

Multifunktionale Hybridschäume

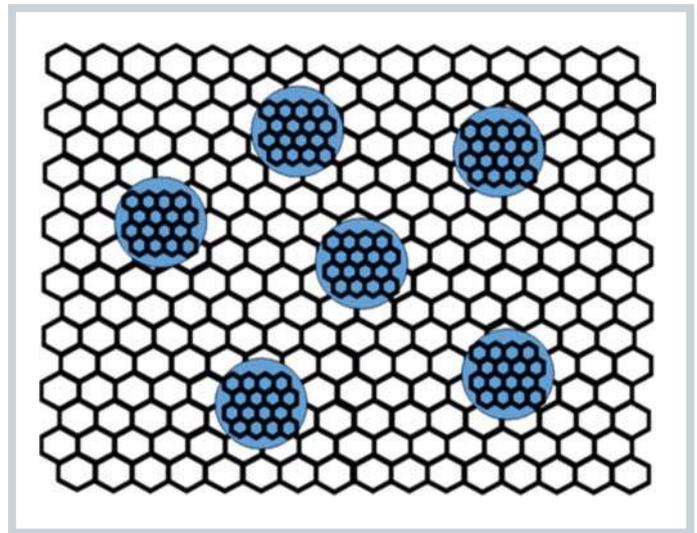
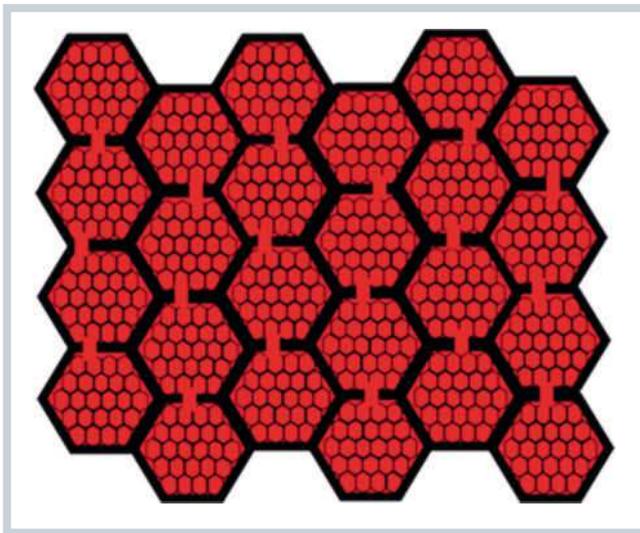


Bild 1. Die Forscher entwickelten neue Technologien für interpenetrierende (links) und partikuläre Hybridschäume (rechts) (Bilder außer Bild 2: Fraunhofer ICT)

Neue Anwendungen. Geschäumte Werkstoffe spielen heutzutage eine zentrale Rolle in Produkten des täglichen Lebens. Mit innovativen Hybridschaumlösungen eröffnen sich Möglichkeiten, die Einsatzgebiete dieser Materialklasse deutlich zu erweitern.

**FLORIAN RAPP
JAN DIEMERT**

Geschäumte Materialien sind nicht nur leicht, sie verfügen vielfach auch über technisch interessante Eigenschaften, z. B. eine hohe spezifische Steifigkeit und ein gutes Energieabsorptionsvermögen. Durch die stetig wachsenden technischen und gesetzlichen Forderungen stoßen geschäumte Monomaterialien, beispielsweise in Anwendungen als Crashelemente im Automobil, an ihre Grenzen. Im Rahmen eines Forschungsprojekts entwickelte das Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT) in mehrjähriger Arbeit zusammen mit vier Partnerinstituten (Tabelle 1) Hybridschäume, die die Einsatzgrenzen von Schäumen deutlich erweitern. Die jeweils zielführende Materialkombination wird dabei nicht erst auf der Bauteil-, son-

dern bereits auf der Werkstoffebene umgesetzt.

Hierzu entwickelten die Forscher neue Technologien für interpenetrierende und partikuläre Hybridschäume (Bild 1). Ne-

ben metallisch/keramischen Hybridschäumen gewinnen auch polymerbasierte Hybridschäume an Potenzial, wenn es darum geht, die oft genug konträren Anforderungen, etwa in der Kombina-



Bild 2. Die geschäumten Aluminiumpartikel (APM) werden mit Polyschaum umhüllt

(Foto: Fraunhofer IFAM)

ARTIKEL ALS PDF unter www.kunststoffe.de
Dokumenten-Nummer KU111079

tion plastischer und elastischer Verformbarkeit auf sehr unterschiedlichem Energieniveau, zu erfüllen. Die hier beschriebenen partikulären Hybridschäume erlauben diese Funktionsintegration bei weitgehend freier geometrischer Formbarkeit.

Kombinationen aus metallischen, keramischen und polymeren Schäumen

Basis der partikulären Hybridschäume ist die Partikelschaumtechnologie, die heute vor allem aus der Verarbeitung von expandiertem Polystyrol (EPS) und expandiertem Polypropylen (EPP) bekannt ist.

Bild 3. Die Hybridschaummaterialien APM und EPP werden getrennt in Vorratssilos gespeichert und erst während des Zuführprozesses miteinander vermischt



Institut	Projektanteil
Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT), Pfinztal	Polymerschäume und Projektkoordination
Fraunhofer-Institut für Angewandte Materialforschung (IFAM), Bremen	Metallschäume und Werkstoffsimulation
Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik (IWM), Freiburg	Prüfung und Simulation
Fraunhofer-Institut für Silikatforschung (ISC), Würzburg	Grenzflächenmodifikation
Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS), Dresden	Keramischschäume

Tabelle 1. Fünf Fraunhofer-Institute arbeiteten bei diesem Projekt Hand in Hand

Produkte aus diesen Monomaterialschäumen finden vor allem in der thermischen Isolation (z. B. Gebäudedämmung, Isolationsverpackungen) und in der mechanischen Stoßabsorption (z. B. Motorradhelme, Stoßfänger, Verpackungstechnik) Anwendung. Hier kommen die besonderen Vorteile dieser geschäumten Materialien wie

- das geringe Gewicht,
- die gute 3D-Formbarkeit,
- die hohen spezifischen mechanischen Eigenschaften,
- die gute thermische Isolation und
- das gute mechanische Dämpfungsvermögen

zum Tragen. Als Ergebnis des Gemeinschaftsforschungsprojekts stehen Technologien zur Verfügung, um die genannten Vorteile der Polymerschäume auf Materialebene mit Eigenschaften von Schäumen aus anderen Materialklassen in einem Werkstoffverbund zu vereinen. So können

mit einer weiterentwickelten Verarbeitungstechnik Polymerschäume um so unterschiedliche Eigenschaften wie die höhere Festigkeit und Energieabsorption von Metallen oder die hohe Temperaturbelastbarkeit und Steifigkeit von Keramiken ergänzt werden, indem sowohl EPS als auch EPP mit keramischen und metallischen Partikelschaumstrukturen verbunden werden.

In ihren Eigenschaften sticht vor allem die hier näher beschriebene Kombination aus metallischen und polymeren Schaumpartikeln hervor. Die beiden können aufgrund ihrer materialspezifischen Steifigkeiten ein sehr unterschiedliches Energieaufnahmevermögen auf zwei ver-

	EPP	APM 7
Hersteller [-]	–	Fraunhofer IFAM
Material [-]	PP	AlSi7
Durchmesser [mm]	~ 3	~ 7
Schüttdichte [kg/m³]	65–75	350–370

Tabelle 2. Diese beiden Materialien wurden mit einem modifizierten Formteilautomaten zu einem Polymer/Metall-Hybrid-schaum verarbeitet

schiedenen Kraftniveaus in einem Bauteil vereinen. Neben klassischen geschäumten PP-Partikeln (EPP) basiert die Materialkombination auf Metallpartikelschäumen, auch Advanced Pore Morphology (APM) genannt (**Bild 2**).

Dosier- und Zuführeinrichtungen für partikuläre Hybridschäume

Um die beiden Materialien miteinander zu verbinden, haben die Projektpartner einen Formteilprozess weiterentwickelt, der derzeit für die industrielle Herstellung von EPP-/EPS-Bauteilen eingesetzt wird. Die besonderen Herausforderungen in der Vereinigung von metallischen und polymeren Schaumpartikeln liegen dabei vor allem in

- der stark unterschiedlichen Dichte und den daraus resultierenden Sedimentationserscheinungen in der Formfüllung,
- deren unterschiedlichem Fließ- und Füllverhalten,
- der Steifigkeit der Metallpartikel (Problem der Brückenbildung),





Bild 4. Der Crashdemonstrator besteht aus partikulärem, mit einer spritzgegossenen Halbkapselung verbundenem EPP-APM-Hybridschaum

- dem Verschleiß der Füllorgane sowie
- in der Oberflächenhaftung der Materialklassen aufeinander (Kunststoff/Metall).

Zentrale Punkte der Entwicklungsarbeit waren die Analyse und Optimierung des Füllverhaltens sowie der Prozessführung bei der Bauteilherstellung auf einem für die Untersuchungen eingesetzten Formteilautomaten (Hersteller: Erlenbach GmbH, Lautert). Die zur Herstellung verwendeten partikulären Schäume (EPP und APM, **Tabelle 2, Bild 3**) werden auf der modifizierten Anlage getrennt in Vorratsilos gespeichert und erst während des Zuführprozesses miteinander vermischt. Ziel der Entwicklung war die Optimierung der Mischart und der Füllprozesse, um partikuläre Hybridschäume reproduzierbar herstellen zu können.

Als zentrales Element wurden dabei neue Dosiereinrichtungen entwickelt, mit denen sich homogene Mischungen mit einem exakt eingestellten Verhältnis zwischen Polymer- und Metallpartikeln erzeugen lassen. Ergänzend wurde der Füllinjektor des pneumatischen Zuführsystems angepasst, um einen prozesssicheren Ablauf selbst mit großen (Durchmesser bis 10 mm), nicht elastischen Aluminiumschaumpartikeln zu ermöglichen.

Im Ergebnis ist der weiterentwickelte Hybridschaumprozess geeignet, eine bestimmte Morphologie sowie definierte mechanische und physikalische Eigenschaften zu erzielen. Das Potenzial des Verfahrens lässt sich mit Crash-Bauteilen veranschaulichen, die aus partikulären, mit einer spritzgegossenen Halbkapselung verbundenen Hybridschäumen bestehen (**Bild 4**).

Optimierte Partikelhaftung

Die Haftung zwischen polymeren und metallischen Schaumpartikeln erfordert besondere Aufmerksamkeit. Neben der Einbindung der Metallpartikel durch das

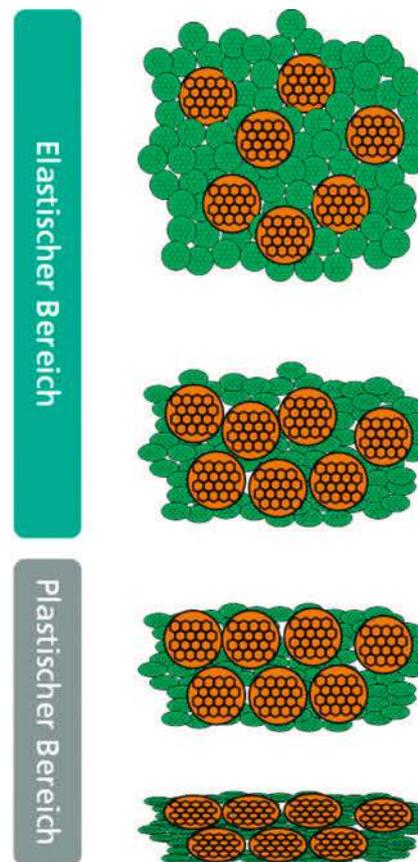


Bild 5. Schematisches zweistufiges Deformationsverhalten partikulärer Hybridschäume. Vereint sind auf Materialebene elastisch flexible Verformbarkeit und plastische Energieabsorption auf hohem Kraftniveau

Umschließen mit Polymerschaum (Formschluss) wurde im Projekt die Grenzflächenhaftung zwischen beiden Materialien optimiert und damit die Fixierung der Metallpartikel im geformten Bauteil gesteigert, was insbesondere bei starken Bauteildeformationen zu einer verbesserten Bauteilintegrität führt.

Hierzu wurde eine neue Prozesstechnik zum Aufbringen polymerer Haftbeschichtungen auf die Aluminiumpartikel entwickelt. Die so aufgetragenen Haftvermittler erlauben eine deutlich leichtere Verarbeitung und vor allem eine bessere Einbindung der funktionalen Metallpartikel.

Simulation von Hybridschäumen

In vielen Endanwendungen, insbesondere im Automobilbau, ist die Vorhersagbarkeit der Bauteileigenschaften mittels Struktursimulation eine wichtige Voraussetzung für die industrielle Einführung neuer Materialien. Dem trugen die Projektbeteiligten Rechnung, indem sie bestehende Tools zur Vorhersage der „effektiven“ makroskopischen Eigenschaften von Schäumen um Vorhersagemodelle für die Berechnung von Hybridschäumen erweiterten. Basierend auf einer homogenisierten Struktur der beteiligten Monomaterialien wird die numerische Bestimmung der makroskopischen mechanischen und physikalischen Eigenschaften über einen weiten Mischungsbereich der beteiligten Materialpartner möglich.

Ein Vergleich der Simulationsergebnisse mit den real erhaltenen Bauteileigenschaften konnte die Güte der Simulation belegen. Die erarbeiteten Tools eignen sich selbstverständlich auch zur Eigenschaftsvorhersage von Mono-Materialschäumen.

Anwendungen in multifunktionalen Crashelementen

Mithilfe des beschriebenen neuen Verarbeitungsverfahrens konnte der Schaumkern eines Crashelements mit einer weitgehend homogenen Mischung aus metallischen und polymeren Schaumpartikeln hergestellt werden (**Bild 4**). An diesem Technologiedemonstrator zeigen sich beispielhaft die Vorteile partikulärer Hybridschäume: Vereint sind auf Materialebene elastisch flexible Verformbarkeit und plastische Energieabsorption auf hohem Kraftniveau (**Bild 5**). Die elastische Deformation der EPP-Partikel fängt da-

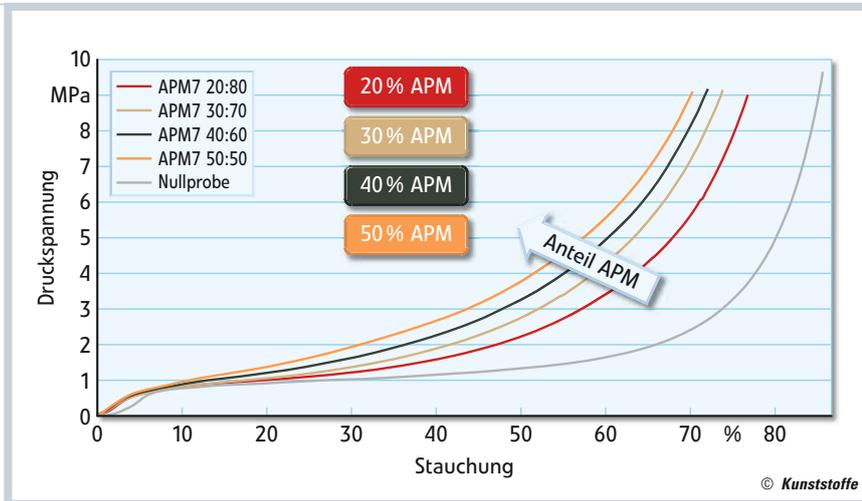


Bild 6. Spannungs-Stauchungs-Diagramm der Hybridschäume unterschiedlicher APM-Gehalte im Druckversuch. Erst wenn der im Volumenanteil des EPP zur Verfügung stehende Deformationsweg weitgehend aufgebraucht ist, steigt das Kraftniveau an

bei z. B. die Kräfte eines leichten Stoßes beim Einparken eines Kfz elastisch und reversibel ab. Die Deformation findet nur im Polymerschäumanteil statt.

Im Falle eines energiereicheren Crashes (Bild 5, untere zwei Lastfälle) kommen die Metallpartikel bei starker Deformation miteinander in Kontakt. Bedingt durch die stützende Funktion der umgebenden Spritzgusschülse können bei dieser Deformation die deutlich steiferen Metallpartikel nicht mehr aneinander abgleiten und nehmen durch ihre Verformung ein hohes Maß an Crashenergie auf. Die dabei auftretende Formänderung ist plastisch und somit irreversibel. Der Polymerschäum spielt in diesem energiereichen Crashfall nur noch eine formgebende Rolle und verhindert, dass das Crashelement nach Wegfall der äußeren Last zerfällt (mittleres gecrashtes Element in Bild 4).

Das Deformationsverhalten des partikulären Metall/Polymer-Hybridschaums ähnelt im Bereich geringer Stauchungen dem eines reinen Polymerschums (Bild 6), in diesem Fall bestehend aus expandiertem Polypropylen (EPP). Erst wenn der im Volumenanteil des EPP zur Verfügung stehende Deformationsweg weitgehend aufgebraucht ist, steigt das Kraftniveau deutlich an. Im Falle einer 50:50-Mischung mit Metallpartikelschaum (APM) erfolgt dieser Übergang bei etwa 40 % Gesamtdeformation, da hier der Polymerschäumanteil bereits zu annähernd 80 % komprimiert ist – jene Deformation, in der eine weitere Kompression des reinen polymeren Anteils bereits sehr hohe Kräfte bedingt und vor allem die Metallpartikel beginnen, sich untereinander zu berühren und damit die zweite Phase der Metallpartikeldeformation beginnt.

Staucht man einen solchen Hybridschaum weiter, so steigt das Kraftniveau stark an. Durch die einsetzende plastische Deformation der Metallpartikel wird in hohem Maße Energie absorbiert. So liegt beispielsweise das Kraftniveau bei 60 % Gesamtdeformation auf dem zirka sechsfachen Niveau des reinen EPP-Schaums. Bei 20 % Deformation liegt das Kraftniveau hingegen nur auf dem 1,4-fachen Niveau, was insbesondere die mehrstufige Energieabsorption der Hybridschäume verdeutlicht.

Fazit

Die hier vorgestellten Hybridschaumvarianten eröffnen völlig neue Anwendungsgebiete. Durch Variation der Materialzusammensetzung lässt sich das Deformationsverhalten in einem weiten Bereich einstellen. Die entwickelten partikulären Polymer/Metall-Hybridschäume bieten somit ein großes Potenzial für eine intelligente mehrstufige Energieaufnahme bei Craschanwendungen. ■

DANK

Der Dank der Autoren gilt der Fraunhofer-Gesellschaft für die Förderung des Projekts.

DIE AUTOREN

FLORIAN RAPP, M.Sc., geb. 1986, ist Teamleiter der Gruppe Schäumtechnologien am Fraunhofer ICT, Pfinztal; florian.rapp@ict.fraunhofer.de

DR.-ING. JAN DIEMERT, geb. 1971, ist stellvertretender Abteilungsleiter des Produktbereichs Polymer-Engineering am Fraunhofer ICT; jan.diemert@ict.fraunhofer.de