

# »» Geschäumte Kunststoffe – Trends und Herausforderungen ««

Anwendungsorientierte Forschung am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT

*Zukunftsthemen der Kunststofftechnologie werden am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT seit 20 Jahren in der Abteilung „Polymer Engineering“ aufgegriffen und in anwendungsnahen Projekten bearbeitet. Die Kunden und Projektpartner fordern dabei einen ganzheitlichen Ansatz, der sowohl die Methoden als auch die Produktion und die Entwicklung der einzelnen Werkstoffe umfasst. Die Projektbegleitung durch das Fraunhofer ICT erfolgt in der Regel von der Idee bis hin zum Prototypen.*

**A**nwendungsnahe Forschung und vorserienreife Produktentwicklungen kennzeichnen die Arbeitsschwerpunkte des Produktbereichs Polymer Engineering am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT in Pfinztal. Durch die Vernetzung in Fraunhofer-Themenverbänden, sowie die Zusammenarbeit mit dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) bietet das Institut den Partnern Forschungsdienstleistungen von der Idee über die Produkt-, Material- und Verfahrensentwicklung bis hin zur Prototypenherstellung an. Die Anbindung und wissenschaftliche Zusammenarbeit mit dem KIT ermöglicht darüber hinaus eine Vertiefung der Grundlagenforschung über den Lehrstuhl für Leichtbautechnologie mit Professor Dr.-Ing. Frank Henning und den Lehrstuhl Polymer-technologie mit Professor Dr.-Ing. Peter Elsner. Darüber hinaus findet eine enge Verknüpfung durch Lehrveranstaltungen mit praktischem Bezug statt.

Die aktuell 110 Mitarbeiter im Produktbereich Polymer-Engineering arbeiten in interdisziplinären Teams an der Entwicklung von polymeren Werkstoffen und Verarbeitungstechnologien:

- **Compounding und Extrusion**  
Materialien & modernste Verarbeitungstechnologie
- **Nanokomposite**  
Funktionalisierte Polymere und deren Charakterisierung

- **Schäumtechnologien**  
Prozesse und Materialien für Partikel- und Extrusionsschäume
- **Thermoplastverarbeitung**  
Injektions- und Pressverfahren, Composite
- **Duromerverarbeitung**  
Prozess- und Materialentwicklung, Tailored SMC
- **Hochleistungsfaserverbunde**  
RTM –Prozesskette, Injektion, Prefoming, Prepregs
- **Mikrowellen und Plasmen**  
Mikrowellentechnologie, Oberflächenmodifikationen
- **Kunststoffprüfung**  
Mechanische und rheologische Analyse, Mikroskopie, DoE

Ausgewählte Schwerpunkte der stark nachgefragten Forschungsarbeiten im Themenfeld „Schäumtechnologien“ werden im Folgenden detaillierter dargestellt.

**Thermoplastische Schaumkunststoffe am Fraunhofer ICT**  
Leistungsfähige Werkstoffe für den Leichtbau und deren ressourceneffiziente Herstellung gehören zu den bedeutenden Entwicklungsfeldern der Kunststofftechnik. Einen erheblichen Beitrag dazu liefern geschäumte Werkstoffe, die heutzutage zunehmend bei Transportverpackungen, zur Wärmedämmung von Gebäuden sowie auch verstärkt im Automobilsektor Anwendung finden.

Die Vorteile von thermoplastischen Schaumkunststoffen liegen im geringen Materialeinsatz, den guten gewichtsspezifischen mechanischen Eigenschaften, sowie der hohen thermischen Isolationswirkung.

Die Gruppe „Schäumtechnologien“ am Fraunhofer ICT befasst sich mit der Entwicklung von geschäumten Materialien mit maßgeschneiderten Eigenschaften für Anwendungen u.a. in der Isolations- und Verpackungstechnik. Dafür wurde umfangreiches Know-how in den Gebieten der Schaumherstellung für Partikel- und Extrusionsschäume im kontinuierlichen Verfahren sowie in der Weiterverarbeitung von Partikelschäumen über das Vorschäumen bis hin zum fertigen Bauteil erarbeitet und durch große Investitionen ein hervorragend ausgestattetes und flexibles Technikum aufgebaut.

Aktuelle Forschungs- und Entwicklungsthemen sind zum Beispiel effiziente Dämmwerkstoffe, Schäume in Strukturanwendungen (verstärkt und unverstärkt), biobasierte Schäume, flammgeschützte Schäume und Hochleistungsschäume.

Durch die am Institut verfügbare, neue Anlagentechnik können komplexe Themen in der Herstellung von Schäumen behandelt und bis hin zu vorseriennahen Anwendungen erprobt werden.

Für die kontinuierliche Herstellung von Extrusionsschäumen steht eine KraussMaffei



Abb. 1 links: Tandem-Schaumextrusionsanlage am Fraunhofer ICT

Abb. 2 unten: Verarbeitungskette von Partikelschäumen am Fraunhofer ICT



Berstorff Schaumtandemanlage ZE 30 / KE 60 mit einem Durchsatzbereich von 30 – 60 kg/h mit verschiedenen Düsengeometrien für Platten und Folien zur Verfügung (siehe Abbildung 1).

Für Partikelschäume ist die gesamte Verarbeitungskette von der Herstellung der geschäumten Partikel (sog. Beads) über die Weiterverarbeitung bis hin zum Formteilprozess etabliert (siehe Abbildung 2). Die Extrusion der Beads erfolgt mit einem kontinuierlich arbeitenden Doppelschneckenextruder der Firma Leistritz und einer angeschlossenen Unterwassergranulierung der Firma Gala.

Zwei Beispiele aktueller Forschungsthemen im Bereich der geschäumten Kunststoffe am Fraunhofer ICT werden im Folgenden detaillierter vorgestellt:

### 1) Mikrozelluläre Polymerschäume

Der Gebäudesektor in Deutschland ist für einen Großteil des Energieverbrauchs verantwortlich. Vor allem das Heizen von schlecht gedämmten Gebäuden benötigt viel Energie und verursacht dadurch bedingt auch hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die in Deutschland und Europa gesteckten, hohen Ziele zur Verringerung des Energieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen lassen sich z.B. durch eine energetische Sanierung des Gebäudebestands beziehungsweise der Anbringung neuer Hochleistungsdämmmaterialien bei Neubauten erreichen. Dafür sind kostengünstige und hochisolierende Dämmstoffe notwendig, die die Eigenschaften von aktuell genutzten Dämmstoffen übertreffen.

Thermoplastische Schäume wie zum Beispiel extrudiertes oder expandierbares Polystyrol (XPS/EPS) eignen sich hervorragend zum Dämmen von Gebäuden. Allerdings sind auch diese Materialien zumindest hinsichtlich ihrer Wärmeleitfähigkeit limitiert. Neue Materialien

und Systeme wie Aerogele oder Vakuumisoliationspaneele (VIP) weisen eine deutlich geringere Wärmeleitfähigkeit auf, besitzen aber andere gravierende Nachteile wie z.B. hohe Kosten, geringe Stabilität und Anfälligkeit gegenüber Beschädigungen, sodass ein flächendeckender Einsatz in der Baubranche bisher nicht erfolgt ist.

Im Rahmen des von der europäischen Kommission geförderten Gemeinschaftsprojektes „FoAM-BUILD“ (EU Grant Agreement No: 609200) werden Prozess- sowie Materialeinflüsse auf die Zellstruktur (Zellgröße, Zelldichte), die Schaumdichte und damit auf die Wärmeleitfähigkeit und mechanischen Eigenschaften von polystyrolbasierten Partikelschäumen untersucht. Dabei besteht das Ziel darin, mikro- und nanozelluläre Schäume zu entwickeln um deren Wärmeleitfähigkeit drastisch zu senken. Dies wird durch den dadurch entstehenden, sogenannten Knudsen-Effekt bewirkt. Die Wärmeleitfähigkeit eines geschäumten Materials verringert sich beträchtlich, sobald die Zellgröße kleiner der mittleren freien Weglänge des darin enthaltenen Gases ist. Bei Luft beträgt die mittlere, freie Weglänge etwa 70 nm. Allerdings lassen sich auch schon bei Zellgrößen von kleiner 1 µm deutliche Veränderungen der Wärmeleitfähigkeit feststellen.

Die Nukleierung der Schaumzellen spielt bei der Herstellung von mikro- und nanozellulären Schäumen eine große Rolle. Dazu ist es wichtig innerhalb kurzer Zeit sehr viele, fein verteilte Nukleierungspunkte zu schaffen.

### Erzeugung von mikrozellulären Schäumen durch heterogene Nukleierung

Das physikalische Schäumen von Polymeren, wobei Treibmittel (z.B. CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> oder Pentan) dem Polymer zugefügt werden, ist eine der am meisten genutzten Methoden zur Erzeugung von thermoplastischen Schäumen mit

geringer Dichte. Dabei wird zum Beispiel im Extruder unter Druck ein flüssiges Polymer-Treibmittelgemisch erzeugt. Erfährt dieses Gemisch einen Druckabfall an der Düse des Extruders bilden sich durch die eintretende Übersättigung des Gases Nukleierungskeime. Additive (wie z.B. feinpulverige Nukleierungsmittel) oder Fremdkörper im Polymer können dabei zusammen mit dem beigesetzten Treibmittel bei Druckabfall die heterogene Nukleierung auslösen. Es bilden sich Gasblasen an der Grenzfläche zwischen Polymer und Nukleierungsmittel. Die entstehenden Gasblasen werden durch die Diffusion des sich in der Schmelze befindlichen Treibmittels gespeist, wodurch sie weiter anwachsen. Um einen möglichst feinzelligen und gleichzeitig leichten Schaum zu erzeugen, ist es essentiell sehr viele einzelne, verteilte Nukleierungspunkte zu schaffen. Dies kann durch eine große Anzahl an kleinen und fein dispergierten Partikeln im Matrixpolymer erzielt werden. Solche Fremdkörper können z.B. mikro- oder nanoskalige Pulver wie Talk sein, welche u.a. im Compoundierprozess in die Polymermatrix dispergiert wurden. Danach wurden die Compounds in einem Extrusionsprozess mit anschließender Unterwassergranulierung (siehe Abbildung 3) mit dem Treibmittel beladen und zu kompakten Granulaten verarbeitet. Die anschließende Vorschäumung des Granulates zu Schaumbeads erfolgte mit Hilfe von



Abb. 3: Partikelschaumanlage mit anschließender Unterwassergranulierung

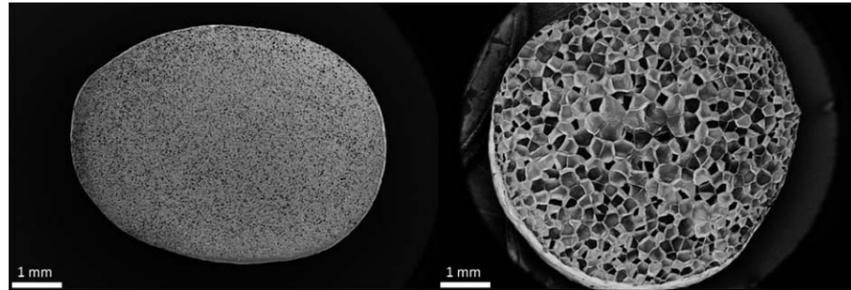


Abb. 4: Zellstruktur zweier Schaumbeads mit vergleichbarer Dichte

Wasserdampf. In einem letzten Schritt wurden diese Schaumbeads, durch das Sintern in Blockformen in eine dreidimensionale Form gebracht.

Die Dichte sowie die Morphologie der Schaumbeads hinsichtlich der Zellgrößen/-verteilung wurden nach dem Vorschäumen analysiert. Es zeigte sich, dass durch die Parametervariationen, die Wahl verschiedener Treibmittelkonzentrationen, Nukleierungsmitteltypen und -konzentrationen ein großer Bereich an verschiedenen Zellgrößen (26–500 µm) und Schaumdichten (20–300 kg/m<sup>3</sup>) erzielt werden kann. Die geringste aktuelle Zellgröße wurde mit 26 µm bei einer Schaumdichte von unter 25 kg/m<sup>3</sup> erreicht (siehe Abbildung 4 links). Des Weiteren konnten die Schäume hinsichtlich ihrer Druckfestigkeit sowie Ihrer Wärmeleitfähigkeit variabel in Abhängigkeit ihrer Dichte eingestellt werden. Somit ist es möglich das Eigenschaftsprofil der Partikelschäume gezielt maßzuschneidern.

## 2) Biobasierte Polymerschäume

Biopolymere gewinnen zunehmend an Bedeutung und bieten nicht zuletzt ökologisch und ökonomisch interessante Vorteile gegenüber den konventionellen, erdölbasierten Kunststoffen. Die nachwachsenden Rohstoffe sind weitgehend CO<sub>2</sub>-neutral und knappe Ressourcen wie fossile Rohstoffe werden geschont.

Im Bereich biobasierter Schäume sollen geschäumte Werkstoffe mit Eigenschaften hergestellt werden, die vergleichbar zu konventionellen petrobasierten Kunststoffschäumen wie expandierbarem Polystyrol (EPS, auch unter dem Handelsnamen Styropor bekannt) sind. Diese neuartigen Werkstoffe sollen als Ersatz in zahlreichen Anwendungen wie zum Beispiel

der thermischen Isolation oder im Verpackungs- und Baubereich entwickelt werden.

Um als Werkstoff für diese Anwendung einsetzbar zu sein, muss das Eigenschaftsprofil der hergestellten Materialien angepasst und optimiert werden. Am Fraunhofer ICT wird an Werkstoffen und Prozessen zur Erreichung von niedrigen Raumgewichten, hohen mechanischen Eigenschaften, hoher Isolationswirkung und gutem Flammenschutz mit Biopolymeren geforscht. Derzeit werden Biopolymere auf Basis von Celluloseestern, Polymilchsäure und thermoplastischer Stärke untersucht, wobei im Folgenden vor allem Ergebnisse der Untersuchungen mit den cellulosebasierten Polymeren Celluloseacetobutyrat CAB und Cellulosepropionat CP näher erläutert werden.

In umfangreichen – teils geförderten Projekten – wurden passende Matrixpolymere ausgewählt. Dazu wurden zunächst die Basis-Polymere und abgeleitete Compounds hinsichtlich Ihrer grundlegenden Schäumbarkeit analysiert. Hierzu kommen Verfahren zum Einsatz, die eine direkte und indirekte Aussage u.a. über die Dehnviskosität erlauben, die für das spätere Schäumverhalten eine wichtige Rolle spielt. Die untersuchten Biopolymere unterscheiden sich dabei in Ihrem Aufbau sowie in den enthaltenen Additiven und Füllstoffen deutlich voneinander, was unmittelbare Konsequenzen für die Prozessführung hat.

Im Anschluss an die Materialauswahl wurden die Biopolymere in Expansionsprozessen wie dem Partikelschäumen oder dem kontinuierlichen Extrusionsschäumen weiterverarbeitet und dabei die Haupteinflussgrößen auf den Schäumprozess gezielt variiert. Zu diesen zählen die Menge und Art des eingesetzten



Abb. 5: Partikelschäume aus cellulosebasierten Biopolymeren

Treibmittels, die Temperaturführung im Extruder sowie ggfs. die Parameter des Unterwassergranulierprozesses. Mit den genannten Materialien konnten sowohl extrudierte Halbzeuge in Plattenform als auch Bauteile aus versinterten Partikelschäumen erfolgreich hergestellt werden.

In den Untersuchungen der Prozessroute „Partikelschaum“ zeigte sich, dass es möglich ist die bisher etablierte Herstellungsrouten und Prozesstechnik für EPS auf die Herstellung von Schäumen aus Biopolymeren zu übertragen. Die hergestellten Schäume, die in Abbildung 5 gezeigt werden, lassen sich optisch nur schwer von konventionellen EPS-Schäumen unterscheiden.

Bei der Herstellung wurden gezielt verschiedene Dichtebereiche untersucht, sodass Schäume mit niedriger ( $\rho < 40 \text{ kg/m}^3$ ) und mittlerer Dichte (ca.  $\rho = 80 \text{ kg/m}^3$ ) für spezielle Anwendungszwecke verfügbar sind.

Die erzielten Bauteile wurden anschließend auf ihre charakteristischen Eigenschaften untersucht. Eine wichtige Eigenschaft von Schäumen ist das Verhalten unter mechanischer, quasistatischer Druckbeanspruchung. Diese wurde anhand eines Druckversuchs untersucht (siehe Abbildung 6). Es zeigt sich, dass Schäu-

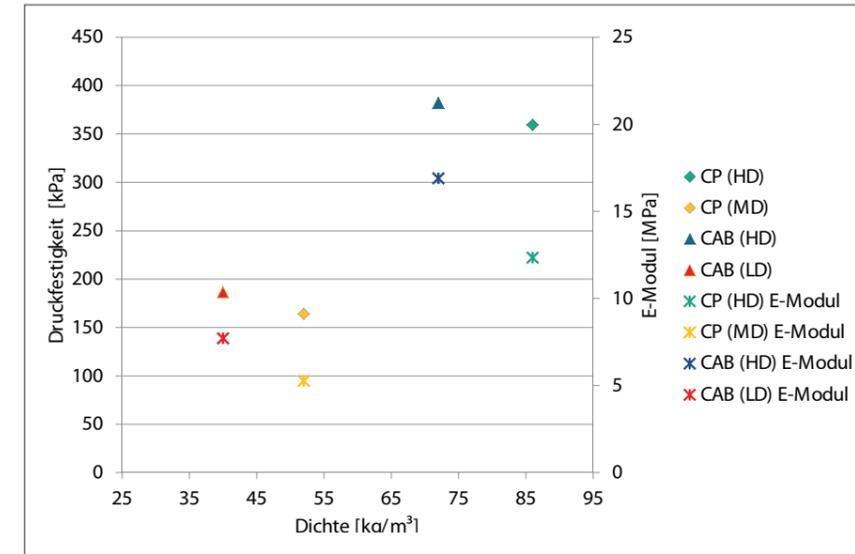


Abb. 6: Druckfestigkeit und E-Modul von Biopolymerschäumen unterschiedlicher Dichte

me aus CAB grundsätzlich höhere Werte in der Druckfestigkeit und dem E-Modul aufweisen als CP Schäume. Es wird ebenfalls deutlich, dass die Werte wie erwartet stark von der Dichte der Materialien abhängig sind. Die erzielten CAB- und CP-Schäume liegen bereits über dem Niveau vergleichbarer konventioneller Polypropylen-Partikelschäume ( $\sigma = 0,17 \text{ MPa}$ ,  $E = 3,7 \text{ MPa}$ , bei  $\rho = 45 \text{ kg/m}^3$ ).

Ein weiterer wichtiger Kennwert für Schäume, besonders in Isolationsanwendungen, ist die Wärmeleitfähigkeit. Sie beschreibt die Fähigkeit eines Materials Energie in Form von

Wärme durch den Stoff hindurchzutransportieren. Für eine gute thermische Isolation wird ein möglichst niedriger Wert angestrebt. Die mittels eines Plattenmessgeräts ermittelte Wärmeleitfähigkeit der Biopolymerschäume (siehe Abbildung 7) liegt unter  $\lambda = 0,04 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ . Es zeigt sich, dass ein CP Schaum mit einer Dichte von  $\rho = 48 \text{ kg/m}^3$  eine Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda = 0,036 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  besitzt und damit schon nahe an die Wärmeleitfähigkeiten von aktuellen und guten EPS-Schäumen gelangt. CAB-Schäume mit einer Dichte von  $\rho = 39 \text{ kg/m}^3$  erreichen einen Wert von  $\lambda = 0,037 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

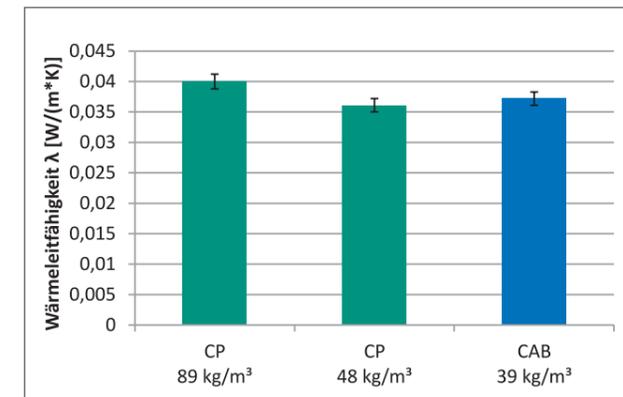


Abb. 7: Wärmeleitfähigkeit ausgewählter Biopolymerschäume

In den bisherigen Untersuchungen konnten Schäume aus Biopolymeren erfolgreich hergestellt werden. Diese besitzen durch gezielte Modifikationen bereits Eigenschaftsprofile, die mit petrobasierten Schäumen vergleichbar sind. Zukünftige Entwicklungen der Materialien und Prozesse zielen vor allem darauf ab die Eigenschaften der Schäume für den jeweiligen Einsatzzweck zu modifizieren. Hierbei spielt unter anderem der Flammenschutz eine wichtige Rolle.

Autoren:

Florian Rapp, Christoph Mack, Peter Elsner

### Danksagung

Wir danken dem BMBF, der FNR, der Fraunhofer Gesellschaft und der EU-Kommission für die Förderung der oben beschriebenen Arbeiten.

### KONTAKT:

Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT

Prof. Dr.-Ing. Peter Elsner

Joseph-von-Fraunhoferstraße 7, 76327 Pfinztal-Berghausen

Tel.: +49 (0)721 4640-0, www.ict.fraunhofer.de