

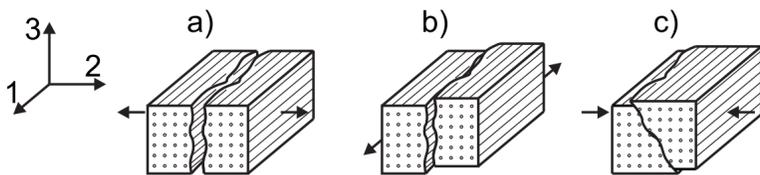
Untersuchung und FE-Modellierung von CFK-Strukturen mit den Schädigungsmodellen von Hashin und Cuntze

Jonas Läufer

1. Einleitung

Faserverbundlaminare setzen sich aus mehreren Einzelschichten zusammen. Um das Versagen einer solchen Einzelschicht beschreiben zu können, werden Faserbrüche und Zwischenfaserbrüche unterschieden.

Die Faserbrüche werden hierbei in Zug- und Druckversagen untergliedert. Das Eintreten eines Faserbruches führt zum Totalversagen der Schicht. Faserbruch ist somit der schwerwiegendste Versagensmodus. Zwischenfaserbrüche werden in Zug-, Schub- und Druckversagen unterteilt. Hierbei bleiben die Fasern intakt und lediglich die Matrix wird beschädigt.



2. Versagenskriterien

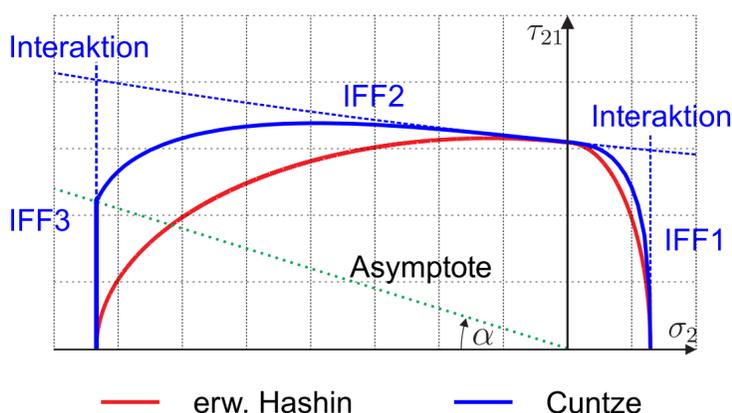
Um die unterschiedlichen Versagensmodi numerisch abbilden zu können, müssen Bruchkriterien definiert werden. Bei den hier untersuchten Bruchkriterien handelt es sich um die Bruchkriterien nach Cuntze. Die beiden Faserbrüche werden mit FF1 für Zug- und FF2 für Druckversagen bezeichnet.

$$\text{FF1: } \frac{\sigma_1}{R_{\parallel}^t} = 1, \quad \text{FF2: } \frac{-\sigma_1}{R_{\parallel}^c} = 1$$

Die Zwischenfaserbrüche werden mit IFF1 für Zug-, IFF2 für Schub- und IFF3 für Druckversagen der Matrix abgekürzt. Grundsätzlich sind die Gleichungen für einen dreidimensionalen Spannungszustand gegeben, zur Vereinfachung werden sie hier jedoch für einen ebenen Spannungszustand dargestellt.

$$\text{IFF1: } \frac{\sigma_2}{R_{\perp}^t} = 1, \quad \text{IFF2: } \frac{\tau_{21}^2 (\tau_{21} + 2b_{\perp} \|\sigma_2)}{R_{\perp}^3} = 1, \quad \text{IFF3: } \frac{-\sigma_2}{R_{\perp}^c} = 1$$

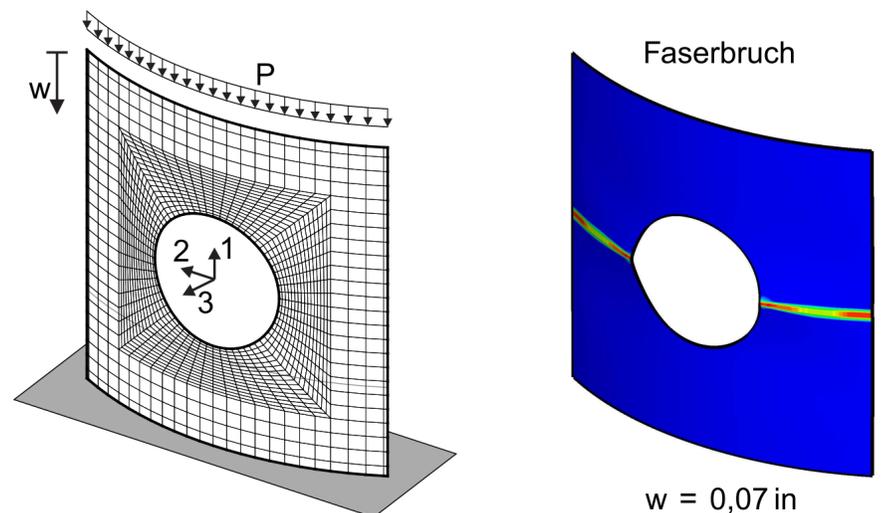
Graphisch lassen sich die Zwischenfaserbrüche in einem τ_{21} - σ_2 -Diagramm darstellen. Um die Realität besser abbilden zu können, führt Cuntze eine Interaktionsgleichung ein, die es ermöglicht, dass die einzelnen Versagensmodi miteinander interagieren.



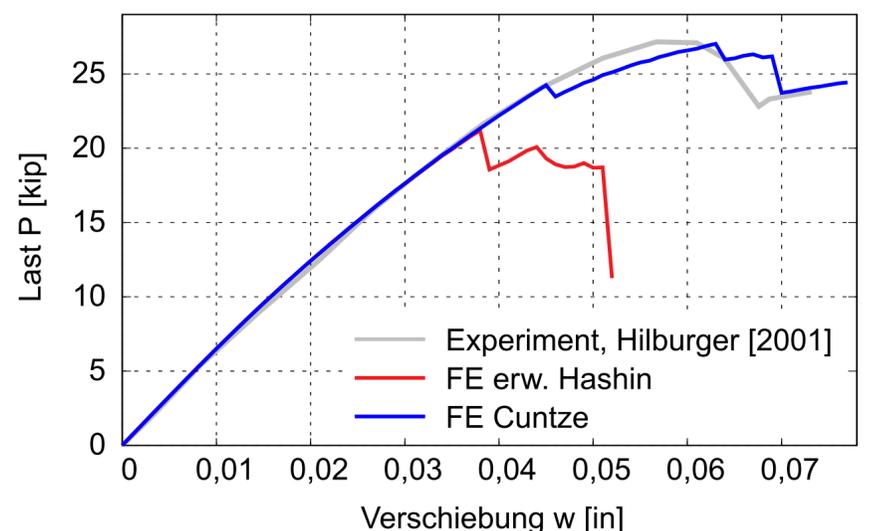
Als Vergleichskriterien dienen die erweiterten Bruchkriterien nach Hashin. Sie sind im Gegensatz zu den ursprünglichen Hashin-Kriterien durch ein zusätzliches Schubkriterium ergänzt. Die Bruchkurve dieser Kriterien ist ebenfalls in der vorangehenden Abbildung dargestellt.

3. Numerisches Beispiel

Als numerisches Beispiel dient eine gekrümmte Scheibe, die in der Mitte eine kreisförmige Aussparung besitzt. Die Scheibe wird an der Oberkante durch eine Streckenlast belastet, wodurch sich die Verschiebung w und die abgebildete Last-Verschiebungskurve ergibt.



Es ist zu erkennen, dass mit den Cuntze-Kriterien für das gegebene Beispiel eine bessere Übereinstimmung mit den experimentellen Ergebnissen erzielt wird. Die erweiterten Hashin-Kriterien führen bei einer geringeren Last zum Totalversagen.



Die Maximallast wird mit beiden verwendeten Kriterien unterschätzt. Allerdings liefern die Cuntze-Kriterien für das betrachtete Beispiel bessere Ergebnisse. Das frühzeitige Versagen der Hashin-Kriterien ist durch das zusätzliche Schubkriterium bedingt, was einen der wesentlichen Unterschiede der beiden Kriterien darstellt.