

## **Zusammenfassung**

In der vorliegenden Arbeit wird das Verhalten von thermoplastischen Verbundwerkstoffen mittels experimentellen und numerischen Untersuchungen betrachtet. Das Ziel dieser Untersuchungen ist die Identifikation und Quantifikation des Versagensverhaltens und der Energieabsorptionsmechanismen von geschichteten, quasi-isotropen thermoplastischen Faser-Kunststoff-Verbunden und die Umsetzung der gewonnenen Einsichten in Eigenschaften und Verhalten eines Materialmodells zur Vorhersage des Crash-Verhaltens dieser Werkstoffe in transienten Analysen.

Vertreter der untersuchten Klassen sind un- und mittel-vertrekte Rundgestricke und glasfaserverstärkte Thermoplaste (GMT). Die Untersuchungen an rundgestrickten glasfaser-(GF)-verstärktem Polyethylenterephthalat (PET) waren Teil eines Forschungsprojektes zur Charakterisierung sowohl der Verarbeitbarkeit als auch des mechanischen Verhaltens. Experimente an GMT und Schnittfaser-GMT wurden ebenfalls zum Vergleich mit dem Gestrick durchgeführt und dienen als Bestätigung des beobachteten Verhaltens des Gestrickes.

Besonderer Aufmerksamkeit wird der Einfluß der Probengeometrie auf die Resultate gewidmet, weil die Crash-Charakteristiken wesentlich von der Geometrie des getesteten Probekörpers abhängen. Hierzu wurde ein Rundhutprofil zur Untersuchung dieses Einflusses definiert. Diese spezielle Geometrie hat insbesondere Vorteile hinsichtlich Energieabsorptionsvermögen sowie Herstellbarkeit von thermoplastischen Verbundwerkstoffen (TPCs). Es wurden Impakt- und Perforationsversuche zur Untersuchung der Schädigungsausbreitung und zur Charakterisierung der Zähigkeit der untersuchten Materialien durchgeführt.

Geschichtete TPCs versagen hauptsächlich in einem Laminat-Biegemodus mit kombiniertem intra- und interlaminaren Schub (transversaler Schub zwischen Lagen und teilweise mit transversalen Schubbrüchen in einzelnen Lagen). Durch eine Kopplung der aktuellen Versagensmodi und Crash-Kennwerten wie der mittleren Crash-Spannung, konnten Indikationen über die Relation zwischen Materialparameter und absoluter Energieabsorption gewonnen werden.

Numerische Untersuchungen wurden mit einem expliziten Finiten Elemente-Programm zur Simulation von dreidimensionalen, großen Verformungen durchgeführt. Das Modell besteht bezüglich des Querschnittaufbaus aus einer mesoskopischen Darstellung, die zwischen Matrix-zwischenlagen und mesoskopischen

Verbundwerkstofflagen unterscheidet. Die Modellgeometrie stellt einen vereinfachten Längsquerschnitt durch den Probekörper dar. Dabei wurden Einflüsse der Reibung zwischen Impaktor und Material sowie zwischen einzelnen Lagen berücksichtigt. Auch die lokal herrschende Dehnrates, Energie und Spannungs-Dehnungsverteilung über die mesoskopischen Phasen konnten beobachtet werden. Dieses Modell zeigt deutlich die verschiedenen Effekte, die durch den heterogenen Charakter des Laminats entstehen, und gibt auch Hinweise für einige Erklärungen dieser Effekte.

Basierend auf den Resultaten der obengenannten Untersuchungen wurde ein phänomenologisches Modell mit a-priori Information des inherenten Materialverhaltens vorgeschlagen. Daher, daß das Crashverhalten vom heterogenen Charakter des Werkstoffes dominiert wird, werden im Modell die Phasen separat betrachtet. Eine einfache Methode zur Bestimmung der mesoskopischen Eigenschaften wird diskutiert.

Zur Beschreibung des Verhaltens vom thermoplastischen Matrixsystem während „Crushing“ würde ein dehnraten- und temperaturabhängiges Plastizitätsgesetz ausreichen. Für die Beschreibung des Verhaltens der Verbundwerkstoffschichten wird eine gekoppelte Plastizitäts- und Schädigungsformulierung vorgeschlagen. Ein solches Modell kann sowohl den plastischen Anteil des Matrixsystems als auch das „Softening“ - verursacht durch Faser-Matrix-Grenzflächenversagen und Faserbrüche - beschreiben. Das vorgeschlagene Modell unterscheidet zwischen Belastungsfällen für axiales „Crushing“ und Versagen ohne „Crushing“. Diese Unterteilung ermöglicht eine explizite Modellierung des Werkstoffes unter Berücksichtigung des spezifischen Materialzustandes und der Geometrie für den außerordentlichen Belastungsfall, der zum progressiven Versagen führt.