

Laufzeit 01.09.2009 - 31.08.2012

Titel Integral Foams

### IGF-Vorhaben-Nr.: 19 EN

Ziel des am DKI durchgeführten Teils des Projektes „Mechanical behaviour of integral foams at high strain rates with integrated optical sensors“ war die mechanische Untersuchung von Integralschäumen und die Bereitstellung eines Simulationsansatzes. Die Hauptcharakteristik von Integralschäumen ist ein Dichtegradient, der von der Formteilgeometrie und dem Rohstoff abhängig ist.

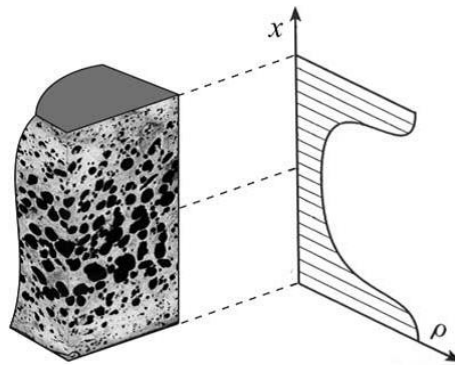


Abbildung 1: Dichteverteilung in Integralschäumen [Hirschmann, Markus; 2007; Herstellung und Eigenschaften von spritzgegossenen Magnesium-Integralschäumen; Dissertation]

Um diese Ziele zu erreichen wurde eine Versuchs- und Auswerterroutine entwickelt. Außerdem wurden verschiedene Ansätze zur Simulation der Integralschaumstruktur untersucht.

Die Projektergebnisse zeigen erwartungsgemäß eine starke Abhängigkeit der mechanischen Eigenschaften von der Dichte des Materials. Eine Dehnratenabhängigkeit konnte ebenfalls nachgewiesen werden. Diese ist im Vergleich zur Dichteabhängigkeit

aber vernachlässigbar klein. Dies ist eine wichtige Erkenntnis, da so der Simulationsansatz für die Anwendung in der Praxis maßgeblich vereinfacht werden kann.

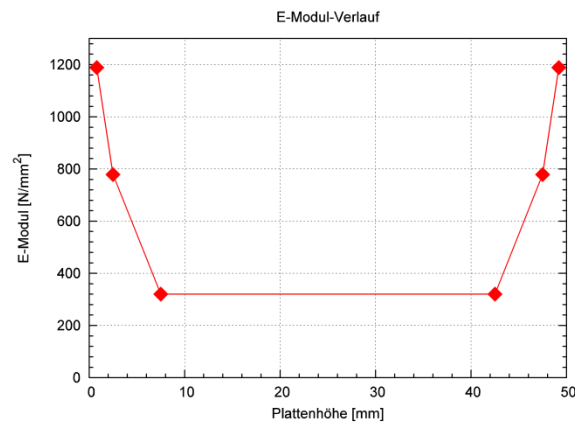


Abbildung 2: Elastizitätsmodul in Abhängigkeit der Plattenhöhe (Dichte)

Es wurden zwei Ansätze zur Simulation von Integralschäumen untersucht. Zum einen ein „Sandwichaufbau“ der Integralstruktur, bei dem jeder Schicht des Schaums eigene Materialkennwerte zugewiesen wurden. Zum anderen eine Zuweisung der Materialeigenschaften über ein vordefiniertes Feld, welches der Dichteverteilung entspricht. Diese Herangehensweise hat die Vorteile, dass keine Steifigkeitssprünge zwischen den Einzelschichten zu erwarten sind, da die Software nicht vorhandene Kennwerte interpoliert und dass der versuchstechnische Aufwand gering gehalten werden kann, da nur die Materialeigenschaften einer Schicht und die Dichteverteilung bekannt sein müssen.

Während der Projektlaufzeit wurde deutlich, dass komplexe Materialmodelle, die eine detaillierte Beschreibung des Materialverhaltens ermöglichen, nur dann sinnvoll sind, wenn die Dichteverteilung ebenfalls, durch z.B. eine Füllsimulation, berechnet werden kann. Die Zusammenhänge verhalten sich hier ähnlich der Faserorientierung bei kurzfaserverstärkten Thermoplasten.

Akkurate Materialmodelle sind sinnvoll, wenn genaue Informationen über die Dichteverteilung vorliegen und ein Probekörper ohne Dichtegradient hergestellt werden kann. Ohne diese Informationen liegen die Simulationsergebnisse mit einem einfachen von Mises Materialmodell in der Streuung der Versuchsergebnisse, da die Probekörper selbst eine Dichteverteilung aufweisen.

Für den ersten Teil der Projektarbeit wurden Integralhartschäume verschiedener Dichten mechanisch charakterisiert. Um aus den gelieferten Platten Probekörper mit homogener Dichteverteilung zu erhalten, wurden die Platten in Zeilen, Spalten und Schichten unterteilt. Durch dieses Vorgehen ist die Anzahl der Einzelversuche massiv angestiegen und es wurde erforderlich eine automatisierte Auswerteroutine zu implementieren. Die entwickelte Versuchsauswertung ist in der Lage den Elastizitätsmodul, die

Querkontraktionszahl und die Bruchdehnung der Einzelproben automatisch zu bestimmen. So lag eine konsistente Methode zur Auswertung der Versuche vor.

Die zu untersuchende Dehnratenabhängigkeit der Materialien konnte nachgewiesen werden. Dazu wurden aus dem Halbzeug an einer definierten Stelle Probekörper entnommen und bei unterschiedlichen Abzugsgeschwindigkeiten geprüft. Es zeigte sich, dass die Fließspannung und Bruchdehnung von der Dehnrate abhängig sind. Allerdings sind die Unterschiede bei verschiedenen Abzugsgeschwindigkeiten im Vergleich zu unterschiedlichen Dichten bei gleicher Abzugsgeschwindigkeit so klein, dass die Dehnratenabhängigkeit vernachlässigt werden kann.

Aus den experimentell ermittelten Materialkennwerten wurden Materialbeschreibungen für die FE-Software Abaqus abgeleitet. Die Simulation der Zugversuche zeigte eine sehr gute Übereinstimmung mit den experimentell ermittelten Kennwerten. Für eine Validierung der Materialmodelle wurden Dreipunkt-Biegeversuche durchgeführt. In diesen Versuchen wurde ein Balken aus den Halbzeugen präpariert, der die Integralstruktur wiedergibt. Die nötige Modellierung der Integralstruktur wurde über zwei Ansätze abgebildet.

Der erste Ansatz basiert auf Ermittlung von Materialkennwerten für jede vorliegende Dichte und dem Zusammensetzen der Einzelschichten in einem Sandwichmodell. Da die Dichteverteilung der Halbzeuge ein exponentielles Verhalten zeigt, konnten nur an diskreten Stellen Materialkennwerte ermittelt werden. Das führt zu einem Informationsverlust über die Bauteilhöhe und Steifigkeitssprüngen an den Einzelschichten des Sandwichmodells. Trotz dieser vereinfachten Modellierung konnten die Versuche mit guter Übereinstimmung nachgerechnet werden. Der Nachteil dieses Modellierungsansatzes ist in der hohen Anzahl von Versuchen begründet, da für jede definierte Schicht des Halbzeuges die Materialkennwerte bestimmt und für die Simulation aufbereitet werden müssen.

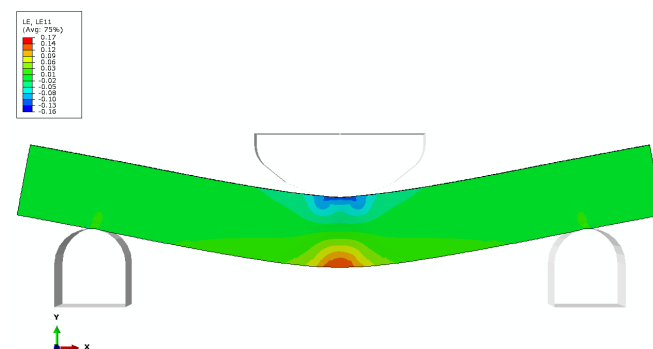


Abbildung 3: Dehnungsverteilung Sandwichmodell

Der zweite Ansatz basiert auf der Ermittlung von Materialkennwerten für eine möglichst homogene Schicht und Skalierung der Kennwerte über ein vordefiniertes Feld. Dieses

Feld, das dem FE-Modell überlagert wird, spiegelt die Dichteverteilung im vorliegenden Halbzeug wider. Dieses Vorgehen weist mehrere Vorteile auf. Zuerst ist der reduzierte Versuchsumfang zu nennen. Dieser reduziert sich auf Zugversuche an Proben mit minimaler und maximaler Dichte, sowie die Ermittlung der Dichteverteilung. Im Modell werden dann von der FE-Software die unbekanntenen Eigenschaften interpoliert. So kommt es nicht zu den, für die Sandwichmodellierung typischen, Steifigkeitssprüngen an Dichtegrenzen. Die Simulationsergebnisse bilden die Versuchsergebnisse ebenfalls gut ab.

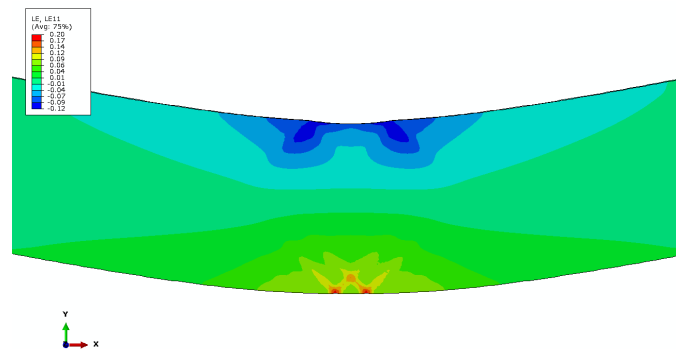


Abbildung 4: Dehnungsverteilung Temperaturmodell

Aus den Ergebnissen des Projektes wird deutlich, dass mit vorhandenen Materialmodellen die mechanischen Eigenschaften sehr gut abgebildet werden können. Um die speziellen Anforderungen von Integralschäumen abzubilden ist es allerdings nötig die Dichteverteilung sehr genau zu kennen. Um nun in der Auslegungsphase eines neuen Bauteils schon gute Simulationsergebnisse erzielen zu können, wird eine Simulationsmethode zur Berechnung der Dichteverteilung benötigt. Die Integraleigenschaften sind ähnlich der Faserorientierung in kurzfaserverstärkten Polymeren zu bewerten. Ohne Prozesssimulation wird es nicht möglich sein, das Bauteilverhalten zufriedenstellend zu simulieren.

Abschließend möchten wir Handlungsempfehlungen zur Auslegung von Bauteilen aus Integralschäumen geben:

In der Entwicklungsphase des Bauteils ist es nicht nötig die Dichteverteilung detailliert zu kennen. Nehmen Sie die Steifigkeit und Bruchdehnung der Innenschicht des Schaums an, da die Dichteverteilung sehr stark von der Bauteilgeometrie abhängig ist. Dies ist ein konservativer Ansatz.

Ist die gewünschte Geometrie gefunden, untersuchen Sie die Dichteverteilung genauer und nutzen Sie die so gewonnenen Informationen um über FE-Berechnungen die Geometrie zu optimieren.

Führen Sie Bauteilversuche durch. Sollte das Bauteil die Anforderungen übersteigen, wählen Sie einen Integralschaum mit geringerer Dichte aus, um den Leichtbauaspekt besser auszureizen.

Legen Sie eine Datenbank mit Geometrien und resultierenden Dichteverteilungen an um diese Informationen in späteren Berechnungen heranziehen zu können.

Finite Element Modelle können auf einfache Materialbeschreibungen (von Mises Plastizität und Schadensentwicklung) zurückgreifen. Die Simulationsergebnisse liegen im Streubereich der Versuche.

Die Schaumstruktur kann über beide aufgezeigten Ansätze modelliert werden. Beide Ansätze erzielen gute Ergebnisse.

Zur Berücksichtigung der Integralstruktur in einer frühen Auslegungsphase ist das „Feldmodell“ zu bevorzugen, da es wesentlich weniger Versuche benötigt.

*Kontakt: Dr.-Ing. Jürgen Wieser, Tel.: +49 6151 705-8725;*  
[juergen.wieser@lbf.fraunhofer.de](mailto:juergen.wieser@lbf.fraunhofer.de)

*Dipl.-Ing. Sebastian Mönnich, Tel.: +49 6151 705-8751;*  
[sebastian.moennich@lbf.fraunhofer.de](mailto:sebastian.moennich@lbf.fraunhofer.de)

## Danksagung und Bestellhinweis

Das IGF-Vorhaben 19 EN der Forschungsvereinigung Forschungsgesellschaft Kunststoffe e.V. (FGK, Schlossgartenstraße 6, 64289 Darmstadt) 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.

---