

Devulkanisation von Abfällen aus EPDM (Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk)

# Gummi-Recycling von Waschmaschinen-Dichtungen

EPDM-Abfälle fallen als vernetzte Elastomere in der Produktion an. Sie sind hoch dehnbar und chemikalienbeständig, aber nicht wieder aufschmelzbar. Daher muss vor einer Wiederverwendung die Vernetzung gelöst werden. Das Fraunhofer ICT hat hierzu die Potenziale der ultraschallintensivierten Extrusion analysiert. Die recycelten Elastomere dienen als Füllstoff in der Neuproduktion von Dichtungen im Automobilbereich und bei Waschmaschinen.



Abfälle, die bei der Produktion von Waschmaschinendichtungen anfallen, können recycelt werden.

© Adobe Africa Studio – stock.adobe.com

In Deutschland wird Gummi auf verschiedene Arten recycelt. Die gängigsten Methoden sind das mechanische und das chemische Recycling, zu dem die Pyrolyse zählt. Im mechanischen Recycling werden die Gummiabfälle zuerst zerkleinert und anschließend gemahlen. Die Gummistücke werden so weit in kleine Stücke oder Gummigranulat zerlegt, bis diese dann als Granulat für die Herstellung neuer Gummiprodukte

verwendet werden können (**Bild 1**). Im Gegensatz dazu werden im Rahmen des chemischen Recyclings die anfallenden Gummiabfälle in ihre ursprünglichen Bestandteile aufgelöst. Diese Bestandteile können dann als Rohstoffe für die Herstellung neuer Produkte verwendet werden. In der Pyrolyse werden die Gummiabfälle in einem geschlossenen System bei hohen Temperaturen erhitzt, um sie in Öl, Gas und Kohlenstoff zu zerlegen.

Das gewonnene Öl und Gas kann als Brennstoff verwendet werden, während der Kohlenstoff als Rohstoff für neue Gummiprodukte genutzt werden kann.

Die meisten Gummiabfälle werden in Deutschland mechanisch recycelt, da dies den einfachsten und kostengünstigsten Weg darstellt. Die damit zurückgewonnenen Elastomere erfüllen jedoch in der Regel nur die Funktion von Füllstoffen, wodurch ihr maximal in Neuware



**Bild 1.** Stützchnüre aus Produktionsabfällen (links) und zerleinerte Angüsse von Waschmaschinenichtungen werden der Produktion von Neuware als Füllstoffe wieder zugeführt.

© Fraunhofer ICT

integrierbarer Anteil aufgrund der sich zunehmend verschlechternden Eigenschaften begrenzt ist. Wünschenswert wären devulkanisierte Gummi-Rezyklate, die nach entsprechender Aufbereitung wieder neu vernetzbar sind und ohne Eigenschaftsverlust auch in größeren Mengen in Neuware hinzugegeben werden können.

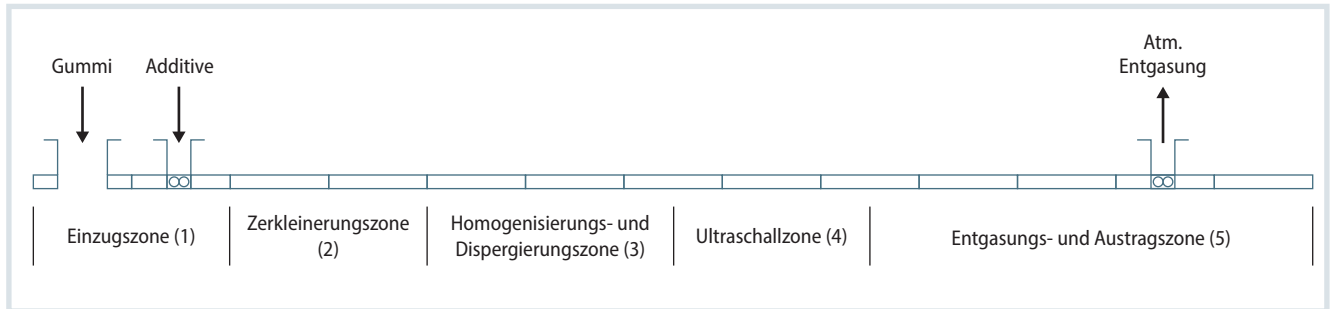
### *Re-use: Wie aus vernetzten Gummiabfällen neue Dichtungen werden*

Zur Aufbereitung der vulkanisierten EPDM Abfälle wurde im Projekt Re-use ein Doppelschneckenextrusionsprozess für die kontinuierliche Devulkanisation der Sekundärmaterialien entwickelt. Im Rahmen der Versuche wurde ein Extruder mit einem Schnekendurchmesser von 27 mm und einer Prozesslänge von 52D eingesetzt. Die verwendeten EPDM-Produktionsabfälle stammten aus der Extrusion von Dichtungsprofilen für die Automobilindustrie und von spritzgegossene Angüssen von Dichtungen für Waschmaschinen.

Das übergeordnete Projektziel war die gezielte Devulkanisation der vernetzten Gummiabfälle sowie Untersuchungen zu deren Wiedereinsatzfähigkeit als Füllstoff oder revulkanisierbare Gummirezyklate in Neuware. Hierzu wurden zuerst die EPDM-Abfälle zur Sicherstellung einer robusten Dosierung zu Granulaten zerleinert und anschließend umfangreiche Dosiertests durchgeführt. Im nächsten Schritt erfolgte die Dosierung der Granulate in den Extruder über gravimetrische Dosiereinrichtungen. Zur Förderung der Granulate innerhalb

des Extruders in die einzelnen Prozesszonen wurde eine optimierte Schnecke für die Depolymerisation entwickelt, wie in **Bild 2** zu sehen ist. Neben der Einzugszone (1) für EPDM-Granulat und Additive besteht die Verfahrenszone des Extruders aus den folgenden vier weiteren Prozesszonen: Zerkleinerungszone (2), Homogenisierungs-/Dispergierungszone der Additive (3), Ultraschallzone (4) und Entgasungs- und Austragszone (5).

In der Zerkleinerungszone werden die eingezogenen Granulate und Additive, wie zum Beispiel Devulkanisationshilfsmittel und Rückvernetzungsverhinderer zerleinert. Somit wird die Oberfläche für die nachfolgende Behandlung vergrößert und in der Homogenierungs- und Distributionszone schließlich optimal verteilt. Das Herzstück des Prozesses ist die Ultraschallzone, in welcher die Behandlung mit Ultraschall erfolgt. In der Ultraschallzone wird das Material intensiv durch Scherung und Ultraschallenergie belastet. In dieser Zone findet die Spaltung der vernetzten Struktur statt was zu einer deutlich reduzierten Materialviskosität führt. Je nach genutzten Prozessbedingungen im Sinne von Temperatur, Durchsatz, Druck und eingetragener Ultraschallenergie konnten dabei verschiedene Devulkanisationsgrade und damit Materialeigenschaften realisiert werden. Ferner resultierte durch den Prozess ein (teilweise) devulkanisiertes Produkt, in welchem durch das Aufbrechen der Bindungen reaktive Stellen wie Doppelbindungen oder Radikale identifiziert werden konnten. Die in den Prozess eingebrachten »



**Bild 2.** Extruder mit Prozesszonen. Quelle: Fraunhofer ICT, Grafik: © Hanser

Additive verhindern eine unerwünschte Wiedervernetzung im Extruder. Zuletzt folgt die Entgasungs- und Auftragszone, in welcher die volatilen Bestandteile entfernt und das devulkanisierte EPDM-Material ausgetragen wird.

Die maximal erzielbare Durchsatzleistung für die verwendete Konfiguration zur Devulkanisation liegt bei 5 kg/h. Eine Steigerung der Durchsatzleistung ist nicht möglich, da eine Erhöhung der Durchsatzleistung die Verweilzeit signifikant reduziert und somit die Behandlungsdauer für eine Devulkanisation nicht ausreicht. Die Messung des Vernetzungsgrads (Cross-Linking-Density = CLD-Wert) erfolgte durch die Quellmethode und die Berechnung nach Flory-Rehner. Die Eignung der devulkanisierten Materialienproben zur Verwendung als inaktiver/aktiver Bestandteil wurde wiederum in den Fallstudien Waschmaschinendichtungen und extrudierte

Dichtungen für die Automobilindustrie als Beimischung in Neuware für unterschiedliche EPDM-Rezyklatanteile untersucht und evaluiert.

### **Erzielte Ergebnisse und Ausblick**

Die Ergebnisse des Re-use-Projekts zeigen eindrucksvoll, dass schwefelvernetzte EPDM-Materialien im gleichläufigen Doppelschneckenextruder erfolgreich devulkanisiert werden können. Die Verwendung von Ultraschall zeigt teilweise keine signifikante messtechnische Verbesserung der Devulkanisation auf Basis der CLD-Werte. Sowohl für die mit Ultraschall behandelten als auch die ausschließlich mechanisch behandelten Komponenten konnte eine Reduktion des CLD-Wertes um über 90 % ermittelt werden. Allerdings weisen die Fallstudien einen positiven Einfluss bei Verwendung von Ultraschall nach, da bei beiden Anwendungen ein höherer Anteil des ultraschallbehandelten devulkanisierten Materials in Produktionsmischungen integrierbar ist und damit ein höherer Rezyklatanteil erzielt werden kann. Das devulkanisierte Material konnte sowohl als inerter Füllstoff als auch in revulkanisierter Form eingesetzt werden, wobei der Anteil bei Revulkanisierung aufgrund der besseren Einbindung höher liegt. Beide Varianten erweitern die Integrierbarkeit von Rezyklaten in Rohmischungen jedoch deutlich, woraus ein Einsparpotenzial von Rohgummi und Füllstoffen resultiert.

### **Anteil der Rezyklate: 5 % im Automobil, bis zu 25 % bei Waschmaschinen**

Erste Fallstudien mit den devulkanisierten Materialien wurden unter realen Produktionsbedingungen bei einem Industriepartner für die Herstellung von Dichtungssystemen für Automobile

sowie einem Industriepartner für die Herstellung von Waschmaschinendichtung durchgeführt. Bei der Herstellung der Dichtungssysteme für das Automobil konnte in den Fallstudien gezeigt werden, dass der devulkanisierte Füllstoff unter realen Produktionsbedingungen mit 5 % Anteil in eine Gummimischung eingemischt und nachfolgend zu einem Profil extrudiert werden konnte. Dieses Profil erfüllte alle mechanischen Anforderungen, wie beispielsweise an Härte, Dichte und Zugfestigkeit. Die analytischen Untersuchungen ergaben keine signifikanten Änderungen des Fingerprints der EPDM-Mischung, was ein Einmischen in bestehende Materialrezepte ermöglichte. Allein die erzielten Kennwerte für das Fogging konnten nicht erreicht werden und sind durch eine Anpassung der Materialrezeptur zu realisieren. Bei der Herstellung der Waschmaschinendichtung hat sich gezeigt, dass 15 bis 25 % der Gummimischungen durch das devulkanisierte Material ersetzt werden können. Auch konnten in dieser Fallstudie alle mechanischen Werte und Alterungstests auf Produktionsniveau erfüllt werden. Lediglich die Ergebnisse der Lebensdauerprüfung wiesen geringfügig reduzierte Kennwerte auf.

Zusammenfassend kann berichtet werden, dass EPDM-Produktionsabfälle, welche momentan meist verbrannt werden, erfolgreich in die Produktion zurückgeführt werden können. Weiterhin zeigen die Projektergebnisse sehr deutlich das Einsparpotenzial gegenüber Neuware durch den Einsatz von Rezyklaten in der Gummiverarbeitung am Beispiel EPDM auf. Die anfallenden Abfallmengen in der Produktion können damit signifikant reduziert und somit ein positiver Beitrag zum Umweltschutz geleistet werden. ■

## Info

### Text

**Dipl.-Ing. (FH) Daniel Just** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter;  
Daniel.Just@ict.fraunhofer.de,

**Dr. Kevin Moser** leitet die Gruppe Materialentwicklung und Compoundiertechnologien; Kevin.Moser@ict.fraunhofer.de,

**Dr. Jan Diemert** ist stellvertretender Bereichsleiter;  
Jan.Diemert@ict.fraunhofer.de,  
alle im Bereich Polymer Engineering am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT in Pforzheim

### Dank

Das Projekt REUSE wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01 DL 17004A gefördert.