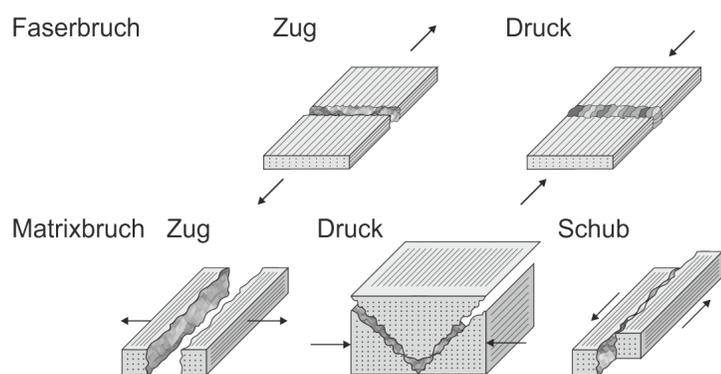


Modellierung des 3D-Schädigungsverhaltens von Faserverbundwerkstoffen in Solidschalen

Michael Krawiec

1. Einleitung

Faserverbundwerkstoffe zeichnen sich vor allem durch eine hohe Festigkeit sowie ein geringes Gewicht aus und sind daher von besonderem Interesse in Anwendungsbereichen, die hohe Anforderungen an das Material stellen. Im Gegensatz zu metallischen Werkstoffen besitzen unidirektionale Faserverbunde komplexe Versagensmechanismen, welche in interlaminaire und intralaminare Schädigungsarten unterteilt werden. Die intralaminare Schädigung lässt sich in Faser- und Matrixbrüche kategorisieren.



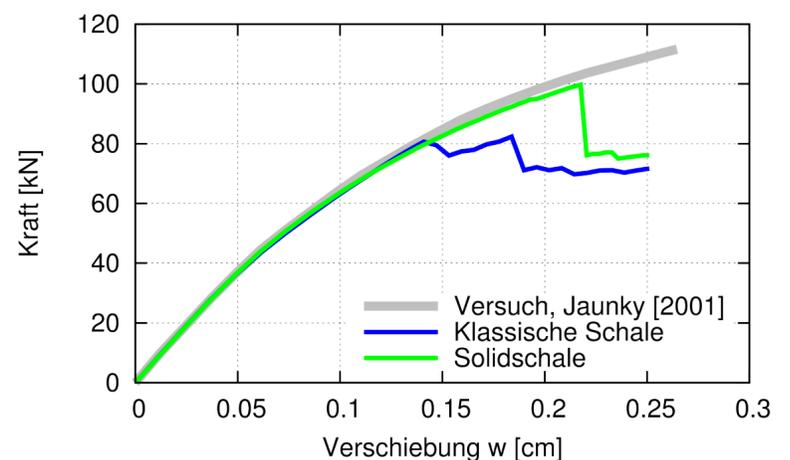
Sie lassen sich mathematisch in Bruchkriterien und Degradationsmodellen erfassen und mit der Methode der Finiten Elemente kombinieren. Zur Modellierung dünnwandiger Strukturen aus Faserverbundwerkstoffen bieten sich klassische Schalenelemente sowie leistungsfähige Solidschalen an. Die verwendete Solidschale beruht auf einem verschiebungsbasierten Kontinuumsmodell und bezieht ihr Stoffgesetz aus einer Materialbibliothek.

2. Implementierung in die Materialbibliothek

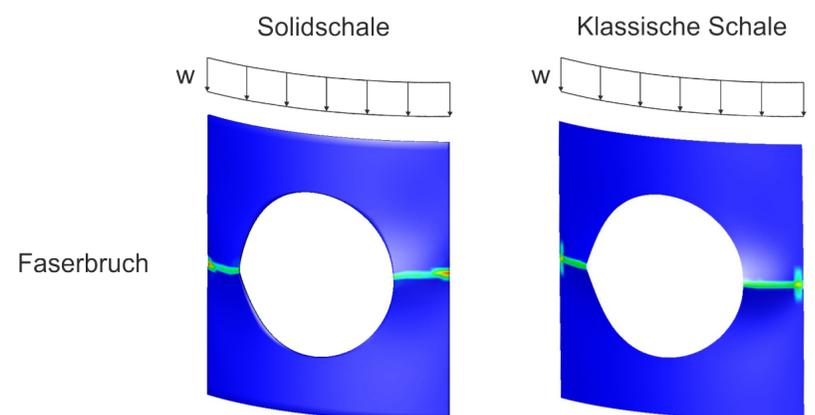
In der Werkstoffformulierung sind die Tsai-Wu, erweiterten Hashin, Puck und Cuntze Bruchkriterien enthalten. Die Implementierung des Werkstoffverhaltens in einer Materialbibliothek hat den Vorteil, von weiteren Elementen verwendet werden zu können. Die Materialbibliothek wird in der Elementroutine innerhalb der Gausspunktschleife aufgerufen. Als Eingangswerte dienen hierzu die Werkstoffparameter, aktuellen Dehnungen und die bisherige Schädigung. Hieraus werden die Spannungen berechnet und die Bruchkriterien geprüft. Falls sich eine Schädigung ermittelt, wird die Materialmatrix C aktualisiert. Anschließend wird sie mit den Spannungen und der Schädigung an die Elementroutine zurückgegeben. Um die bisherige Formulierung der Schädigungsmodelle zu übernehmen, werden die Querdehnzahlen ν_{13} und ν_{23} zu null gesetzt, wodurch sich die Spannungen σ_{33} verfälschen. Sie besitzen in dünnwandigen Laminaten lediglich einen Einfluss auf die Bruchkriterien in Bereichen wie Rändern oder Störzonen. Zur genaueren Untersuchung ist die Ausgabe der Schädigung erforderlich. Diese Funktion ist in der Materialbibliothek noch nicht implementiert, weshalb eine Erweiterung in der Elementroutine erforderlich ist. Bei der Verwendung des Werkstoffverhaltens mit weiteren Elementen ist dies zu beachten.

3. Numerische Untersuchungen

Zur Gegenüberstellung beider Elementformulierungen wird ein Panel mit Lochausschnitt gewählt, welches an der oberen Seite mit einer Verschiebung w belastet wird. Hierzu wird der Versuch mit den Bruchkriterien nach Cuntze und linearer Degradation für Matrixbrüche modelliert. Die klassische Schale ermittelt einen teilweisen Bruch über den Steg in zwei Abschnitten, was am treppenförmigen Kurvenverlauf zu erkennen ist.



Die Maximallast des Versuchs wird von der Solidschale um etwa 10 %, von der klassischen Schale um 30 % unterschätzt. Allerdings lässt sich mit ihr ein Verlauf mit besserer Übereinstimmung zu den experimentellen Ergebnissen ermitteln. Die dargestellten Schädigungsbilder beziehen sich auf eine Verschiebung $w = 0,23 \text{ cm}$. Lage und Art der Schädigung wird von beiden Elementformulierungen in guter Korrelation zueinander berechnet.



4. Zusammenfassung

Trotz gleicher Schädigungsmodelle für die Faserverbundwerkstoffe ergeben sich Differenzen im ermittelten Bruchbild, sodass die verwendete Elementformulierung ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf den Kurvenverlauf sowie die Schädigungsbilder besitzt. Es bleibt festzuhalten, dass mittels Solidschale ein leistungsfähiges Element bereitsteht, mit welchem sich genaue Berechnungsergebnisse für das modellierte nichtlineare Materialverhalten der Faserverbundwerkstoffe erzielen lassen.