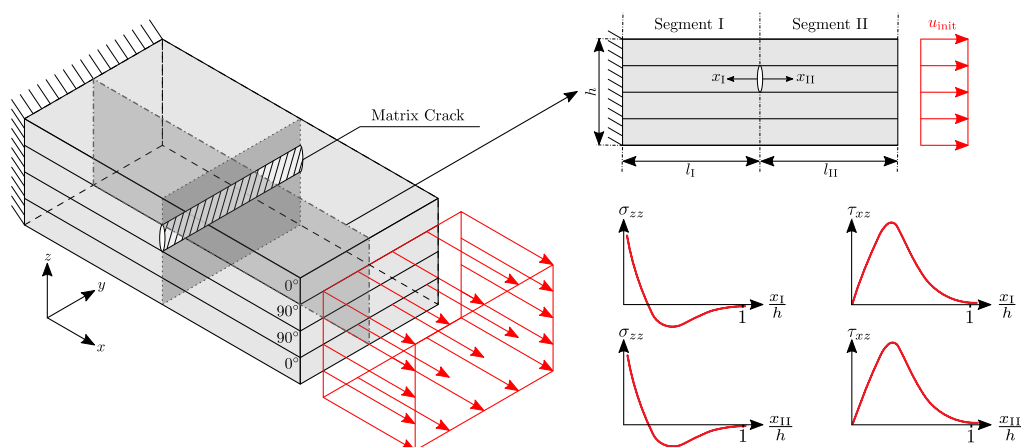


Abbildung 1: Matrixriss in der 90°-Schicht eines ebenen Laminats unter Zugbelastung (links) und zweidimensionale Darstellung des Randwertproblems sowie resultierende interlaminare Spannungsverläufe (rechts)

Ziel der Masterarbeit ist es nun einen wichtigen Beitrag auf diesem Forschungsgebiet zu leisten, indem nach einer Recherche des aktuellen Standes der Technik zunächst eine hochdetaillierte Finite-Elemente-Modellierung der in Abbildung 1 dargestellten Struktursituation implementiert wird, wobei hier auf eine ausreichend feine Vernetzung im Nahbereich des Matrixrisses zu achten ist. Mithilfe des in [5] entwickelten semi-analytischen Ansatzes soll dann im Anschluss der Spannungszustand im Nahfeld des Matrixrisses näherungsweise geschlossen-analytisch ermittelt werden. Hierzu soll mit einem Energieprinzip und schichtweisen Ansätzen gearbeitet werden, was eine Vorgehensweise ist, die sich in der Vergangenheit als überaus leistungsfähig und hochgenau herausgestellt hat.

Aufgaben

Im Einzelnen ergeben sich folgende Arbeitspakete:

- Literaturrecherche zum Stand der Technik sowie Einarbeitung in die Methode der Finiten Elemente
- Erstellen eines vollständig parametrisierten dreidimensionalen Finite-Elemente-Modells zur Analyse von Spannungskonzentrationen im Nahfeld eines Matrixrisses, wobei hier ausschließlich linear-elastisches Materialverhalten und geometrische Linearität angenommen werden
- Gezielte Konvergenz- und Parameterstudien sowie Ermittlung von vollständigen Spannungsfeldern der modellierten Struktursituation; eingehende Diskussion der sich einstellenden Spannungskonzentrationen sowie Herausstellen der treibenden Parameter
- Unter Zuhilfenahme der Erkenntnisse aus [5], näherungsweise geschlossen-analytische Modellierung des in Abbildung 1 dargestellten Randwertproblems; Vergleich mit den Ergebnissen der Finite-Elemente-Simulationen für symmetrische Kreuzverbunde
- Basierend auf den Ergebnissen des vorhergehenden Punktes, Erweiterung der bestehenden Methodik auf unsymmetrische Kreuzverbunde oder nicht-orthotrope Lagenaufbauten
- Kritische Würdigung und Diskussion sowie Dokumentation aller Ergebnisse; Ableiten weiteren Forschungsbedarfs in diesem Bereich.

Betreuer: Andreas Kappel, M.Sc.

Literaturhinweise:

- [1] Pipes, R. B./ Pagano, N. J. (1970): Interlaminar stresses in composite laminates under uniform axial extension. *Journal of Composite Materials* 4 (1970), 538-548.
- [2] Mittelstedt, C. / Becker, W. (2016): *Strukturmechanik ebener Lamine*, Studienbereich Mechanik, Technische Universität Darmstadt, ISBN 978-3-935868-99-0
- [3] Mittelstedt, C. / Becker, W. (2004): Interlaminar stress concentrations in layered structures - part I: a selective literature survey on the free-edge effect since 1967, *Journal of Composite Materials* 38:1037-1062.
- [4] Mittelstedt, C. / Becker, W. (2007): Free-edge effects in composite laminates, *Applied Mechanics Reviews* 60:217-245.
- [5] Butzke J.E. / Mittelstedt, C. (2014): Stress concentration phenomena in the vicinity of composite plate-doubler junctions by a layerwise analysis approach, *Composite Structures* 118:351-366