

<b>Laufzeit</b>	01.10.2011 - 31.12.2014
<b>Titel</b>	<b>Finite-Element-Validation</b> <b>A New Method for Finite Element Validation in Crashworthiness Analysis using Optical Sensors</b>

## IGF-Vorhaben-Nr.: 59 EN

Das Hauptziel des Projektes war die Entwicklung einer Simulationsstrategie für kurzfaserverstärkte Thermoplaste, gekoppelt mit einer verbesserten Modellierung des mechanischen Verhaltens dieses Materials in der FE -Simulation. Kurzfaserverbundwerkstoffe, wie sie im Rahmen des Projektes betrachtet wurden, finden beispielsweise in der Automobiltechnik zunehmende Verwendung.

Die Projektergebnisse umfassen die Implementierung eines Materialmodelles für die FE Simulation, sowie neuartige, glasfaserbasierte optische Dehnungssensoren. Diese beiden Teilaspekte sind verknüpft über die Möglichkeit der Simulationsvalidierung anhand von faseroptischen Messungen und die damit einhergehende Chance einer Verbesserung der Simulationsgüte. Jede der Entwicklungen kann allerdings auch eigenständig genutzt werden. Hierdurch ergibt sich ein breites Anwendungsspektrum in CAE, Messtechnik oder auch integrierten Monitoring-Systemen.

Als Basis für das gesamte Projekt war eine intensive Materialuntersuchung notwendig. Die hierbei generierten Daten waren für die Materialmodellierung, in der Simulation und im Fasersensor-Integrationsprozess relevant. Beispielhaft wurde ein Polypropylenmaterial betrachtet. Zunächst wurden im Spritzgussverfahren Platten aus dem reinen Matrixmaterial hergestellt, aus denen die Proben für alle Versuche entnommen werden konnten. Weiterhin wurde das Matrixmaterial mit 30 Gewichtsprozent Kurzglasfasern compoundingiert. Auch aus dem verstärkten Material wurden Probenplatten hergestellt. Durch diesen Ansatz konnte der Einfluss der Verstärkungsfasern auf das Matrixverhalten genau unterschieden werden. Zahlreiche Versuche wurden durchgeführt, um das mechanische Verhalten der reinen Matrix und des faserverstärkten Material zu charakterisieren. Über eine Analyse von mikrocomputertomographischen Daten ausgewählter Probenpositionen, wurde zudem die Faserorientierung bestimmt.

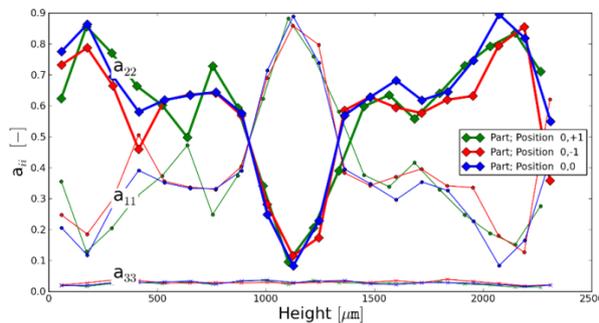
**Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit  
und Systemzuverlässigkeit LBF, Bereich  
Kunststoffe**

Schlossgartenstr. 6

Phone: +49 6151 705-0  
Fax: +49 6151 705-214  
www.lbf.fraunhofer.de  
info@lbf.fraunhofer.de

Die ungekürzte oder auszugsweise Wiedergabe dieses Berichts sowie seine Verwendung zu Werbezwecken bedarf der schriftlichen Genehmigung der Institutsleitung. © 2013 Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF

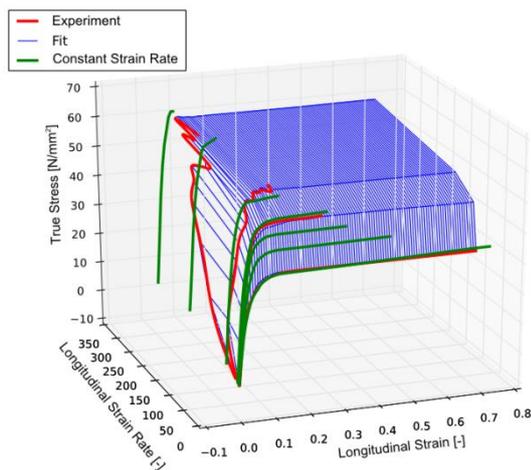
*Reprints of this report or parts of it or its use for promotion purposes require the prior written permission of the director of the Fraunhofer Institute.*



**Abb. 1 Visualisierung der Hauptachsen der Faserorientierungssensoren an unterschiedlichen Probenpositionen**

Die mechanische Prüfung wurde bei unterschiedlichen Abzugsgeschwindigkeiten und Belastungszuständen (Zug, Druck und Schub) durchgeführt. In diesem Teil des Projekts wurde ein neues optisches 3D Grauwertkorrelationssystem in die Messkette integriert, das hinsichtlich der Messung von Kunststoffen angepasst und erweitert wurde. Da im Vorfeld keine zufriedenstellende Messsystematik für die Durchführung von Druckversuchen an thermoplastischen Kunststoffen bestand, wurde diesbezüglich ein optimierter Messaufbau sowie eine Probengeometrie entwickelt. Hierbei wurden verschiedene Mess- und Auswertemethoden evaluiert und insgesamt eine detaillierte Gesamtübersicht über die Probeneigenschaften bei unterschiedlichen Reibungsbedingungen aufgestellt. Der Einfluss der Reibung auf die experimentellen Ergebnisse der Druckprüfung konnte minimiert werden.

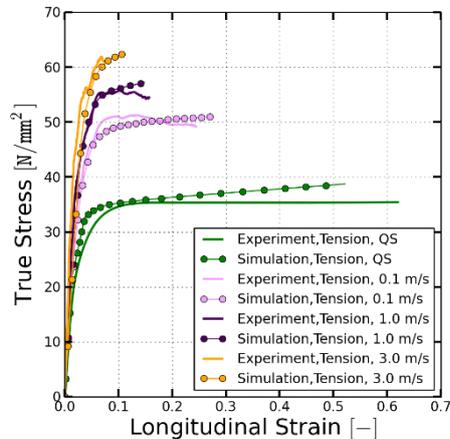
Aus den experimentell bestimmten Spannungs-Dehnungs-Beziehungen wurden die erforderlichen Materialparameter identifiziert und entsprechende Materialkarten für die Struktursimulation in LSDYNA hergeleitet. Um Anwender bei der komplexen Modellierungsaufgabe für Kunststoffmaterialien zu unterstützen wurde ein softwarebasiertes Modellierungstool erweitert. Hierdurch können Parameter für Materialmodelle wesentlich einfacher und effizienter aus Versuchsdaten abgeleitet werden.



**Abb. 2 Softwareunterstützte Auswertung von Versuchsdaten für die Materialmodellierung**

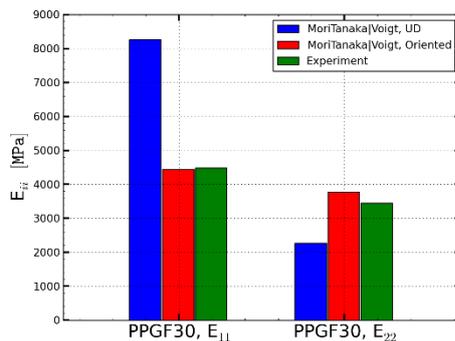
Die Ergebnisse der Simulationsmodelle wurden bei unterschiedlichen Verformungsraten analysiert.

Abb. 3 Simulationsergebnisse in LSDYNA

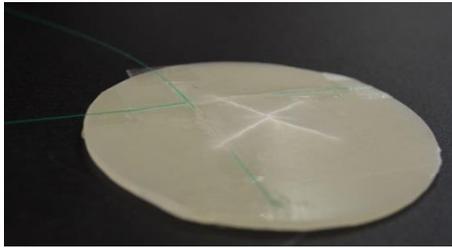


Um verbesserte Ergebnisse aus der Simulation von kurzfaserverstärkten Thermoplasten zu erhalten, wurde ein Materialmodell entwickelt, welches das anisotrope Verhalten beschreibt und eine direkte Eingabe der Faserorientierungsdaten erlaubt. Das Ergebnis wurde als benutzerdefiniertes Materialmodell in LSDYNA implementiert.

Abb. 4 Vergleich modellierter und experimentell ermittelter Steifigkeiten



Zu den wichtigsten Zielen des Projekts gehörte die Integration neu entwickelter Fasersensoren in ein Validierungsbauteil. Dieser Methode erlaubt es, auch bei komplexen Versuchsaufbauten oder Bauteilen, zusätzlich zum globalen Materialverhalten, lokale Dehnungsinformationen zur Validierung von FE Simulationsergebnissen zu erfassen. Das Messsystem kann somit in Kontexten eingesetzt werden in denen andere Verfahren versagen würden. Verschiedene Verfahren zur Befestigung des Sensors am Bauteil wurden umfassend geprüft, um die oberflächenapplizierten Faser-Bragg-Gitter im Kontext von Validierungsexperimenten einsetzen zu können. Die Messdaten der Sensoren wurden mit Werten aus der optischen 3D-Grauwertkorrelation verglichen und anhand dieser kalibriert. Ein Validierungsversuch wurde aufgebaut und die FE Simulation übertragen.



**Abb. 5 Probenplatte aus einem Durchstossversuch mit applizierten optischen Sensoren**

Auch wenn sich die Forschungsergebnisse auf glasfaserverstärkte Materialien beziehen, können sie hinsichtlich alternativer Verstärkungsarten, wie z.B. Kohlenstofffasern, adaptiert werden. Die im Projektrahmen entwickelten Modelle wurden in Bezug auf eine solche Anwendung vorbereitet.

*Vom Projektpartner Multitel wurden optische Fasersensoren auf Basis von Faser-Bragg-Gittern entwickelt und optimiert. Mehrere Problemstellungen wurden diesbezüglich behandelt. Diese betrafen die Herstellung der Sensoren, deren Optimierung hinsichtlich der Möglichkeit simultaner Erfassung verschiedener Messparameter, eine Überprüfung der Dehnungsmessalgorithmen, sowie die Anpassung des Messwerverfassungssystems selbst.*

*Kontakt: M. Sc. Felix Dillenberger, Tel.: +49 6151 705-8753; felix.dillenberger@lbf.fraunhofer.de*

## **Danksagung und Bestellhinweis**

Das IGF-Vorhaben 59 EN der Forschungsvereinigung Forschungsgesellschaft Kunststoffe e.V. (FGK, Schlossgartenstraße 6, 64289 Darmstadt) zum Thema

„Finite-Element-Validation  
A New Method for Finite Element Validation in Crashworthiness Analysis using Optical Sensors“

wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

**Gefördert durch:**



**aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages**

Wir bedanken uns für die finanzielle Unterstützung.

Die gesamten Forschungsergebnisse können einem umfangreichen Forschungsbericht entnommen werden, der zum Selbstkostenpreis beim Fraunhofer LBF bestellt werden kann. Die Rechnung wird mit dem Bericht zugeschickt.

---