

Recycling und nachhaltige Herstellung von Polyurethan

## PUR in der Kreislaufwirtschaft

Die vernetzte PUR-Polymerstruktur wird beim Recycling zur Herausforderung. Ein neu verfolgter Ansatz der Polyurethanindustrie ist es, Kreisläufe der Natur nachzuahmen und das PUR „chemisch zu verdauen“.

Daneben arbeitet die Branche stark an der Nutzung von CO<sub>2</sub> für die PUR-Herstellung. Für die Umsetzung in die Praxis haben die Forscher drei mögliche Wege ermittelt.



Covestro-Forscher Sebastian Scherf im Labor für das chemische Recycling von Polyurethan-Weichschaum. © Covestro/Marcus Müller Saran

**S**chaumstoffe aus Polyurethan (PUR) sind geschäumte Elastomere, bei denen Einzelbausteine (Monomere) gleichzeitig mit dem Schäumen verbunden werden. Bei thermoplastischen Schaumstoffen werden erst Makromoleküle aufgebaut und danach aufgeschäumt. Wie die Chemie unterscheiden sich die Wege zur Kreislaufwirtschaft.

PUR-Schaumstoff wird heute auf Erdölbasis hergestellt. Zucker und Pflanzenöle werden seit Jahrzehnten in geringen Mengen eingesetzt. Die Hersteller arbeiten an Alternativen. Es verdichtet sich der Eindruck, dass die Projekte umso schneller vorankommen, je weniger Verarbeiter und Nutzer sich anpassen müssen.

### *Langlebigkeit als Ziel und Herausforderung*

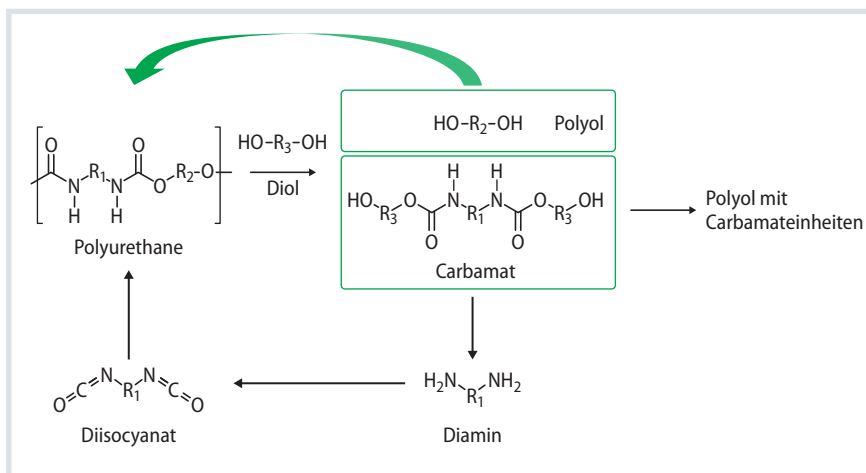
Die EU-Abfallhierarchie sieht eine möglichst lange Lebensdauer als oberste Priorität: Nichts soll wegen Materialversagens entsorgt werden. Erst nach der Vermeidung und Wiederverwendung von Produkten folgt das Recycling. Bei

Einweg-Verpackungen, die ca. 30% aller Kunststoffe ausmachen, wird Langlebigkeit immer mehr als Problem empfunden. PUR wird zwar in Anwendungen eingesetzt, die viele Jahre genutzt werden – aber auch am Ende der Nutzungsdauer von Auto, Matratze oder Kühlschrank ist das Polyurethan intakt. Die Vorteile der vernetzten PUR-Polymerstruktur für die Gebrauchseigenschaften werden beim Recycling zunächst zur Herausforderung: Man kann PUR-Schaumstoffe noch nicht einfach einschmelzen, reinigen und neu verarbeiten. Mechanisches Recycling von PUR beschränkt sich noch auf Zerkleinern und Verkleben, als Flockenverbund oder als Funktionswerkstoff wie zum Beispiel Purenit.

**PUR-Stoffkreisläufe: Chemische Aufspaltung und Wiederaufbau**

Die spezielle Chemie macht Polyurethane geeignet für „biomimetische“ Kreisläufe, ähnlich den Kreisläufen in der Natur: Wenn dort Makromoleküle wie Eiweiße verdaut werden, werden sie zu kleinen Molekülen. Von da an beginnt der Wiederaufbau. Das will die Polyurethanindustrie nachahmen. Sie verfolgt parallel mehrere Wege zur chemischen „Verdauung“ von PUR.

Seit 50 Jahren nutzt man in Polyurethanen die chemische Aufspaltung von PET-Flaschen in chemische Bruchstücke von 1 bis 5 Monomeren (Terol, Hoopol, Neopol), die mit Isocyanat zu Dämmstoffen aufgeschäumt werden. Analog werden Repol Polyole durch „chemisches Zerkleinern“ von Polyurethan-Polymeren hergestellt und mit Isocyanat zu



**Bild 1.** Zwei mögliche Wege für die Polyether-Rückgewinnung bei Weichschaum.

Quelle: Covestro; Grafik: © Hanser

Schaumstoffen vernetzt. In Dänemark wird im RePURpose-Projekt ein ähnliches Konzept verfolgt. Polyole auf Basis von chemisch „verdautem“ PET oder PUR sind verfügbar, aber mit Anpassungsaufwand bei der Verarbeitung verbunden.

Die Aufspaltung von Weichschaumstoffen zur Rückgewinnung des Original-Polyethers war vor 25 Jahren Teil des ICI-Waterlilly-Konzepts. Seit 2021 ist dies als Renuva-Polyol realisiert, erneut nur für die Herstellung von re-Polyolen. Die Chemie wurde von H&S mit Förderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt entwickelt. Auch hier sind Anpassungen im Markt notwendig, weil der Isocyanat-Anteil nicht zurückgewonnen, sondern zur Polyolkomponente in PUR-Dämmstoffen werden soll.

Um den Anpassungsbedarf kleiner zu halten, wurden von Recticel beziehungsweise Covestro mit vielen Partnern die EU-Projekte PURESmart (PUR-Weich-

schaumstoffe) und Circular Foam (PUR-Dämmstoffe) gestartet. Neben der Polyether-Rückgewinnung sollen auch die Isocyanat-Anteile zu den Aminen reagieren, aus denen sie hergestellt werden: auch diese werden wieder Teil des Kreislaufs. Im Fall von Weichschaum wurde das für TDA als Vorstufe zum Isocyanat TDI schon in kleinem Maßstab realisiert.

**Bild 1** zeigt zwei der möglichen Wege.

Warum glaubt die Industrie, dass die Chemolyse von PUR-Schaumstoffen in den 2020er Jahren eine bessere Chance hat als in den 1990er Jahren? Die Gründe liegen nicht in der Chemie. Es sind vielmehr

- eine Recyclingindustrie, die in chemierelevanten Volumina die Rückwärtslogistik nachvollziehbar entwickelt,
- extrem schnelle Sensoren, die auf Förderbändern Kunststoffe nach ihrer Chemie sortieren können, »



Das Portal der Kunststoffindustrie!





## Polymerschäume — Perspektiven und Trends

Zur Beurteilung wie auch zur Herstellung und Verarbeitung von Polymerschäumen gehört ein Grundverständnis bezüglich der vielfältigen Einflussparameter auf die Eigenschaften. Diese werden vom Raumgewicht, der Polymermatrix und der Schaumorphologie bestimmt. Bei der Auswahl für eine praktische Anwendung sind neben dem Preis das Wärmeisolationsvermögen, die Schallabsorption oder das Brandverhalten entscheidend. Die Vielzahl der am Markt befindlichen Schäume macht die richtige Wahl vielfach schwierig.

### SKZ-Tagung Polymerschäume 28.-29. April 2022

Die SKZ-Tagung „Polymerschäume – Perspektiven und Trends“ gibt daher einen breiten Überblick hinsichtlich moderner Entwicklungen und aktueller Anwendungen auf dem Schaumsektor. Dabei werden zunächst Grundlagen zur Physik der Schaumherstellung und zur Rheologie des Schäumens vorgestellt. Die Fachtagung richtet sich an Fachleute der verarbeitenden



den Industrie ebenso wie an industrielle Anwender. Ihnen bietet sich die Möglichkeit, sich in den Bereichen der Planung, Prozessentwicklung, Forschung und Entwicklung, Produktion, Anwendungstechnik und Kundenbetreuung einen breiten Überblick über Grundlagen und moderne Entwicklungen im Schaumstoffbereich zu verschaffen.

Die Veranstaltung findet in Präsenz unter Einhaltung der aktuellen Corona-Regeln statt (voraussichtlich 2G-Plus).

[www.skz.de/bildung/tagung/polymerschaeume](http://www.skz.de/bildung/tagung/polymerschaeume)

- die Akzeptanz dafür, dass Kunden beim Kauf von Produkten für deren Recycling bezahlen, zum Beispiel für Möbel und Matratzen über das französische ecomobilier-System,

- und ein regulatorisches Umfeld, das Planbarkeit und Richtung in diese notwendige Entwicklung aufzeigt. Aufgrund der Risiken in diesen Projekten wird auch in Projekte investiert, die CO<sub>2</sub> aus der thermischen Verwertung von PUR in den Kreislauf zurückführen. Diesen Kreislauf nutzt die Natur ebenfalls und baut aus CO<sub>2</sub> mit Energie von der Sonne wieder ihre Polymere auf.

### Kreislaufführung von CO<sub>2</sub> und Biomasse

Die Natur kann CO<sub>2</sub> recyceln. Was liegt näher, als das zu nutzen? Drei Wege werden dabei von der PUR-Industrie verfolgt, wobei hier nicht von „Recycling“, sondern von CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -verwendung – bekannt unter dem Begriff „Carbon Capture and Utilization (CCU)“ – gesprochen wird, weil CO<sub>2</sub> ein Abgas und kein Abfall ist:

- Der erste ist, Moleküle aus der Natur für die PUR-Chemie passend zu modifizieren. Beispiele sind Rizinus-basierte Polyether (Lupranat balance) oder Trimere des Pentamethylenisocyanats (Desmodur eco N7300). Der Nachweis des biogenen Anteils ist im Produkt mit Aufwand direkt messbar. Neue Molekü-

le führen aber zu Anpassungsaufwand an vielen Stellen im Markt.

- Der zweite Weg ist der Massenbilanzansatz. Er kopiert das Konzept des „grünen Stroms“: Rohstoffe, zum Beispiel Benzol oder Toluol aus der Pyrolyse von Abfall-Biomasse, werden im Gemisch mit den gleichen Molekülen auf fossiler Basis in die Synthesen eingesetzt. Den Kunden wird nach Wunsch die Quelle rechnerisch in einem extern zertifizierten Verfahren wie ISCC-Plus zugeordnet. Da es sich hierbei um eine rechnerische Allokation handelt, ist der ursprünglich eingesetzte biogene Anteil im Endprodukt nicht zwangsläufig messbar. Dieser Weg ist etabliert und erfordert keine technischen Anpassungen bei Verarbeitern.
- Der dritte Weg ist, Mikroorganismen zu steuern, dass sie die Substanzen herstellen, die heute fossil-basiert sind. Covestro arbeitet mit dem Forschungszentrum Jülich an der Biologie, die Anilin für das Isocyanat MDI herstellt, und mit der Firma Genomatica an Hexamethyldiamin für die Produktion des Isocyanats HDI. Im Erfolgsfall werden die Verarbeiter keinen Unterschied bemerken. Auch solche Produkte könnten in Zukunft mit dem Massenbilanzansatz auf dem Markt gebracht werden.

### Nicht nur die Natur kann Chemie mit CO<sub>2</sub>

Die PUR-Industrie hat erste Produkte im Markt, in denen CO<sub>2</sub> enthalten ist, wie zum Beispiel die Polycarbonatpolyole von Covestro, die unter anderem zu Matratzen verarbeitet werden. Aufgrund der Viskosität steigt der Anpassungsaufwand der Verarbeiter mit dem CO<sub>2</sub>-Gehalt im Polyol.

Forschung & Entwicklung für PUR-Kreisläufe ist heute sehr technologieoffen angelegt. Die Chemie ist nur ein Teil dieser Projekte. Es gilt vor allem zu verstehen, wo und wie Veränderungen in der Verarbeitung nötig und möglich sind – und wie die Schaumstoffe möglichst einfach und sortenrein vom Konsumenten zurückfinden können in die Chemie. Aus dem Feedback der PUR-Verarbeiter, der Entsorgungsbranche und der Konsumenten wird sich ergeben, welche Wege zum Ziel führen. ■

## Info

### AutorInnen

Beide AutorInnen sind bei der Covestro AG beschäftigt:

**Dr. Rolf Albach** als Science Fellow, Fundamentals,

**Catherine Lövenich** im Bereich Global Innovation, Circular Economy Platform.

[www.covestro.com](http://www.covestro.com)

### Digitalversion

Ein PDF des Artikels finden Sie unter

[www.kunststoffe.de/onlinearchiv](http://www.kunststoffe.de/onlinearchiv)