

Gruppe

VERBUNDWERKSTOFFE

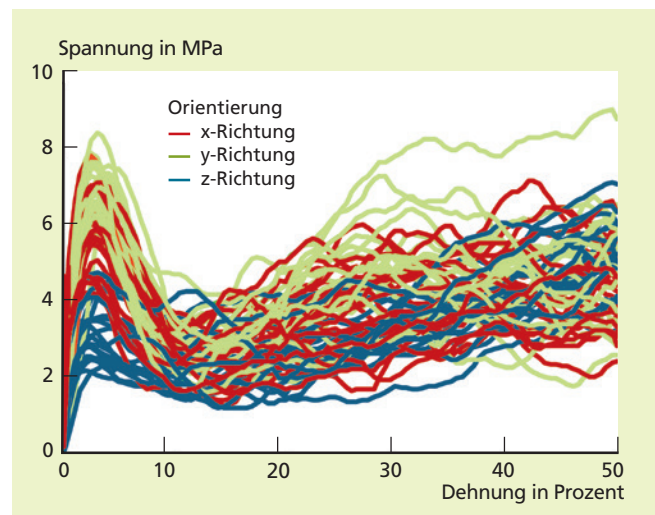
Dr. Jörg Hohe | Telefon +49 761 5142-340 | joerg.hohe@iwm.fraunhofer.de

CHARAKTERISIERUNG UND MODELLIERUNG ANISOTROPER SCHÄUME

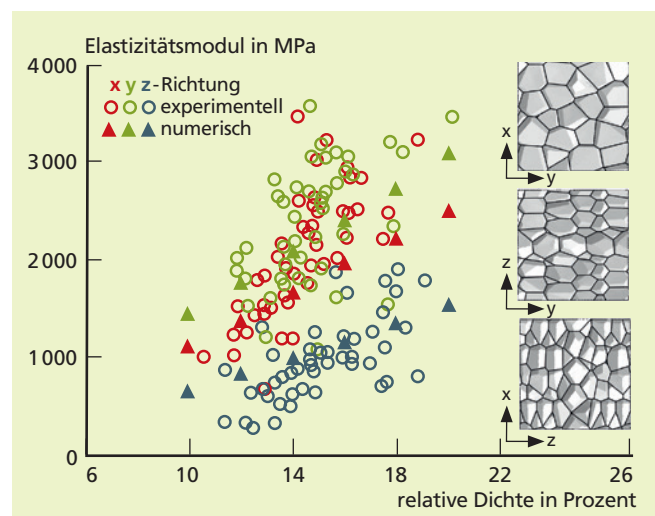
In vielen Bereichen des modernen Leichtbaus werden feste Schäume eingesetzt. Wichtige Anwendungsbereiche sind Kerne von Sandwich-Konstruktionen, Energieabsorptionselemente, aber auch multifunktionale Anwendungen wie Konstruktionselemente mit inhärenten akustischen oder Wärmeisolationseigenschaften. Herstellungsbedingt weisen Schäume nicht nur eine ungeordnete, heterogene, sondern auch eine anisotrope Mikrostruktur auf. Bei der Auslegung von Bauteilen mit zellulären Anteilen werden anisotrope Eigenschaften bislang selten berücksichtigt. Der Einfluss von länglich gestreckten oder gestauchten Zellen auf das Strukturverhalten kann jedoch erheblich sein. Da für viele Anwendungen recycling-fähige Leichtbau-Konstruktionen an Bedeutung gewinnen, werden im Fließbandprozess hergestellte stoffreie Aluminium-Sandwichplatten mit einem geschlossenzelligen Aluminium-Schaumkern betrachtet (Abbildung 3). Zur gezielten Untersuchung des Einflusses anisotroper Mikrostruktureigenschaften auf das Strukturverhalten wird ein Algorithmus zur zufallsgesteuerten Generierung von Finite-Elemente-Modellen mit anisotropen Zellstrukturen entwickelt. Hierauf basierend erfolgt eine BauteilAuslegung unter Berücksichtigung streuender und anisotroper Zellmaterialeigenschaften.

Experimentelle Charakterisierung

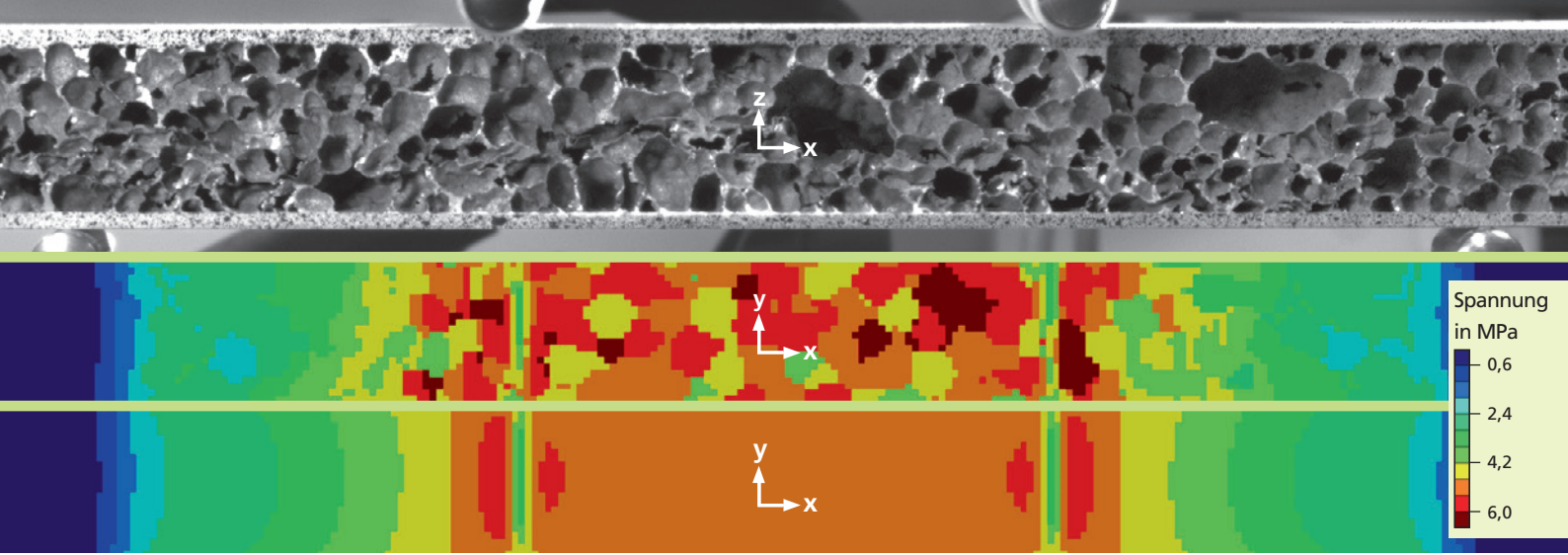
In einem ersten Schritt wird das mechanische Verhalten des Schaumkerns experimentell charakterisiert. Aus dem Kern werden würfelförmige Druckproben entnommen und der Entnahmeort sowie die räumliche Orientierung dokumentiert. Für jede Probe wird die relative Dichte ermittelt. Durch fotografische Aufnahmen der Probenoberflächen wird die ursprüngliche Mikrostruktur festgehalten. Es zeigen sich prozessbedingte ortsabhängige Dichteveriationen innerhalb



1 Spannungs-Dehnungs-Kurven der Schaumdruckproben in Abhängigkeit von der Belastungsrichtung, bezogen auf die ursprüngliche Orientierung in der Sandwichplatte.



2 Anisotropes Schaummodell mit in z-Richtung gestauchten Zellen: Vergleich zwischen experimentell sowie numerisch ermittelten Elastizitätsmoduln.



3 Sandwichbalken (oben), berechnete von-Mises-Spannungsverteilungen mit anisotropen streuenden (Mitte) und homogenen Kerneigenschaften (unten).

der Platte. Die Druckprüfung erfolgt mit einer Bilderfassung, um das Zellversagen nachverfolgen zu können. Es ergeben sich nicht nur dichteabhängige Spannungs-Dehnungs-Verläufe, sondern für Proben vergleichbarer Dichte ist ein Einfluss der Belastungsrichtung bezüglich der ursprünglichen Orientierung der Probe in der Platte zu beobachten (Abbildung 1). Flachere Verläufe ergeben sich für Proben, die in Dickenrichtung des Sandwichkerns (z-Richtung) belastet werden. Dies ist ein herstellungsbedingter Anisotropie-Effekt: Der Aufschäumprozess wird in Dickenrichtung durch Walzen behindert, um die Sollkerndicke zu erhalten, wodurch die Zellen in dieser Richtung gestaucht sind.

Anisotrope mikromechanische Modellierung

Zum tieferen Verständnis der mikromechanischen Vorgänge bei der Deformation und als Basis für ein virtuelles Materialdesign unter Berücksichtigung der Streuung der Materialeigenschaften erfolgt eine probabilistische mikromechanische Simulation des Deformationsverhaltens. Hierzu wird als Erweiterung des klassischen Voronoi-Verfahrens zur Zellstrukturgenerierung ein Algorithmus entwickelt, der auf einer Ellipsoidpackung beruht. So können Strukturen mit gestreckten beziehungsweise gestauchten Zellen, die eine vorgegebene Orientierung im Raum aufweisen, erzeugt werden. Durch Variation der Zellgrößenverteilung sowie Zellorientierung und des Aspektverhältnisses der Ellipsoidachsen können stark variierende Zellstrukturen generiert werden. In Abbildung 2 sind die Oberflächen eines Modells mit gestauchten Zellen dargestellt. Anhand dieses Modells sind mithilfe einer Homogenisierungsanalyse numerisch bestimmte und dichteabhängige Werte für den Elastizitätsmodul ermittelbar. Diese stehen mit dem experimentell beobachteten Anisotropie-Effekt im Einklang.

Anisotropie-Einfluss auf das Bauteilverhalten

Bei der Bewertung von Bauteilen mit zellulären Anteilen ist die reale Abbildung der Mikrostruktur zumeist zu aufwändig. Hier bietet sich eine Diskretisierung mittels Zufallsfeldern zur Beschreibung des örtlich variierenden Materialverhaltens an. Im Gegensatz zu Berechnungen mit vollständig homogen idealisierten Materialeigenschaften kann durch dieses Vorgehen sowohl die Streuung als auch die Anisotropie in den Mikrostruktureigenschaften berücksichtigt werden. Um den Einfluss der Zellstruktur auf das Strukturverhalten aufzuzeigen, werden Sandwichbalken mit verschiedenen Schaumkernen betrachtet: eine anisotrope Zellstruktur mit in Dickenrichtung gestauchten Zellen im Vergleich zu einer Zellstruktur mit homogenen Materialeigenschaften. Die sich unter Vier-Punkt-Biegung ergebenden von-Mises-Spannungs-Verteilungen weisen signifikante Unterschiede auf. Dargestellt sind diese für den Grenzbereich zur oberen Decklage in Abbildung 3 (Mitte und unten). Bei gleicher relativer Dichte von 14 Prozent der Schaumkerne treten erheblich höhere versagenskritische maximale Spannungswerte in dem Sandwichkern mit den anisotropen gestauchten Zellen auf. Dies bedeutet, dass bei der Bewertung von Bauteilen mit zellulären Anteilen versagenskritische Spannungen unterschätzt werden können, wenn sowohl die Streuung als auch die Anisotropie-Eigenschaften in der Zellstruktur nicht berücksichtigt werden.

Dr. Carla Beckmann, Dr. Jörg Hohe