

DGAW-Kunststoff-Newsletter Nr. 5

Chemisches Recycling – ein Lösungsweg für das Recycling von Mischkunststoffen?

Dipl.-Ing. Thomas Obermeier; Ehrenpräsident DGAW, CEO TOMM+C

Dipl.-Wirt.Ing. Isabelle Henkel; Referentin DGAW, Projektmanagement TOMM+C

Ein Artikel aus welcher ZEIT...

„Es ist im Grunde genommen beschämend, dass wir es immer noch nicht geschafft haben, eine befriedigende Entsorgung für gemischte Kunststoffe anzubieten“, meint Klaus Komorowski aus Bonn. Wir werden zukünftig förmlich ertrinken in gemischten Abfällen. Sie zu verbrennen, sei derzeit zwar die beste Lösung, vernichte aber wertvolle Rohstoffe. Deshalb sei die deutlich umwelt- und rohstoffschonendere Lösung die Pyrolyse. Beim Verschwelen unter Luftabschluss zerbrechen die langkettige Polymere wieder in kleinere Bestandteile.

Doch so bestechend dieses Verfahren in der Theorie sein mag, „in der Praxis stößt es noch auf ganz erhebliche Probleme“, sagt Komorowski.

Für das Hamburger Pyrolyse-Verfahren der Professoren Sinn und Kaminsky wurde sogar der Körber-Preis vergeben, obwohl man von technischer Perfektion und wirtschaftlichem Dauerbetrieb noch weit entfernt war. Gründe für die fehlende Wirtschaftlichkeit seien vor allem die niedrigen Rohstoffpreise. Die Pyrolyse sollte jedoch keinesfalls als „Allheilmittel“ angesehen werden, vielmehr müssen die Hersteller verstärkt in die Verantwortung für die Entsorgung der von Ihnen erzeugten Produkte eingebunden werden“, fordert Komorowski. Die bisherige Entwicklung laufe jedoch häufig in die Gegenrichtung. Der technische Fortschritt führe zu immer komplexeren Produkten.¹

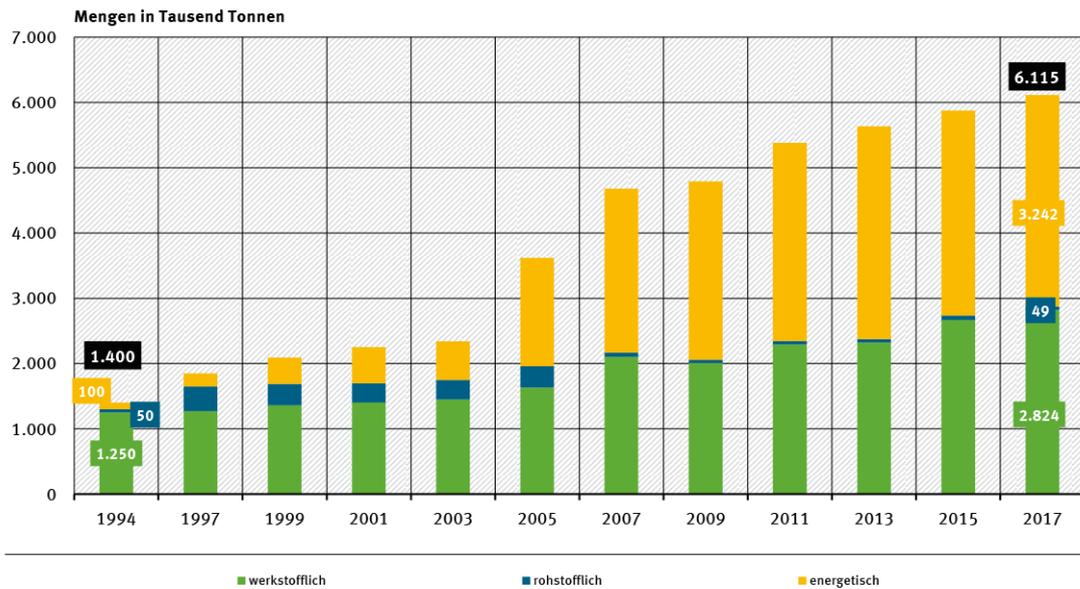
Was sich liest wie ein aktueller Artikel zum Thema Kunststoffrecycling und Pyrolyse ist in Wahrheit in Artikel aus der ZEIT vom 16. September 1988!!

Damals betrug das Aufkommen an Kunststoffabfällen in Deutschland rund 3 Mio. Tonnen, 2017 waren es 6,15 Mio. Tonnen. Der Kunststoffabsatz verdreifachte sich von 1965 bis 1985 auf knapp 2,5 Mio. Tonnen. Heute werden 12,6 Mio. Tonnen verarbeitet.²

¹ <https://www.zeit.de/1988/38/kunstvoll-gekockelte-kunststoffe>

² <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/kunststoffabfaelle#textpart-1>

Entwicklung der Verwertung der Kunststoffabfälle



Bildquelle: Umweltbundesamt³

In einem Auto wurden damals laut den Angaben im Artikel ca. 35% Kunststoffe verbaut. Durch die fortschreitende Elektrifizierung der Automobile werden immer mehr Kunststoffe und Verbunde im Automobilbau eingesetzt. Die Karosserie des i3 - BMWs Elektroauto - besteht zu rund 95% aus CFK.⁴

Es ist also wirklich beschämend, wie wenig wir in den letzten 30 Jahren erreicht haben: Eine Vervielfachung der Kunststoffproduktion und eine Verdopplung des Kunststoffabfallaufkommens. Von Vermeidung und Herstellerverantwortung kaum eine Spur.

Bereits damals wurde die Pyrolyse als *das* Verfahren zur Bekämpfung der Plastikflut angesehen. Die technischen und wirtschaftlichen Probleme waren jedoch damals schon so groß, dass die Anlagen – teils unter enormen Verlusten – wieder geschlossen wurden.

Heute setzen wieder viele Akteure auf das chemische Recycling von Kunststoffen, vor allem auf die Vergasung und Pyrolyse. Weshalb?

Die BKV GmbH und das KIT in Karlsruhe haben gemeinsam mit dem Conversio Marktforschungsinstitut und dem Verband Plastics Europe in einer Studie das Potenzial der Pyrolyse analysiert.⁵

Das chemische Recycling wird dabei als eine Option neben den werkstofflichen Verfahren gesehen und soll dazu beitragen, den Kohlenstoffkreislauf zu schließen. Als Input kommen

³ <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/kunststoffabfaelle#textpart-2>

⁴ https://www.t-online.de/digital/id_78183946/cfk-die-tollen-eigenschaften-von-carbon.html

⁵ EUWID Nr. 16.2019, Seiten 5f

gerade die Mischkunststoffe in Frage, die bei den werkstofflichen Verfahren Probleme bereiten.

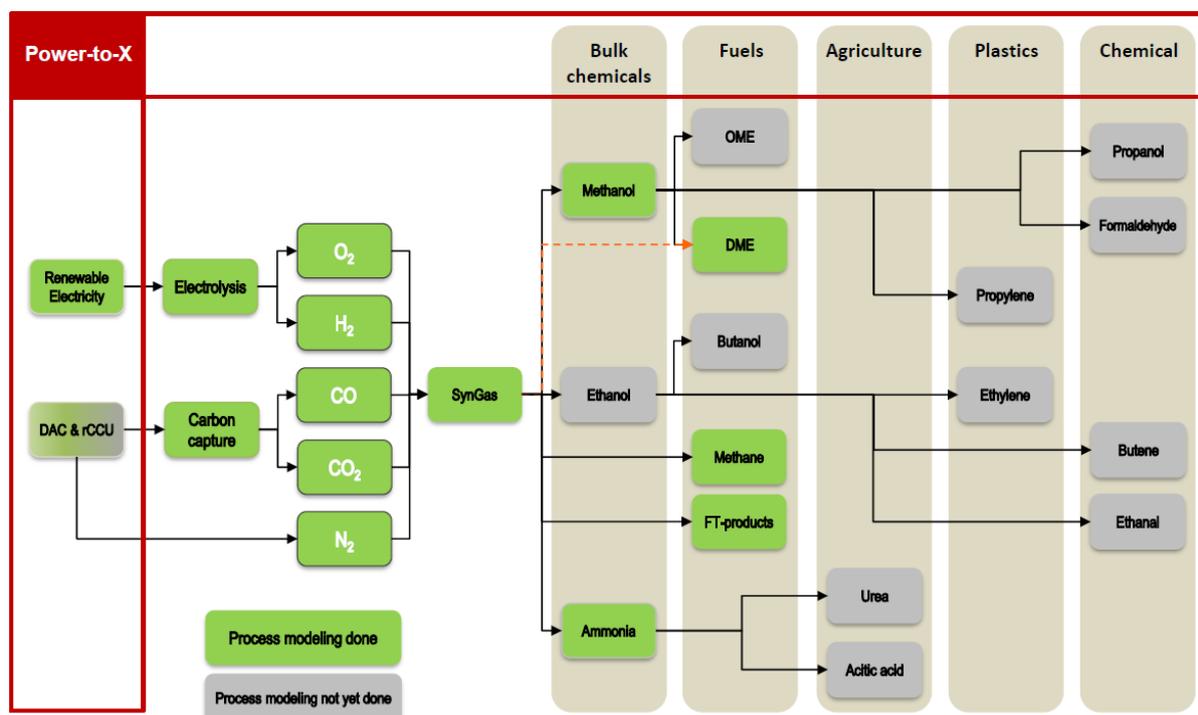
Laut der Studie scheinen die Verfahren heute wettbewerbsfähig zur thermischen Verwertung zu sein. Ein weiterer Vorteil ist, dass bei diesen Verfahren organische Schadstoffe zerstört werden, es sich also wie bei der thermischen Verwertung um eine Schadstoffsenke handelt.

Die Prozesskosten der rohstofflichen Verfahren „Wirbelschichtvergasung“, „Lurgi-Vergaser“, „Flugstromvergasung des KIT“⁶ und „Pyrolyse“ wurden von Prof. Stapf, KIT, untersucht. Für die anderen Verfahren lagen zu wenige Daten vor. Er sieht jedoch in jedem der Prozesse zum rohstofflichen Recycling noch Mängel in der technologischen Entwicklung und weiteren Forschungs- und damit Finanzierungsbedarf. Bis zur Marktreife sieht er noch 5 – 15 Jahre.

Zu diesem Ergebnis war bereits Prof. Sinn im Jahr 1988 gekommen...

Prof. Stapf schätzte für die genannten Verfahren die Kosten ab, die als Annahmepreise kalkuliert werden müssten. Beim Lurgi-Vergaser kam er auf Zuzahlungen von 183,- bis 274,- EUR/t. Rechnet man die Erlöse von Synthesegas, etc. dagegen kommt man auf ein Kostenniveau, das mit dem der thermischen Verwertung verglichen werden kann: 100,- bis 180,- EUR/t.

Schon 1988 erfreute sich Prof. Sinn, der „begeischerte Chämiker“ aus Ludwigshafen, der zahlreichen Produkte, die aus der Pyrolyse von Kunststoffresten und Altreifen zu gewinnen sind. Eine ähnliche Ausbeute erfreuen sich auch die heute aktuellen Power-to-X Anlagen:

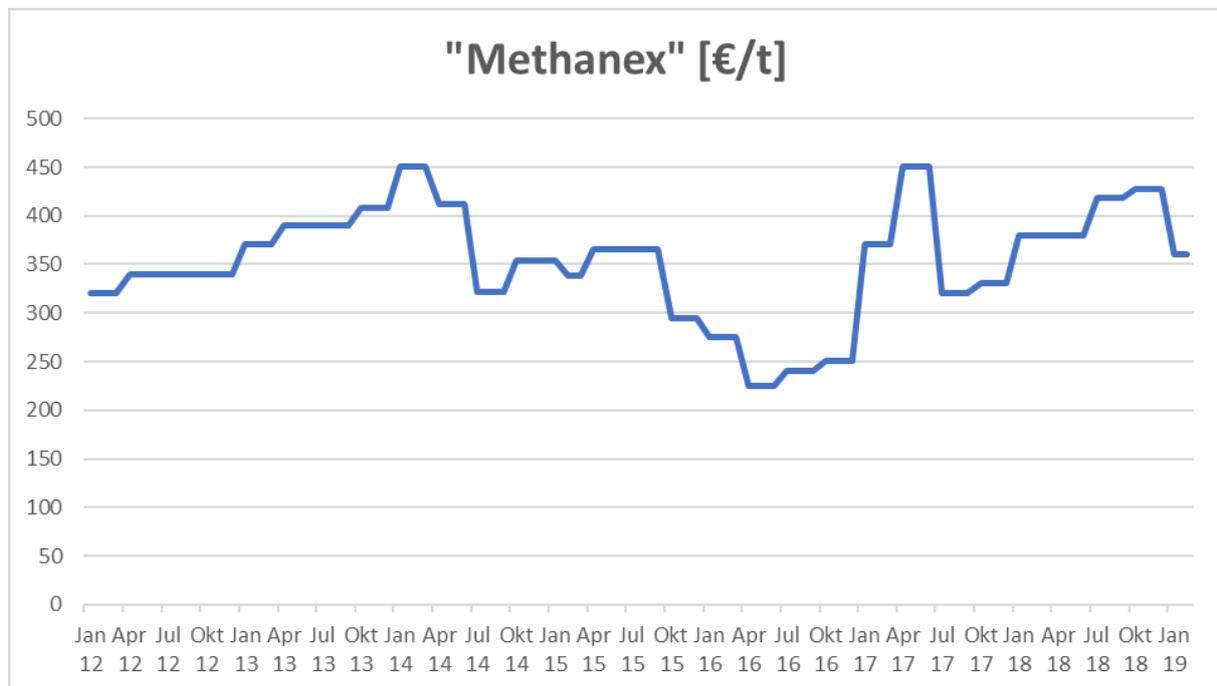


Bildquelle: ITAD-Workshop, Duisburg, 02/2019, Martin Treder

⁶ http://vivis.de/phocadownload/Download/2019_eaa/2019_eaa_357-376_stapf.pdf

Ob die Produkte aus der Chemischen Umwandlung aber einen Absatzmarkt finden, bleibt fraglich. Denn gerade in Zeiten günstiger Rohstoffpreise rechnen sich recycelte Rohstoffe meist nicht.

Das gilt sowohl für Kunststoffrecyclate aus dem werkstofflichen Recycling als auch für die Produkte aus CCU (Carbon Capture and Utilization) oder Vergasung, wie Methanol.



Bildquelle: ITAD-Workshop, Duisburg, 02/2019, Martin Treder

Methanol erfreut sich zwar einer wachsenden Nachfrage, „grünes“ Methanol hat aber heute noch Gestehungskosten, die doppelt so hoch liegen wie der aktuelle Marktpreis von konventionellem Methanol (ebenfalls M. Treder).

Findet sich kein Markt für die Produkte, bleibt die Wirtschaftlichkeit aufgrund der hohen Energiekosten der Verfahren auf der Strecke. Aufgrund der - laut Prognosen - weiter steigenden Energiekosten, wird sich dies in der Zukunft auch kaum ändern.⁷ Außer nachhaltig erzeugtes Methanol oder andere Sekundärrohstoffe bekommen z. B. durch politische Vorgaben einen höheren Marktpreis.

Wie der „Carbon Footprint“ oder die Energiebilanz dieser Verfahren tatsächlich aussieht, ist noch zu bewerten und sollte in der Euphorie keinesfalls vergessen werden.

⁷ <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/kohleausstieg-der-strompreis-steigt-rasant-das-trifft-vor-allem-mittelstaendler/22736082.html?ticket=ST-1978318-fzt5Gu9fj5m23NM1sx9f-ap4>

Bewertungsansätze zum Carbon Footprint

„Global Alliance for Incinerator Alternatives“, „Zero Waste Europe“ und „American Chemistry Council“⁸⁹

Die beiden erstgenannten Organisationen sehen die Pyrolyse als Mittel zur einfachen Herstellung von Kunststoff-Kraftstoff kritisch und nicht als „Lösung“ für die Plastikmüllkrise. Die bestehende und schnell wachsende Plastikproduktion könne derzeit kein Verfahrensansatz absorbieren.

Kunststoff-zu-Kraftstoff-Verfahren sind außerdem kostspielig, energieintensiv und nicht nachhaltig und können schädliche Emissionen verursachen. Die Pyrolyse ist sowohl in wirtschaftlicher als auch in energetischer Hinsicht ein ineffizienter Prozess. Die Pyrolyse kostet 6.000 bis 9.000 Euro¹⁰, um 1 Kilowatt Energie zu erzeugen. Darüber hinaus erfordert die Pyrolyse häufig noch eine Vorbehandlung (Waschen, Trocknen, Zerkleinern), die ebenfalls energieintensiv ist.

Selbst wenn die entstehenden Emissionen und Schadstoffe erfolgreich aufgefangen oder neutralisiert werden, gelangen sie entweder in das Produkt selbst oder in Nebenprodukte wie Flugasche, Koks, Reststoffe und Abwasser. Tatsächlich bleiben am Ende der Pyrolyse noch immer 15 bis 20 Prozent Reststoffe, die wieder behandelt oder abgelagert werden müssen. Kraftstoffe aus der Pyrolyse sollen außerdem höhere Abgasemissionen als Dieselkraftstoff verursachen und einen höheren Schwefelgehalt als Benzin und Dieselkraftstoff aufweisen.

Deshalb plädieren die Autoren für Verbote von nicht recyclebarem Kunststoff, die Förderung eines besseren Produktdesigns, den Ausbau von Recyclingkapazitäten im Inland sowie Ansätze zur „Kunststoffvermeidung“ voranzutreiben.

Im Gegensatz dazu ergab der Vergleich der Emissionen aus „Plastic-to-fuel“-Anlagen mit denen der Foodindustrie, den der American Chemistry Council anstellte, folgendes Ergebnis:

Bei der „Plastic-to-fuel-Pyrolyse“ entstehen deutlich weniger flüchtige organische Verbindungen, Feinstaub, SO₂ und CO als bei Prozessen der Food-Industrie. Einzig die NO₂ Emissionen liegen im ähnlichen Bereich.

Trotz der durch den American Chemistry Council dargestellten niedrigen Emissionen, ist es richtig, „Plastic-to-fuel“ Anlagen und damit die Erzeugung von Kraftstoffen bzw. Brennstoffen aus Mischkunststoffen nicht als Recycling zu werten. Der Energieaufwand, der zunächst investiert werden muss, macht im Vergleich zur unmittelbaren thermischen Verwertung in modernen thermische Abfallverwertungsanlagen wenig Sinn.

Anders können die Verfahren des Chemischen Recyclings gewertet werden, die Mischkunststoffe zu Polymeren und Monomeren aufschließen, die wiederum als Rohstoff für neue (Kunst)Stoffe dienen. Hierbei werden Ressourcen tatsächlich im Kreislauf geführt, sodass diese Verfahren klar als Recycling gewertet werden sollten. Sie tragen zur Lösung der Mischkunststoff-Problematik bei, der sich die Recyclingbranche stellen muss.

⁸ <https://www.euractiv.com/section/circular-economy/opinion/plastic-to-fuel-only-fuelling-fantasy/>

⁹ <https://plastics.americanchemistry.com/Plastics-to-Fuel-Manufacturing-Emissions-Study.pdf>

¹⁰ <https://www.euractiv.com/section/circular-economy/opinion/plastic-to-fuel-only-fuelling-fantasy/>

Biologisches und Chemisches Recycling

Biologische Verfahren:

1. Enzym-Schere¹¹

Forscher der Uni Greifswald entdeckten gemeinsam mit dem Helmholtz-Zentrum Berlin ein neues biologisches Verfahren zur Spaltung von PET mittels Enzymen.

Das Enzym MHETase wurde in einem Bakterium entdeckt und soll in der Lage sein, gemeinsam mit der PETase den Kunststoff PET in die Grundbausteine zu zerlegen. Dabei zerlege zunächst die PETase das Polymer in ein Monomer, anschließend werde dieses in die zwei Grundbausteine Terephthalsäure und Ethylenglykol gespalten. Diese beiden Bausteine ermöglichen die Neusynthese von PET und somit einen geschlossenen Recyclingkreislauf, an dessen Ende Neuware steht.

Voraussetzung für diesen Kreislauf ist jedoch die richtige und ordentliche Mülltrennung, was bei PET durch das Einwegpfand auf Getränkeflaschen bisher noch am besten funktioniert. Dadurch funktionieren jedoch auch die bereits ausgereiften werkstofflichen Verfahren zum PET-Recycling.

2. Kunststoffrecycling durch Insekten¹²

Mehlwurmlarven zersetzen Kunststoffe

In der Forschung werden neben den Enzymen auch Mikroorganismen, Pilze oder vermehrt auch Insekten eingesetzt, um neue Möglichkeiten des Kunststoffrecyclings zu entwickeln.

Eine spanische Forscherin zeigte hierbei, dass die Larven der Großen Wachsmotte den Kunststoff Polyethylen (PE) in relativ kurzer Zeit zersetzen können, Bakterien hatten in diesem Versucher deutlich länger gebraucht. Die Larven sollen dabei die Beißwerkzeuge als mechanische Zerkleinerung sowie die anschließende mikrobielle Zersetzung im Darm in Kombination einsetzen.

Das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (Umsicht) in Oberhausen forscht ebenfalls an umweltfreundlichen Prozessen zum Kunststoffabbau. So entwickelte eine Studentin einen Prozess, in dem Mehlwürmer Polystyrol zersetzen. Hierzu würden die mikrobiellen Prozesse im Darm der Würmer genutzt. Nun werde versucht, den Prozess bzw. das Fressverhalten der Mehlwürmer weiter zu untersuchen, um so die Einflussfaktoren zu optimieren.

¹¹ EUWID Nr. 17/2019, S. 8

¹² <https://www.kunststoffe.de/fachinformationen/technik-trends/artikel/kunststoffrecycling-durch-insekten-3495060.html>

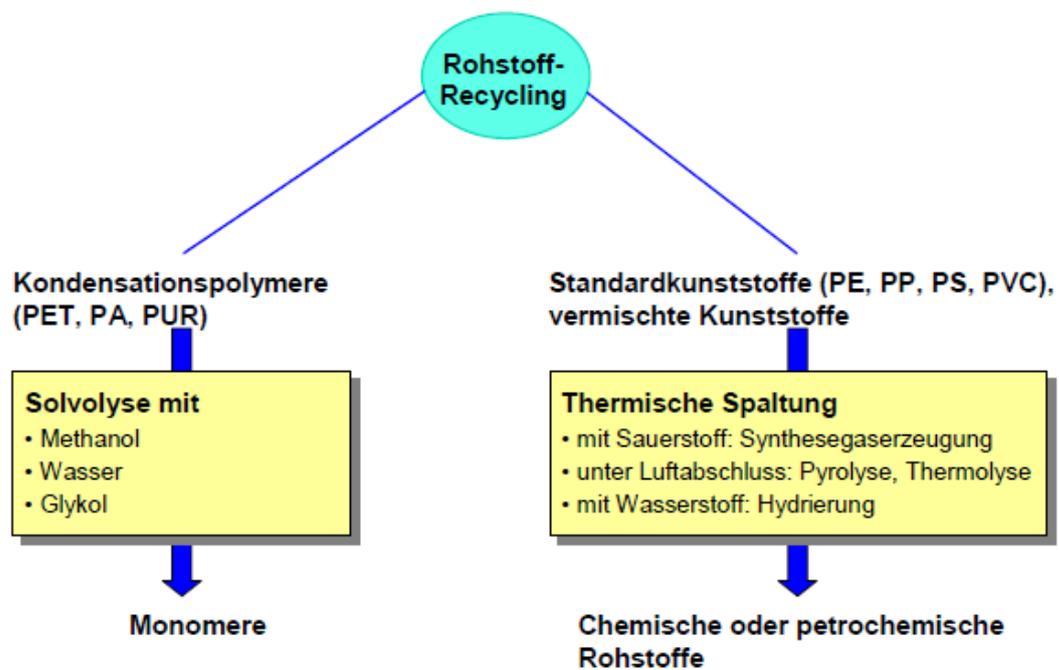


Bild: Mehlwurmlarven in Messbecher mit Styropor (© Foto: Fraunhofer Umsicht)

Im nächsten Schritt sei geplant, die Ergebnisse auch auf andere Kunststoffe zu übertragen. Anschließend solle versucht werden, die Darmbakterien der Mehlwürmer direkt einzusetzen, indem sie extrahiert und vermehrt werden.

Chemische Verfahren

Überblick Chemisches bzw. rohstoffliches Recycling:



Bildquelle: Springer „Verwertung von Kunststoffen“

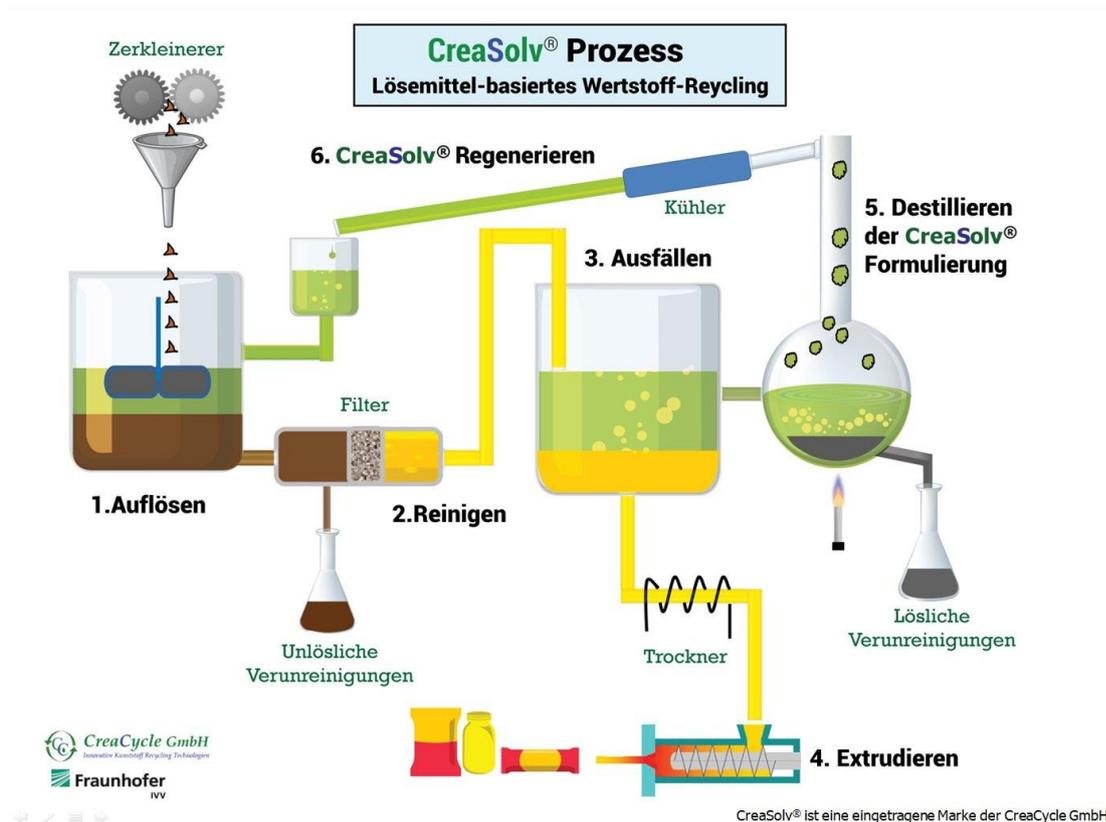
1. Solvolyse

Aufspaltung der Kunststoffe (Polymere) mittels Lösemittel.

Hierbei werden insbesondere thermoplastische Kunststoffe an der H-OH Verbindungsstelle angegriffen, um die Verbindung so aufzuheben. Diese Verfahren werden unter der Bezeichnung solvolytische Depolymerisation zusammengefasst, da das Polymer oder zumindest die Reaktionsprodukte meist im reaktiven Ansatz gelöst vorliegen. Das Verfahren eignet sich vor allem für Polyamid, PET und PUR.

Creasolv von Fraunhofer

Beim CreaSolv-Prozess, der in Kooperation von FRAUNHOFER IVV und der CreaCycle GmbH entwickelt wurde, sollen post consumer Abfälle, insbesondere Multilayerfolien aus PE/PA oder PP/PET sowie Aluminiumlagen durch ein Lösemittel getrennt werden. Das Lösemittel zielt dabei auf eine Komponente ab, die dann gelöst vorliegt und zurückgewonnen werden könne. Der Zielkunststoff soll nach Reinigung der Lösung ausgefällt sein und wieder wie Neuware eingesetzt werden können.¹³



Bildquelle: CreaCycle GmbH¹⁴

¹³ <https://www.creacycle.de/de/der-prozess.html>

¹⁴ <https://www.creacycle.de>

Ein ähnliches Verfahren bietet die APK GmbH in Merseburg unter dem Namen „Newcycling“ an.¹⁵ Hinter der APK steht auch der ungarische Ölkonzern Mol, der verstärkt ins Kunststoffrecycling einsteigen will.¹⁶

Im weiter unten näher ausgeführten Interview mit dem Experten Dr. Norbert Nießner¹⁷, Entwicklungschef (Leiter Global R&D und Intellectual Property) beim Kunststoffhersteller Ineos Styrolution, übt dieser auch Kritik an der Solvolyse: „Man muss eines beachten, vor allem, wenn es um Verbunde geht: Man wird mithilfe der Solvolyse bestimmte Schichten herauslösen können aus dem Verbund. Aber man hat dann immer noch eine Restmischung. Ob die Solvolyse hierfür auch das richtige Verfahren ist, ist noch unklar. Das Problem bleibt also, was man mit gemischten Kunststoffabfällen macht. Dann kommen wir wieder zu den Hochtemperaturmethoden, wie die Vergasung und die Depolymerisation.“

2. Hochtemperaturmethoden: Die Thermische Spaltung¹⁸

Hierunter fallen die Verfahren Pyrolyse und Thermolyse, bei denen unter Sauerstoffabschluss und hohen Temperaturen (500°C bis 850°C) Kohlenwasserstoffe zersetzt werden. Im Ergebnis erhält man verschiedene Produkte: Kohlenwasserstoffe, Wachse, Öle, Benzin (Naphta). Gegenüber der Verbrennung werden bei der Pyrolyse 5 - 20% der Rauchgase reduziert. Gefährliche Substanzen verbleiben im koksartigen Rückstand.

Die Hydrierung und Vergasung arbeiten hingegen unter Sauerstoffatmosphäre, benötigen aber hohe Drücke zwischen 100 und 200 bar. Dabei werden die festen Bestandteile in flüssige und gasförmige überführt und Makromoleküle gecrackt. Die Produkte reichen von Methan bis zu Schmierstoffen. Auch PVC wird zu Kohlenwasserstoffen konvertiert; das Chlor-Atom wird zu HCl hydriert und aus dem Ansatz entfernt. Das bedeutet, dass üblicher Verpackungsabfall nicht vorbehandelt werden muss, um das Cl zu entfernen. Dasselbe gilt für Stickstoff, das als NH₃ entzogen wird.

Bei der Vergasung werden die Kohlenwasserstoffe in kleinstmögliche Einheiten aufgespalten und unter sehr hohen Temperaturen um 1000°C bis 1200°C unter Luft- bzw. Sauerstoffzutritt behandelt. Es entsteht ein Gasgemisch aus H₂, CO und CO₂ in unterschiedlichen Konzentrationen, das als Synthesegas, z. B. zur Methanolsynthese, eingesetzt werden kann.

Bei den neuen, im folgenden beschriebenen Verfahren werden häufig durch das Variieren von Druck und Temperatur je nach Inputmaterial neue Prozesse bzw. Mischformen der klassischen Verfahren entwickelt.

¹⁵ <https://www.apk-ag.de/newcycling/prozess/>

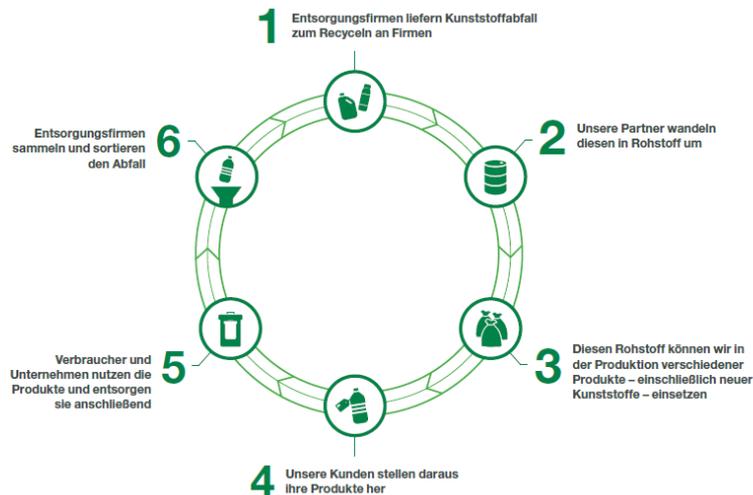
¹⁶ <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/mol-ein-oelkonzern-wird-zum-plastikentsorger/24407792.html?ticket=ST-2930573-ulXfdyzXVsym9JqEHUSK-ap1>

¹⁷ <https://320grad.de/wir-muessen-uns-mit-high-tech-kunststoffen-abfinden/>

¹⁸ <https://www.kunststoffe.de/themen/basics/recycling/rohstoffliches-recycling/artikel/solvolyse-und-pyrolyse-1001671.html>

BASF „ChemCycling“

Zunächst soll durch Pyrolyse aus Kunststoff ein flüssiges Öl(gemisch) entstehen, das anschließend im Steamcracker zu Basischemikalien umgewandelt werde. Diese sollen zu reinem Kunststoffgranulat in Neuwarequalität verarbeitet werden können.



Quelle: BASF¹⁹

Derzeit befindet sich der Prozess in der Pilotphase. Es müssen noch sowohl technische als auch regulatorische Hürden genommen werden, bis sich ein tragfähiges Geschäftsmodell daraus ergibt.

Catalytisch Tribochemischen Conversion (CTC)Technologie von Recenso²⁰

Hierbei soll es sich um die Direktverölung von aufbereitetem Siedlungsabfall (EBS) handeln. Statt EBS als Brennstoff einzusetzen, soll es in einem Reaktor unter Wärmezufuhr verflüssigt und zu Gas umgewandelt werden, um anschließend mittels eines Katalysators (Zeolithe) und unter Zugabe von Neutralisatoren zur pH-Stabilisierung Öl zu gewinnen. Der Prozess laufe dabei mit relativ geringen Temperaturen (400°C) und unter Normaldruck ab.

Wie bei den anderen vorgestellten Verfahren war die Technologie bisher immer gescheitert. Jetzt soll Recenso die Technologie in industriellem Maßstab realisiert haben. Als Vorteil gegenüber den anderen Verfahren stellt Recenso hierbei heraus, dass nicht nur Kunststoffabfälle, sondern auch der aufbereitete Müll selbst eingesetzt werden können. Das als Produkt entstehende Mitteldestillat Carboliq CLR soll sich qualitativ nicht von Rohöl unterscheiden und sei im letzten Jahr gemäß REACH-Verordnung registriert worden.

Die BASF soll an der Abnahme von CLR zum Einsatz beim oben beschriebenen ChemCycling Prozess interessiert und bereit sein, einen „Premiumpreis“ zu bezahlen. Wie hoch dieser „Premiumpreis“ ist, ging aus der Quelle nicht hervor. Es ist jedoch zu vermuten,

¹⁹ <https://www.basf.com/global/de/who-we-are/sustainability/management-and-instruments/circular-economy/chemcycling.html>

²⁰ <https://320grad.de/ctc-technologie-neue-absatzmaerkte-fuer-eps-hersteller/>

dass er über dem Marktpreis von Rohöl liegt und damit ein breiter Marktzugang für CLR schwierig wird.

Die Energiebilanz des CTC-Verfahrens soll positiv sein: Es besteht jedoch noch Klärungsbedarf, inwieweit sich das Verfahren technisch und wirtschaftlich umsetzen lässt. Auch die umweltbilanzielle Bewertung ist noch offen.

ReOil-Prozess von OMV und Borealis^{21, 22}

Der Polymerhersteller Borealis will mit dem österreichischen Mineralölkonzern OMV zusammenarbeiten. OMV betreibt eine Pilotanlage zum Chemischen Recycling von Altkunststoffen nach dem ReOil Altkunststoff-Recyclingverfahren. Bereits seit 7 Jahren arbeitet OMV am chemischen Recycling von Post-Consumer-Kunststoffen. Die Pilotanlage soll bis zu 100kg Altkunststoffe pro Stunde verarbeiten können. Daraus sollen rund 100 Liter synthetisches Rohöl sowie Synthesegas gewonnen werden, das anschließend wiederum zu Grundstoffen für die Kunststoffindustrie oder zu Kraftstoff verarbeitet werden soll. Der besondere Anspruch des ReOil-Verfahrens ist, dass durch Zugabe von Wärmeüberträgern, die hohen Temperaturen, die normalerweise beim Schmelzen von Kunststoffen aufgewendet werden müssen, bei diesem Verfahren – dem Cracken – auf rund 300 Grad Celsius gesenkt werden können.

Bereits im Vorjahr hatte Borealis den Recycler mtm plastics übernommen. Mit dem Chemischen Recycling will Borealis der Polyolefin-Kreislaufwirtschaft einen Schritt näherkommen.

Das Projekt DEMETO des Schweizer Unternehmens GR3n

Bei der GR3n Technologie soll die chemische Behandlung von PET, die Depolymerisation, mithilfe von Mikrowellen in einem geschlossenen Kreislauf erfolgen. Das Kernstück, die Depolymerisation (DEMETO) soll bereits patentiert sein. Es sei möglich, eine breite Palette an PET-Kunststoffabfällen (z. B. Farbflaschen, Lebensmittelbehälter, Polyestertextilien) in einem kontinuierlichen Prozess zu depolymerisieren. Dabei soll im DEMETO-Reaktor die Reaktionszeit von 180 auf 10 Minuten verkürzt werden. Zugleich werde die Rückgewinnung der Monomere Ethylenglykol und PTA verbessert. Außerdem soll der Prozess lediglich Wasser und Energie als externen Input benötigen. Die weiteren Hilfschemikalien würden in situ aus den Nebenprodukten hergestellt. DEMETO habe zum Ziel, eine „Grüne Chemie“ zu erreichen.²³

Neu im Industriebeirat des Forschungsprojekts DEMETO sind jetzt Remondis und Kolon Industries aus Korea. DEMETO habe zum Ziel, das chemische Recyclingverfahren gr3n zur Pilotreife zu bringen. Neben SUEZ und A2A ist Remondis das dritte Entsorgungsunternehmen im Projekt. Die Koreaner vertreten die Herstellerseite und wollen die Monomere zur Herstellung von Textilfasern und Folien einsetzen.²⁴

²¹ http://www.umweltruf.de/2019_Programm/news/news3.php3?nummer=2739

²² <https://320grad.de/borealis-prueft-chemisches-recycling/>

²³ Coca Cola: <https://www.coca-cola-deutschland.de/stories/weniger-muell-durch-chemisches-recycling>

²⁴ EUWID 20.2019, Seite 15

Weshalb für PET, das auch im post consumer Bereich zum Großteil sortenrein vorliegt und für das seit Langem werkstoffliche, gut funktionierende Verfahren existieren, ein neues Verfahren zum chemischen Recycling erprobt wird, ist jedoch fraglich.

LyondellBasell kooperiert im chemischen Recycling mit KIT, Karlsruhe²⁵

LyondellBasell ist eines der größten Kunststoff-, Chemie- und Raffinerieunternehmen der Welt und stellt unter anderem Verpackungen für Lebensmittel her. Jetzt steigt das Unternehmen auch ins chemische Recycling ein. Ziel ist es auch hier, saubere Ausgangsmaterialien für die Polymerherstellung zu gewinnen. Im Fokus stehe dabei die Entwicklung eines hocheffizienten und sauberen Kunststoffdepolymerisationsprozesses durch Katalysatorinnovation, um Kunststoffabfälle wieder in chemische Bausteine umzuwandeln.

Herausforderungen und Grenzen des Chemischen Recycling

Regulatorische Grenzen

Neben den technischen und wirtschaftlichen Herausforderungen, die die Verfahren zum Chemischen Recycling noch zu überwinden haben, stehen diesen auch regulatorische Grenzen entgegen, gerade was die Anerkennung als Recycling betrifft.

Denn das Bundesumweltministerium erkennt das Chemische Recycling nicht als werkstoffliche Verwertung im Sinne des Verpackungsgesetzes an. Das chemische Recycling ist keine werkstoffliche Verwertung im Sinne des Verpackungsgesetzes." Das erklärte ein Sprecher des Bundesumweltministeriums auf Anfrage von EUWID.²⁶

Wie sieht die Gesetzeslage zum Chemischen Recycling tatsächlich aus?

In der **EU wird der Recyclingbegriff wie folgt definiert** und gilt sowohl in der EU-Abfallrahmenrichtlinie als auch in der EU-Verpackungsdirektive:

17. „Recycling“ jedes Verwertungsverfahren, durch das Abfallmaterialien zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden. Es schließt die Aufbereitung organischer Materialien ein, aber nicht die energetische Verwertung und die Aufbereitung zu Materialien, die für die Verwendung als Brennstoff oder zur Verfüllung bestimmt sind.

In Deutschland wird hingegen zwischen dem KrWG und dem VerpackungsgG unterschieden.

²⁵ <https://www.lyondellbasell.com/en/news-events/corporate--financial-news/lyondellbasell-advances-chemical-recycling-by-signing-agreement-with-the-karlsruhe-institute-of-technology/>

²⁶ EUWID Nr. 42/2018 vom 16.10.2018

Gemäß KrWG §3 (25) wird Recycling wie folgt definiert:

Recycling im Sinne dieses Gesetzes ist jedes Verwertungsverfahren, durch das Abfälle zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden; es schließt die Aufbereitung organischer Materialien ein, nicht aber die energetische Verwertung und die Aufbereitung zu Materialien, die für die Verwendung als Brennstoff oder zur Verfüllung bestimmt sind. Die Definition liegt damit sehr nah an der der EU.

Das **VerpackungsG** sieht jedoch in §16 Anforderungen an die Verwertung in Satz 2 Folgendes vor:

Kunststoffe sind zu mindestens 90 Masseprozent einer Verwertung zuzuführen. Dabei sind mindestens 65% und ab dem 1. Januar 2022 sogar 70% dieser Verwertungsquote durch werkstoffliche Verwertung sicherzustellen. Laut Bundesumweltministerium zählen hierzu nur solche Verfahren, bei denen das Material in seiner Polymerstruktur erhalten bleibe. Das chemische Recycling ist damit ausgeschlossen. Doch gerade die im Verpackungsbereich eingesetzten hochfunktionalen Verpackungen bringen werkstoffliche Verfahren schnell an die Grenzen. Als Grund für den Ausschluss des chemischen Recyclings und den Schutz der werkstofflichen Verfahren nennt das BMU: Das chemische Recycling sei nicht energieeffizient und damit ökologisch genug. Ein Nachweis für diese Aussage ist jedoch nach Ansicht der Autoren noch zu erbringen.

Zugleich werde das chemische Recycling jedoch als Verfahren neben der energetischen Verwertung anerkannt, so das BMU. Demzufolge wird das chemische Recycling in der Abfallhierarchie in die „sonstige Verwertung“ abgestuft.

Dies ist jedoch nicht richtig, da bei den chemischen Verfahren aus Mischkunststoffen wieder Rohstoffe für die Herstellung sortenreiner Neuware entstehen, was dem Recyclinggedanken entspricht.

Die FDP-Bundestagsabgeordnete Skudelny setzt sich deshalb zurecht für mehr Technologieoffenheit im Verpackungsgesetz ein und fordert die Aufnahme des chemischen Recyclings in die 65%-Quote. Dies fördere Innovationen und trage zu einer mehrspurigen Technologie-Förderung bei.²⁷ Es bleibt also spannend.

Herausforderungen durch erhöhte Recyclingquoten und High-Tech Kunststoffe

Positionspapier des Verbands „Chemical Recycling Europe“

Der Verband „Chemical Recycling Europe“ hat ein Positionspapier²⁸ zum chemischen Recycling von Kunststoffabfällen vorgelegt. Aus Sicht der Branchenvertretung ist das chemische Recycling eine Ergänzung der anderen Verfahren, um die Gesamtrecyclingquote zu steigern und den CO₂-Ausstoß zu reduzieren. Um die ambitionierten Recyclingziele der EU zu erreichen, seien die bisher anerkannten Recyclingverfahren nicht ausreichend. Schon weil die Sammel- und Recyclingsysteme noch nicht wirtschaftlich sind und auch die Qualität

²⁷ EUWID Nr. 20.2019 Seite 23

²⁸ <https://www.chemicalrecyclingeurope.eu/news/position-paper-on-chemical-recycling>

des Recyclats noch nicht ausreicht. Das Chemische Recycling sei auch deshalb von großer Bedeutung, da es gerade auf heterogene, verschmutzte Kunststoffabfälle abziele, die andere Recyclingverfahren kaum zulassen bzw. in Sortieranlagen als Output anfallen. Der Verband fordert deshalb eine Wettbewerbs-Gleichheit.²⁹

Der Verband stellt am Ende des Papiers acht Forderungen auf, unter anderem:

- Anerkennung des Chemischen Recyclings mit gleichen Wettbewerbsbedingungen
- Effizienzsteigerung bei Sammlung und Sortierung
- Weiterentwicklung der Endmärkte für recycelte Polymerströme
- Verringerung der Deponierung und Verbrennung von Kunststoffabfällen
- Harmonisierung zwischen Abfallende-Status und REACH

Immer komplexere High-Tech Kunststoffe

Ähnlich sieht das auch der Experte Dr. Norbert Nießner, Entwicklungschef (Leiter Global R&D und Intellectual Property) beim Kunststoffhersteller Ineos Styrolution.³⁰

Er erläutert, dass man sowohl die Funktionalität als auch die stoffliche Verwertbarkeit einer Verpackung im Auge behalten sollte. Die Funktionalität einer Verpackung, wird jedoch häufig durch schlecht recyclefähige Multilayerfolien mit bis zu 12 Schichten und Barrieren erreicht, die zusätzlich durch Haftschichten miteinander verbunden sind. Diese Kunststoffsysteme wurden über Jahrzehnte optimiert. Mit dem Ziel Haltbarkeit, Hygiene und Qualität der Lebensmittel zu optimieren und zugleich Verpackungsmaterialien zu reduzieren.

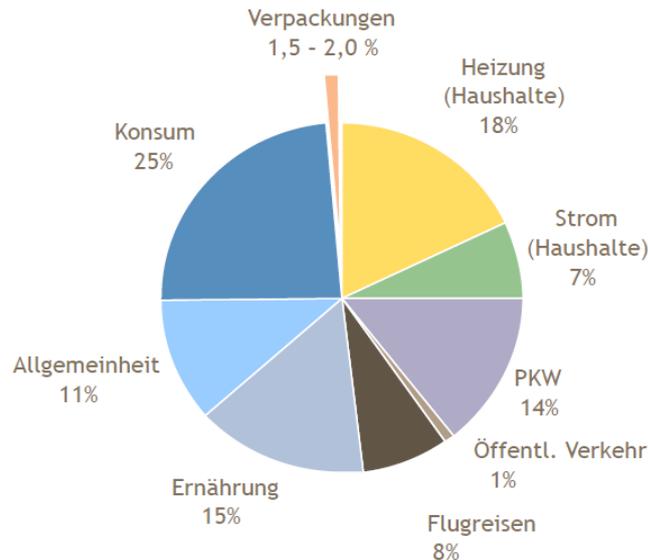
Was auf der einen Seite das Recycling erschwert, trägt trotzdem zur Reduzierung von CO₂ bei. Zu diesem Ergebnis kommt auch die Studie „Verpackungen nutzen – auch in ökologischer Hinsicht“ der denkstatt im Auftrag der AGVU Arbeitsgemeinschaft Verpackung und Umwelt e.V.³¹

Durch die längere Haltbarkeit werden weniger Lebensmittel weggeworfen. Da die Herstellung der Lebensmittel einen um ein Vielfaches höheren „Carbon Footprint“ aufweisen als die Verpackung, lohnt sich der Ansatz für die Klimabilanz. Betrachtet man den gesamten „Carbon Footprint“ eines Konsumenten machen die Verpackungen lediglich 1,5 – 2,0% aus, der größte Anteil hat der Konsum mit 25%. Sogar Flugreisen liegen mit 8% weit über dem Verpackungsanteil. Sollte also tatsächlich „Verzicht“ die Lösung unseres Müllproblems sein?

²⁹ <https://320grad.de/chemische-recycler-fordern-wettbewerbsgleichheit/>

³⁰ <https://320grad.de/wir-muessen-uns-mit-high-tech-kunststoffen-abfinden/>

³¹ <https://denkstatt.eu/publications/?lang=de>: 2018: Verpackungen nutzen - auch in ökologischer Hinsicht



Bildquelle: Verpackungen nutzen - auch in ökologischer Hinsicht (denkstatt, 2018)

Gleiches gilt für die eingesparten Transporte, die einerseits durch leichtere Verpackungen (dünnere Folien, etc.) erreicht werden und andererseits durch die längere Haltbarkeit.

Nießner ist deshalb der Ansicht, dass wir uns mit diesen modernen Verpackungen und auch anderen immer komplexeren High-Tech Kunststoffen (z. B. im Automobilbereich) abfinden müssen. Die Anstrengungen sollten vielmehr in die Entwicklung neuer Recyclingtechnologien gesteckt werden. Ineos Styrolution hat bereits Experimente mit dem chemischen Recycling von Polystyrol erfolgreich abgeschlossen. Derzeit wird an den Voraussetzungen für das Inputmaterial gearbeitet.

Nießner ist zuversichtlich, dass die guten Ergebnisse auch auf Mischkunststoffe übertragbar sind: „Das chemische Recycling ist nach meiner Überzeugung der Schlüssel für die Lösung des Entsorgungsproblems für Mischkunststoffe.“ Zugleich ist er sich aber auch eine Koexistenz verschiedener Verfahren für verschiedene Kunststoffmischungen „Wir sehen ganz klar: Not one size fits all.“, sagt er. Dass die Wirtschaftlichkeit der Verfahren erreicht werden kann, sieht Nießner ebenfalls optimistisch.

Fazit:

Ob das Chemische Recycling der „Heilige Gral“ zur Lösung der Kunststoffproblematik wird, bleibt abzuwarten. Insbesondere ist nach Einschätzung der Autoren offen, inwieweit 30 Jahre nach dem Scheitern der Pyrolyse und ähnlicher Verfahren die Neuauflagen jetzt funktionieren sollen.

Fest steht jedoch, dass es sich - wie in anderen Bereichen der Abfallwirtschaft auch – jetzt um einen disruptiven Prozess für Abfallwirtschaft handelt, da plötzlich Player aus der Chemischen Industrie eine gewichtige Rolle spielen und die wesentlichen Treiber sind. Jetzt übernimmt die chemische Industrie ihre Herstellerverantwortung. Auch wenn das Engagement sicher nicht nur aus Verantwortungsbewusstsein, sondern vielmehr aus der

Angst vor Umsatzeinbußen durch das neuerdings schlechte Image der Kunststoffe gespeist wird. Ein Umdenken ist dringend erforderlich!

Zugleich ergeben sich jedoch auch Chancen für die „alten Hasen“ der Abfallwirtschaftsbranche. Gerade die Thermischen Verwerter könnten durch Kooperationen mit der Chemischen Industrie profitieren, indem die teils erneuerbare Energie aus den Müllheizkraftwerken in Form von Strom und ggf. Wärme bzw. Prozessdampf nahegelegenen Pyrolyseanlagen zur Verfügung gestellt wird.

Nach Meinung der Autoren kann das Chemische Recycling eine technische Möglichkeit werden, um die stoffliche Verwertung der Kunststoffe voran zu bringen. Die wirtschaftliche und ökologische Alternative ist die Verbrennung, weil nach knapp 30 Jahren DSD das konventionelle Recycling, insbesondere für den Konsumentenbereich der Verpackungen, sich nicht durchgesetzt hat.

Daher ist es überlegenswert, das Chemische Recycling auch in den Recyclingquoten zu berücksichtigen.