



ResolVe
Recycling von Polystyrol mittels
rohstofflicher Verwertung

Über ResolVe

ResolVe ist ein Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur wirtschaftlichen Nutzung von Polystyrol-Post-Consumer-Abfällen als Rohstoff für hochwertige neue Kunststoffprodukte. Das Projekt adressiert die technische Machbarkeit und die Erarbeitung eines vollständigen Recyclingkonzepts unter Einbeziehung von Entsorgungsunternehmen. Eine rohstoffliche Verwertung von Altkunststoffen ist die thermisch induzierte Depolymerisation, welche für Polystyrol im Gegensatz zu vielen anderen Kunststoffen besonders gut gelingt. Bei dieser speziellen Form der Pyrolyse wird das Polymer in seine Monomere sowie weitere niedermolekulare chemische Bausteine gespalten. Die erzeugten Monomere können zum Aufbau von Kunststoffen verwendet werden, die in ihren Eigenschaften absolut identisch mit Kunststoffen aus konventionellen Quellen sind. Ein sog. „Downcycling“, wie es beim mechanischen Recycling unvermeidbar ist, wird somit vermieden.

Vision

Der Übergang von einer Linear- zu einer Kreislaufwirtschaft ist angesichts von Klimawandel, Umweltverschmutzung, Bevölkerungswachstum und der Abhängigkeit von fossilen Ressourcen sowohl ökologisch als auch ökonomisch erforderlich. Kunststoffe tragen üblicherweise während ihrer gesamten Lebensdauer zur Einsparung von Ressourcen bei: Ihre Produktion ist energetisch effizient, sie sind leicht und dabei dauerhaft, Eigenschaften lassen sich für die konkrete Anwendung optimieren. Gerade ihre Beständigkeit kann allerdings zu einem Problem werden, wenn die Rückführung dieses Wertstoffes nicht integraler Bestandteil des Gesamtkonzeptes ist.

Kunststoffe lassen sich auf vielfältige Art und Weise recyceln*. Das allgemein bekannte und verbreitete mechanische Recycling stößt allerdings schnell an seine Grenzen, da die Anforderungen an den Einsatzstoff hoch sind und das Resultat, das Rezyklat, häufig genug nur Material zweiter Klasse ist. Aus diesem Grund werden Kunststoffabfälle vielfach verbrannt (thermisch verwertet) oder gar deponiert.

Kunststoffe lassen sich hervorragend thermisch verwerten, dabei wird jedoch lediglich deren Brennwert zur Strom- und Wärmeenergiegewinnung genutzt. Der im Kunststoff gebundene Kohlenstoff geht dabei als CO₂ verloren und trägt zum Treibhauseffekt bei – kein nachhaltiges end-of-life Konzept. Die meisten Kunststoffe sind thermoplastisch und lassen sich daher durch Umformung in der Wärme einfach in eine neue Form und damit Funktion bringen. Dieses mechanische Recycling hat jedoch viele gravierende Nachteile, da nur saubere, sortenreine Kunststoffe verwendet werden können. Die Vermischung von Farbstoffen und anderen Hilfsstoffen in den Kunststoffen sowie die stetig sinkende Qualität durch Umwelteinflüsse, mechanische Belastung und Kontamination in der Verwendung führen jedoch unweigerlich zu einem „Downcycling“. Die aus dem werkstofflichen Recycling gewonnenen Rezyklate erfüllen daher üblicherweise nicht die hohen Anforderungen, die an Lebensmittelverpackungen hinsichtlich der Reinheit der Materialien und Werkstoffeigenschaften gestellt werden. Gegenüber der thermischen Verwertung oder des werkstofflichen Recyclings der Kunststoffabfälle wird mit einem chemischen Recycling die tatsächliche Schließung eines Kreislaufs angestrebt.

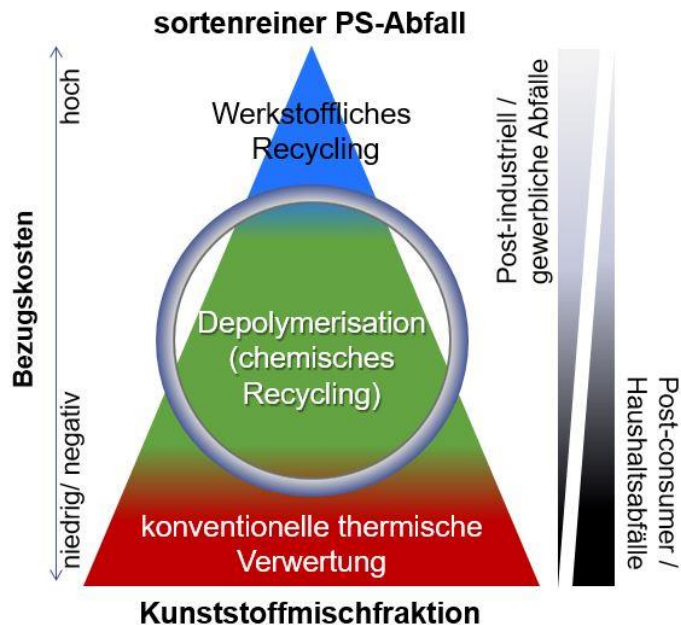
Die Wiederbelebung von Konzepten zum chemischen Recycling ist ein gewaltiger Fortschritt, weil es die thermische Verwertung weitestgehend vermeidet, insbesondere für Kunststoffabfälle, bei denen mechanisches Recycling nicht (mehr) möglich ist. Kunststoffabfälle können so wieder als Wertstoff wahrgenommen und der darin gebundene Kohlenstoff im Kreis geführt werden. Die Emissionen an CO₂ werden so minimiert und Verluste können auf lange Sicht eventuell durch den Einsatz von Biomasse egalisiert werden.

Bereits in den 1980er und 90er Jahren wurde intensiv an chemischen Recycling-Verfahren geforscht, mit denen Kunststoffabfälle rohstofflich bzw. chemisch wiederverwertet werden können. Technische Herausforderungen durch ungeeignete Stoffströme, aber insbesondere wirtschaftliche Gründe haben industrielle Anwendungen jedoch verhindert. Wachsende Mengen an Kunststoffabfällen, die sich zunehmend in Meeren und Gewässern wiederfinden, ein größeres Umweltbewusstsein und das Bedürfnis nach nachhaltigen Lösungen haben nun zu einem neuerlichen Interesse an der rohstofflichen Verwertung geführt.

Motivation

Das Projekt ResolVe widmet sich dem chemischen Recycling von Polystyrol. Polystyrol ist ein weitverbreiteter Kunststoff ([siehe PlasticsEurope](#)) welcher transparent, schlagzähmodifiziert (als sog. HIPS) oder auch geschäumt in vielen Anwendungen eingesetzt wird: er findet sich insbesondere im Verpackungsbereich, in den Gehäusen von Haushalts- und Elektronikartikeln sowie als Isolationsmaterial im Baubereich.

Wie alle anderen thermoplastische Kunststoffe (u.a. Polyethylen, Polypropylen, Polyester (PET)...) auch lässt sich Polystyrol sehr gut mechanisch recyceln. Dazu wird er als Verpackungskunststoff in modernen Sortieranlagen als eigene Fraktion (z. B. Deutschland: DKR [331](#) & [340](#)). gesammelt. Es sind jedoch die anspruchsvollen Anwendungen von Polystyrol, die ein mechanisches Recycling vor besondere Herausforderungen stellen: In Verpackungen mit Kontakt zu Lebensmitteln und Trinkwasser gelten höchste Anforderungen an die Reinheit von Rezyklaten, die allenfalls in geschlossenen Kreisläufen erreicht werden können. In weiteren Anwendungen wird Polystyrol aufgrund seiner hervorragenden Einfärbbarkeit und seines Glanzes geschätzt.



Chemisches Recycling ist die Antwort auf diese Herausforderungen und Polystyrol zeigt hier seine Stärke: Bei hohen Temperaturen zerfällt es in einem Pyrolyseprozess regelrecht wieder in seine kleinsten Bausteine, das Monomer Styrol – der Kunststoff depolymerisiert. Die Monomere lassen sich mit konventionellen Verfahren aufreinigen und wieder zu erstklassigen Styrol-Kunststoffen verarbeiten, die sich in ihren Eigenschaften nicht von Neuware unterscheiden.

Abfallströme, die kein mechanisches Recycling (mehr) zulassen, können völlig neu genutzt werden, denn Verunreinigungen im Kunststoff werden im Pyrolyse- und Aufreinigungsprozess zuverlässig abgetrennt.

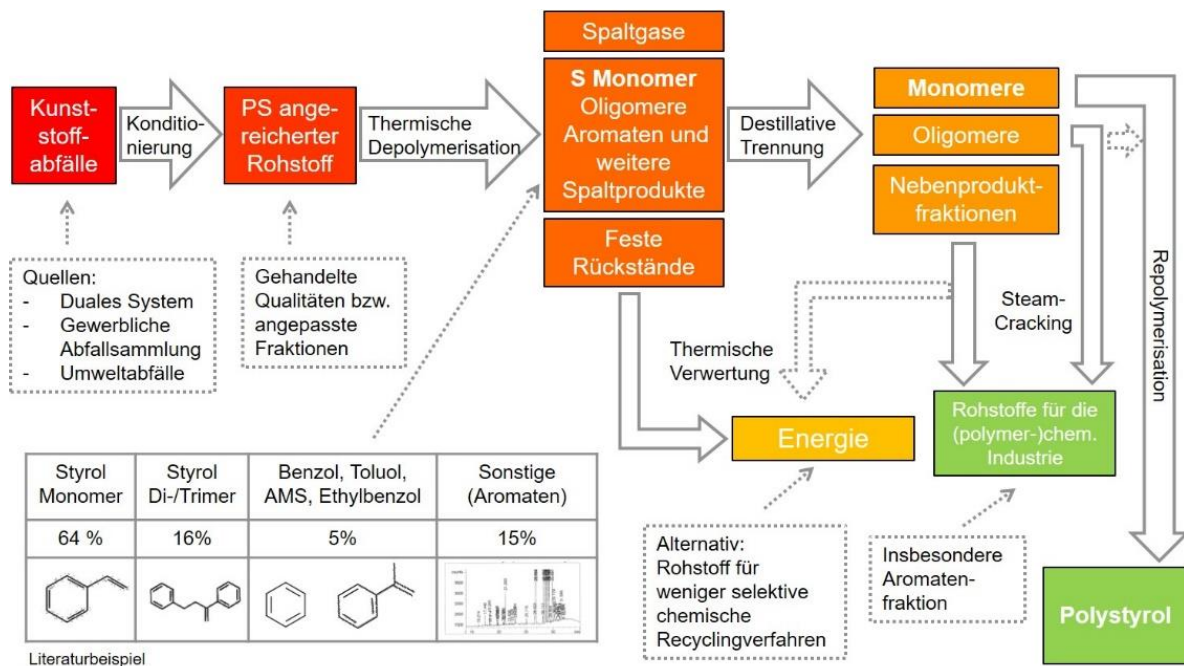
Der im ResolVe-Projekt untersuchte Depolymerisationsprozess von Polystyrol benötigt lediglich einen angereicherten Rohstoffstrom. Damit kann auf kosten- und ressourceneffiziente Sortierverfahren zurückgegriffen werden, dennoch aber Recyclingware in Neuware-Qualität erzeugt werden.

Technologie

Chemische Recyclingverfahren zielen im Allgemeinen darauf ab, die Kunststoffe wieder in ihre Einzelteile zu zerlegen, diese separat aufzureinigen und anschließend beliebig miteinander zu kombinieren um wieder Neuwarequalität erzeugen zu können. Der im Kunststoff gebundene Kohlenstoff wird dabei im Kreislauf geführt, Emissionen werden minimiert. In Pyrolyseverfahren zersetzen sich Kunststoffe bei erhöhter Temperatur und unter Sauerstoffausschluss zu einer Mischung von niedermolekularen Substanzen. Von einer Depolymerisation spricht man, wenn dabei weitestgehend wieder die Monomere erhalten werden. Von den Standard-Kunststoffen hat alleinig Polystyrol diese hervorragende Eigenschaft. Die thermische Depolymerisation kann fast alle Post-Consumer-Abfallströme nutzen, da sie nur moderate Anforderungen an die Reinheit stellt.

Um Polystyrol zu depolymerisieren können prinzipiell unterschiedlichste Reaktortypen genutzt werden: Neben einfachen Drehrohröfen und Autoklaven werden insbesondere kontinuierliche Wirbelschichtverfahren oder Reaktoren genutzt, in denen das Material mittels Schnecken bewegt wird. Alle Reaktortypen arbeiten in einem Temperaturbereich zwischen 350 und 600°C, in dem das Polystyrol thermisch überbeansprucht wird und zerfällt. Das bei Raumtemperatur flüssige Styrol-Monomer verdampft bei diesen Temperaturen und kann anschließend kondensiert werden.

Das ResolVe-Projekt arbeitet zum Studium des Zerfallsprozesses und zur Bewertung unterschiedlicher Stoffquellen mit einem Batch-Stahl-Reaktor im größeren Labormaßstab. Für das Studium im Technikumsmaßstab wird ein umgebauter Extruder im kontinuierlichen Betrieb eingesetzt. Extruder sind die Standardwerkzeuge zur Verarbeitung und Granulierung von Kunststoffen und in nahezu jedem kunststoffverarbeitenden Betrieb zu finden. Im Gegensatz zum herkömmlichen Betrieb wird der Extruder auf den Output gasförmiger Zerfallsprodukte optimiert.



Das Fließdiagramm zeigt wie die Technologie arbeitet: PS-angereicherter Kunststoffabfall wird thermisch depolymerisiert. Als Hauptprodukt fällt Styrol neben Oligomeren und weiteren Pyrolyseprodukten an, die kondensiert als Styrol-Öl aufgefangen werden. Im Kunststoff enthaltene Pigmente, Füllstoffe oder anhaftender Dreck fällt als fester Rückstand an. Mittels Destillation oder anderer Trennverfahren wird das Styrol so weit aufgereinigt, dass es in der Kunststoffproduktion wieder eingesetzt werden kann. Weitere Nebenprodukte können ebenfalls isoliert und direkt als Rohstoff eingesetzt werden, oder aber sie werden in konventionellen Steam-Cracking-Verfahren als Erdöl-Ersatz genutzt. Ausschließlich Rückstände, die nicht wiederverwertet werden können, werden der thermischen Verwertung zugeführt und können zur Erzeugung der notwendigen Prozessenergie dienen.

Partner

Das Projekt ResolVe ist auf drei Jahre (2017-2020) angelegt und wird vom BMBF im Programm FONA als Teil der Initiative „Plastik in der Umwelt“ gefördert.

INEOS Styrolution Group GmbH (Koordinator)

INEOS Styrolution ist weltweit führender Anbieter von Styrolkunststoffen – mit Nummer-1-Positionen bei Styrolmonomeren, Polystyrol und Copolymeren sowie einer Nummer-2-Position bei Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS). INEOS Styrolution hat seit seiner Gründung ein Hauptaugenmerk auf das Thema Nachhaltigkeit gelegt, z.B. mit einem Programm zur Vermeidung von Granulateintrag in die Umwelt („Zero Pellet Loss“) sowie der Zuerkennung eines EcoVadis Gold Ratings. Das Projekt zum Recycling von Polystyrol-Abfällen ist ein Meilenstein, die Nachhaltigkeit der Produkte selbst wesentlich zu verbessern.

Das Unternehmen blickt auf mehr als 80 Jahre Erfahrung im Bereich Styrolkunststoffe für eine Vielzahl alltäglicher Produkte aus den unterschiedlichsten Bereichen, zum Beispiel Automobil, Elektronik, Bauwesen, Haushalt, Spielzeug/Sport/Freizeit, Verpackung sowie Medizin und Gesundheit zurück. Mit exzellenter Verfahrenstechnik, führender Kompetenz im Bereich Forschung und Entwicklung sowie einer starken Position hinsichtlich gewerblicher Schutzrechte und einer Vielzahl von Patenten ist INEOS Styrolution hervorragend aufgestellt, um Spitzenqualität, Effizienz und Innovation zu gewährleisten.

INEOS Köln GmbH

INEOS betreibt in Köln einen hoch integrierten petrochemischen Standort mit zwei Steamcrackern mit einer Produktionskapazität von mehr als 1,1 Mio. Jahrestonnen. Haupteinsatzstoff für die Steamcracker ist Naphtha, welches am Weltmarkt zugekauft wird. Der Standort der INEOS in Köln ist nicht direkt an eine Raffinerie angebunden, so dass die Naphthaqualität abhängig vom Angebot am Markt deutlich schwanken kann. Aufgrund dieser Tatsache hat der Standort erhebliche Erfahrung im Umgang mit unterschiedlichen Naphtha-Typen und deren Auswirkungen auf die Ausbeuten und den Betrieb der Produktionsanlagen.

RWTH Aachen, ausführende Stelle: Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV)

Das IKV ist eines der größten Institute auf dem Forschungsgebiet der Kunststoffverarbeitung. Die Arbeitsgruppe Compoundierung und Reaktive Extrusion beschäftigt sich seit den 80er Jahren mit der Synthese, der Verarbeitung und dem Recycling von Thermoplasten und verfügt daher über einen geeigneten Wissensstand zur Bearbeitung des Forschungsvorhabens. Die reaktive Extrusion wird zur Synthese und zur Modifikation von Polymeren eingesetzt, sie kann aber auch zur Depolymerisation bestimmter Kunststoffe verwendet werden [Bar87, Lac96]. Hierbei kommt in der Regel ein

Doppelschneckenextruder als chemischer Reaktor zum Einsatz, da dieser im Gegensatz zum Einschneckenextruder u.a. die gleichzeitige Verarbeitung von Materialien eines breiten Viskositätsspektrums ermöglicht. Grundsätzlich können alle Reaktionstypen der Polymersynthese im Extruder durchgeführt werden, solange die Reaktionsgeschwindigkeit an das Verweilzeitspektrum der Maschine angepasst werden kann.

RWTH Aachen, ausführende Stelle: I.A.R. - Institut für Aufbereitung und Recycling

Das Institut für Aufbereitung und Recycling untersucht Forschungsbelange in der Ressourcenwirtschaft nach einem ganzheitlichen Ansatz. Dabei sind drei Aspekte maßgeblich: Stoffsysteme, Einzelprozesse bis hin zu vollständigen Prozessketten sowie Modellierung und Bewertung. Mit dieser Herangehensweise führt das Institut fundierte technisch-wirtschaftliche Untersuchungen zur Planung, Organisation und Bewertung von Wertschöpfungsketten im Bereich sekundärer Rohstoffe durch.

Der Lehrstuhl verfügt über ein umfangreich ausgestattetes Technikum für die wichtigsten mechanischen Grundoperationen der Verfahrenstechnik. Versuchsaufbauten im Labormaßstab bis hin zu Pilotanlagen erlauben es, anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung durchzuführen.

Neue Materialien Bayreuth GmbH

Die Neue Materialien Bayreuth GmbH (NMB) ist eine außeruniversitäre Forschungseinrichtung, die sich insbesondere mit Leichtbau für Kunststoffe, Metalle sowie faserverstärkte Verbundwerkstoffe, neuartigen Materialvarianten und den damit verbundenen Verarbeitungsverfahren beschäftigt. Der Geschäftsbereich Future Solutions des NMBs ist das Eingangsportale zu einem direkten Kontakt mit materialwissenschaftlich ausgerichteten Lehrstühlen der Universität Bayreuth. Der Schwerpunkt Thermoplastische Polymere und Additive des Geschäftsbereichs beschäftigt sich unter anderem mit thermoplastischen Polymeren und deren Modifizierung mittels Additiven. In diesem Schwerpunkt wurden in den letzten Jahren im Rahmen verschiedenster Forschungsprojekte im Rahmen einer Kooperation mit INEOS Styrolution bereits ein großes Expertenwissen im Bereich Styrolpolymere aufgebaut.