

Evaluierung von thermisch-chemischen Depolymerisationstechnologien zur Verwertung von Kunststoffabfällen

Mathias Seitz, Markus Klätte und Martin Pohl

1.	Beschreibung der aktuellen und einer möglichen postfossilen Situation	106
2.	Depolymerisationstechnologien	107
3.	Einsatz von Katalysatoren	108
4.	Langzeitversuch und Bilanzierung	110
5.	Zusammenfassung	112
6.	Quellen	113

Die Europäische Strategie für Plastik in einer Kreislaufwirtschaft arbeitet auf eine vollständige Rezyklierbarkeit von Verpackungsmaterialien bis 2030 als Beitrag zur Realisierung der Klimaziele nach dem Pariser Abkommen hin [2]. Bis 2030 sollen mehr als die Hälfte der in Europa anfallenden Kunststoffabfälle recycelt werden. Das deutsche Verpackungsgesetz schreibt ab 2022 eine Recyclinquote von 70 % nur für das werkstoffliche Recycling vor [4]. In Bezug auf die Qualität von Kunststoffabfällen sind diese Ziele ehrgeizig. Das chemische Recycling wird von diesem Gesetz noch nicht als Recyclingoption für das mechanische Recycling akzeptiert. Viele Kunststoffabfälle können jedoch nur schwer zu Neuware recycelt werden. Viele Beteiligte fordern deshalb eine verstärkte und vor allem getrennte Sammlung von Kunststoffverpackungsabfällen. Damit können mechanische Recyclinganlagen mit mehr und besserem Recyclingmaterial versorgt werden. Das rohstoffliche Recycling, auch chemisches Recycling genannt, wird von den Beteiligten häufig als ein bevorstehender Wegbereiter für den Umgang mit gemischten und kontaminierten Kunststoffabfällen gesehen. [3]

Das rohstoffliche Recycling spielt bisher in Deutschland und weltweit nur eine untergeordnete Rolle. Der technische Aufwand ist hoch und der wirtschaftliche Nutzen ist gering, weil Neuware bei Erdölpreisen unter 80 USD/Barrel kostengünstiger aus fossilen Quellen hergestellt werden kann. Geht man jedoch von einer postfossilen Gesellschaft aus, so müssen in einer Kreislaufwirtschaft Materialien auf einem möglichst hohem Komplexitätsgrad gehalten werden. Je mehr die Struktur von Abfallströmen verloren geht, desto mehr Aufwand muss bei der Herstellung von Neuware aufgebracht werden. Werkstoffliches Recycling ist demnach prinzipiell dem rohstofflichen Recycling vorzuziehen, rohstoffliches Recycling der thermischen Verwertung.

Im Rahmen eines derzeit durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt geförderten Projektes, wird der grundsätzlichen Frage nachgegangen, ob bzw. unter welchen Bedingungen eine wirkliche Kreislaufwirtschaft bei Kunststoffen durch die Depolymerisation von Polyolefinen mittel- oder langfristig möglich ist und ob das rohstoffliche Kunststoffrecycling tatsächlich auch eine wirtschaftliche Alternative zur energetischen Verwertung sein kann. Das Projekt hat vor diesem Hintergrund das Ziel die Positionierung des rohstofflichen Recyclings/der Kunststoffpyrolyse im Gesamtsystem des Kunststoffrecyclings stoffbezogen herauszuarbeiten, einen aktuellen Überblick über den Entwicklungsstand der Depolymerisationstechnologien im Kunststoffrecycling und den Stand der wissenschaftlichen Evaluierung zu geben. Dazu sollen Langzeitversuche an einer Verölungsanlage, der sogenannten Logoil-Technologie, durchgeführt werden, um weitere Erkenntnisse hinsichtlich der bisher noch offenen Fragen zu den Produkt-Ausbeuten, Produkt-Qualitäten und der Prozessstabilität auf Grundlage einer geschlossenen Bilanzierung [1] zu ermöglichen. Ebenso soll die Marktfähigkeit der Produkte als chemische Rohstoffe bewertet werden, absehbare Tendenzen der internationalen Technologieentwicklung identifiziert werden und dabei detailliert Chancen und Risiken sowie die Rahmenbedingungen abgeleitet werden, die für eine weitere Förderung der Kunststoffabfallbehandlung in Deutschland vorhanden sind bzw. geschaffen werden müssen.

1. Beschreibung der aktuellen und einer möglichen postfossilen Situation

Derzeit werden in Deutschland etwa 11,02 Mt Kunststoffe pro Jahr hergestellt und etwa 6,15 Mt pro Jahr werden als Recyclingmaterial gesammelt [8]. Die gesammelten Kunststoffabfälle – vor allem Post-Consumer-Kunststoffe – machen mit insgesamt 5,2 Mt pro Jahr rund 44 % des in Deutschland verwendeten Kunststoffs aus [8]. Die Qualität von Post-Consumer-Materialien unterscheidet sich aufgrund von Verunreinigungen (schlechte Sortierung, Füllstoffe, Additive, Lacke, Verbundmaterialien und Anbackungen) stark. Hochwertige Abfallströme mit 0,4 Mt pro Jahr werden als Ersatz für anspruchsvolle Anwendungen aus Neukunststoffen verwendet. Nicht sortenreine Materialien mit minderwertigen Eigenschaften (z.B. Farbe, Stabilität) mit 0,4 Mt pro Jahr werden hauptsächlich in der Bauindustrie als Ersatz für Beton, Holz oder Stahl verwendet [8]. Der Rest des Post-Consumer-Materials wird exportiert, als Ersatzbrennstoff verwendet oder direkt der Abfallverbrennung zugeführt [8]. Durch eine bessere Sammlung und Sortierung allein sind keine deutlich höheren Recyclingquoten zu erwarten. Derzeit enthalten Kunststoffabfällen eine Vielzahl von Verunreinigungen, sodass auch auf eine höhere Rezyklierbarkeit der Materialien geachtet werden muss [7].

Geht man von einem postfossilen Szenario aus, dass 2050 entsprechend den Klimazielen weitestgehend umgesetzt sein soll, so müssen die Bemühungen dahin gehen, dass möglichst viel Kohlenstoff im Kreislauf geführt wird. Will man aber in einem postfossilen Szenario eine effiziente Kreislaufwirtschaft, bei der aus Abfällen Neuware entsteht, gewährleisten, so kann zusätzlich zum werkstofflichen Recycling auch

rohstoffliches Recycling einen Beitrag leisten. Abfallströme müssen dazu möglichst rein erfasst, Technologien zum Sammeln, Trennen und Behandeln stark kontaminierter Materialien effizient gestaltet werden, da diese ebenfalls Energie und Ressourcen verbrauchen. Saubere Monomaterialien wie zum Beispiel transparente PET-Flaschen können leicht durch mechanische Recyclingprozesse verwendet, gesammelt und in Neuware umgewandelt werden. Um aus gemischten Kunststoffmaterialien, wie eingefärbte Produkte, Compounds, kontaminierte und unhygienische Materialien Neuware zu erhalten muss rohstofflich recycelt werden. In einem postfossilen Szenario sollten dann als Brennstoff nur die Abfälle verwendet werden, die nur mit zu hohem Aufwand recycelt werden können.

2. Depolymerisationstechnologien

In der Literatur werden viele Depolymerisationsverfahren beschrieben. Sie unterscheiden sich in der Art des Reaktors, den Bedingungen, ob Katalysatoren verwendet werden oder ob Wasserstoff verwendet wird (z.B. [6, 9-12, 15]). Zur Vereinfachung der Klassifizierung werden zwei verschiedene Wege für die Polyolefin-Depolymerisation in Betracht gezogen.

Die erste ist die Verölung, welche thermisch oder katalytisch in einem kontinuierlichen Rührkesselreaktor oder einem vergleichbaren System durchgeführt werden kann. Der Recyclingkunststoff wird bis auf die gewünschte Reaktionstemperatur gebracht, bei der thermisches oder katalytisches Cracken auftritt. In einigen technischen Ansätzen wird ein Startöl verwendet, um die Viskosität des Reaktionsgemisches zu verringern und damit den Wärmetransport zu verbessern [11, 13]. Die Reaktion findet in flüssiger Phase statt. Je nach Siedepunkt der Komponenten und deren Löslichkeit in der flüssigen Phase werden die Produkte freigesetzt. Das Produkt besteht aus Ölen, Gasen und einer Wachphase mit den festen Rückständen (u.a. Füllstoffe, Katalysatoren, Koks). Typischerweise muss ein Teil der flüssigen Phase als Wachsfraction entfernt werden, in der alle Feststoffe enthalten sind [6, 11]. Die Menge dieser Fraktion hängt von der Menge der Feststoffe im Ausgangsmaterial ab und muss verwertet oder entsorgt werden. Katalysatoren erhöhen die Gasausbeute. Die Gasfraktion kann zur Deckung des Wärmebedarfs verwendet werden. Da das Einsatzmaterial verunreinigt vorliegt und die Verunreinigungen in die Produkte gelangen müssen diese gereinigt werden. Das betrifft das entstehende Gas, das Produktöl, Abwässer und auch die Wachsfraction mit Feststoffen. Erst nach einem entsprechenden Raffinierungsschritt (Hydrotreating) und der Entfernung von Heteroatomen (u.a. Cl, N, O, S) kann das Produkt in einem Steamcracker verwendet werden. Die erzeugten Monomeren stehen zur erneuten Polymerprodukte zur Verfügung. BASF stellt derzeit diesen Weg als ChemCycling vor.

Die zweite Technologie ist die klassische Pyrolyse in einem Drehrohrofen, Schneckenreaktor oder Fließbettreaktor, wobei mit und ohne Katalysator gearbeitet werden kann. Der gesamte Kunststoff wird in Öl, Gas und Koks umgewandelt. Typischerweise erfolgt die Pyrolyse bei höheren Temperaturen als die Verölung. Aufgrund dessen sind die

Reaktionsgeschwindigkeit und die Raum-Zeit-Ausbeuten aber auch die Gasausbeuten höher als bei der Verölung. Katalysatoren verschieben das Produktspektrum hin zu mehr verzweigten Kohlenwasserstoffen und olefinreichen Gasen [13]. Bei der Verwendung realer Kunststoffströme müssen die Produkte ebenfalls aufbereitet werden, da sie nicht den Anforderungen für die chemische Industrie entsprechen. Neben der Verölung und Pyrolyse sind alternative Verfahren wie die hydrothermale Verflüssigung [5] und das Hydrocracken [15] möglich.

Alle Depolymerisationswege haben ihre Vor- und Nachteile, insbesondere hinsichtlich des Standorts und der Einbindung in die nachgelagerten Prozesse. Die Verölung von Kunststoffen kann dezentral erfolgen. Eine Pyrolyse mit überwiegend Gasprodukten sollte zentral an einem Chemiestandort integriert werden, da eine Verflüssigung zu Flüssiggas einen zusätzlichen Aufwand bedeutet.

Die Qualität des Einsatzstoffs beeinflusst in beiden Fällen entscheidend den Depolymerisationsprozess (u.a. Produktbildung, Verkokung, Ablagerungen) und den nachgelagerten Aufwand zur Produktaufbereitung. Die Hauptstörkomponenten sind Chlor, Säuren, Stickstoffkomponenten und Feststoffe, die durch Verunreinigungen (schlechte Sortierung, Füllstoffe, Zusatzstoffe, Lacke, Verbundstoffe und Anbackungen) in die Produkte gelangen. Die Aufbereitung der Einsatzstoffe als Kostenfaktor auf der einen Seite und die Investitions- und Prozesskosten auf der anderen Seite beeinflussen die Wirtschaftlichkeit des rohstofflichen Recyclings.

3. Einsatz von Katalysatoren

Bei der Verölung im Rührkesselreaktor werden überwiegend flüssige Produkte und eine geringe Gasentwicklung beobachtet. Die Verwendung von Katalysatoren senkt die Depolymerisationstemperatur bei HDPE um deutlich um 100 °C (Bild 1) und erhöht die Menge an Gasen. Die Pyrolyse im Drehrohrofen und insbesondere mit Katalysatoren zeigt dagegen bei längeren Verweilzeiten und höheren Temperaturen überwiegend gasförmige Produkte. Das Produktspektrum ist deutlich eingeeengt (Bild 2). Als chemische Produkte kann bei der Verwendung von Katalysatoren hauptsächlich Propen (35 %) und Butene (40 %) gewonnen werden. Im Produktöl ist durch den Einsatz von Katalysatoren auch ein erhöhter BTEX-Anteil möglich.

Der Einsatz von Katalysatoren ermöglicht damit die Herstellung von Propen, Butenen und Aromaten, die direkt als Grundchemikalien eingesetzt werden können [14]. Die Funktionalität der Katalysatoren kann durch Stoffe wie Polyamide stark beeinflusst werden, sodass diese möglichst nicht im Einsatzstoff enthalten sein sollten [14]. Die Produktströme könnten durch Absorptionstechniken (Gastrennung) und Extraktionstechniken (aromatische Trennung) verbessert werden (Bild 3). Im Gegensatz dazu scheint die Aufbereitung von Pyrolyseölen und deren Einsatz im Steamcracker komplexer zu sein. Die Öle müssen mit Wasserstoff behandelt werden. Der Prozess hängt von der Qualität der Öle ab, die hauptsächlich Heteroatome betreffen.

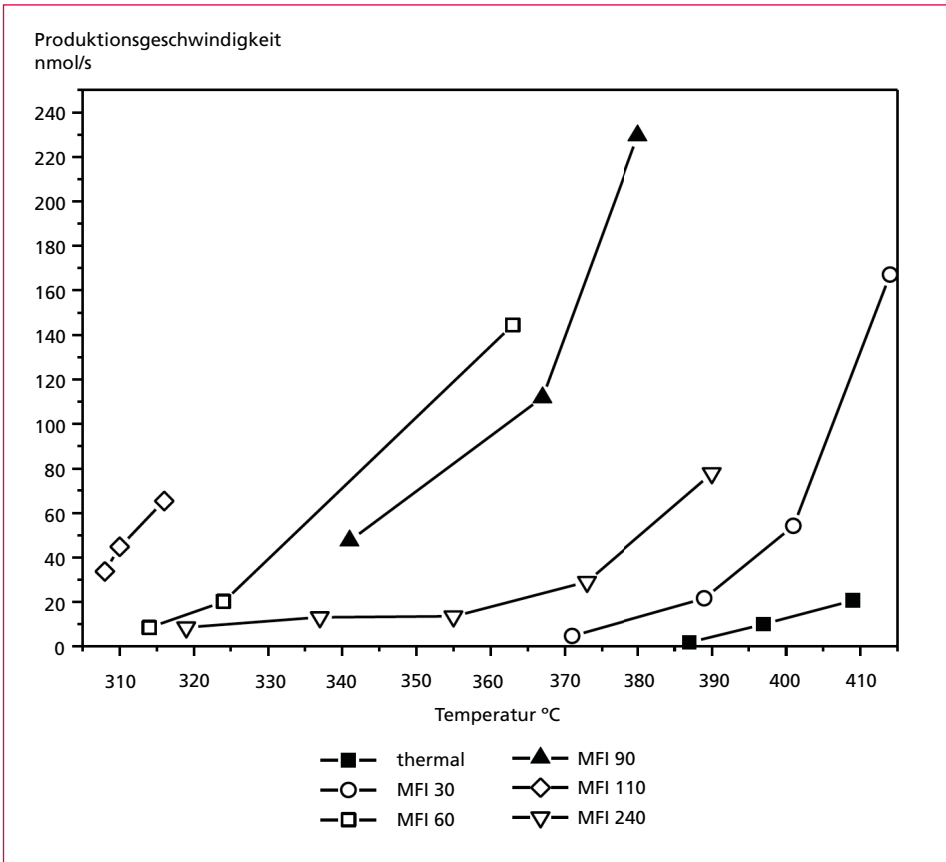


Bild 1: Produktmenge in Abhängigkeit von der Cracktemperatur für verschiedene Katalysatoren und thermisches Cracken als Maß für die Bindungsspaltung

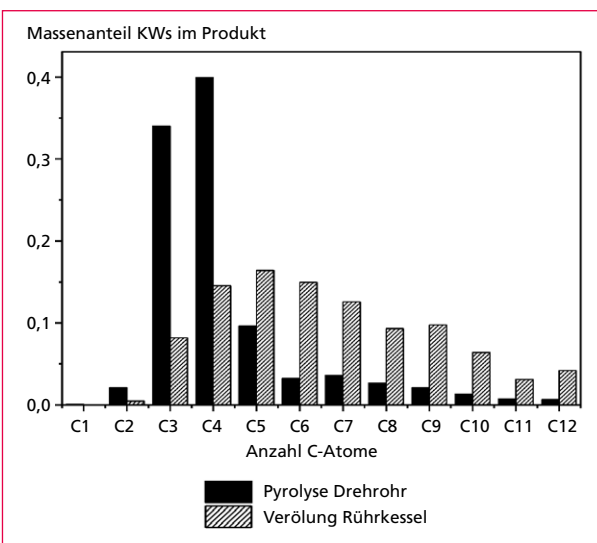


Bild 2:

Produktverteilung für verschiedene Reaktoren bei 390 °C, MFI 240 und Katalysator-Kunststoff-Verhältnis von 1 %

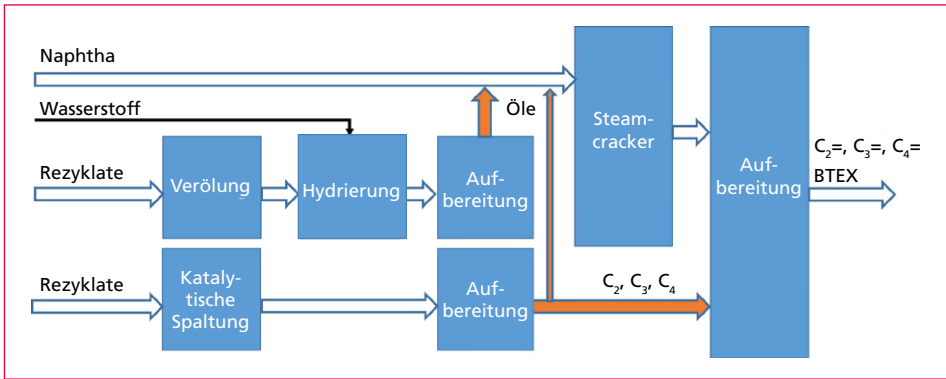


Bild 3: Wege für Produkte aus Pyrolyse und katalytischem Cracken

4. Langzeitversuch und Bilanzierung

Im Rahmen eines Sachverständigengutachtens zur Evaluation neuer Entwicklungen bei alternativen thermischen Abfallbehandlungsanlagen mit dem Schwerpunkt Verölungsverfahren wurde ein kurzer Überblick der aktuell angebotenen bzw. betriebenen Verfahren in Deutschland gegeben [11]. Im Weiteren wurde untersucht, inwieweit diese Verfahren zur Erzeugung von Sekundärressourcen geeignet sind und welche Abfälle (Art und Menge) hierbei zum Einsatz kommen können. Dabei wurden drei Verfahren im Detail betrachtet, mit Schwerpunkt auf Prozessen, die stofflich verwertbare Produkte aus spezifischen Abfallfraktionen, wie getrennt erfassten Kunststoffabfallfraktionen oder Altreifen, adressieren. Das tatsächliche Potenzial der betrachteten drei Verfahren, insbesondere unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Rahmenbedingungen konnte im Sachverständigengutachten nicht ermittelt werden, da entsprechende Langzeitversuche im industriellen Maßstab von den Systemanbietern bislang nicht durchgeführt wurden bzw. die Daten aus bislang durchgeführten Versuchen nicht vollständig vorlagen, um eine geschlossene Bilanzierung (Massen-, Stoff- und Energiebilanz) der Anlagen als Grundlage für die weitere Bewertung zu erstellen [16].

Im Rahmen eines derzeit durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt geförderten Projektes sollen diese noch ausstehenden Langzeitversuche an einer Verölungsanlage, der sogenannten Logoil-Technologie, durchgeführt werden, um weitere Erkenntnisse hinsichtlich der bisher noch offenen Fragen zu den Produkt-Ausbeuten, Produkt-Qualitäten und der Prozessstabilität auf Grundlage einer geschlossenen Bilanzierung [1] zu ermöglichen.

Folgende Randbedingungen wurden u.a. für den Versuch festgelegt:

- Als Inputstoff sollte zunächst eine reines Kunststoff-Material aus Polypropylen (PP) zum Einsatz kommen, im Weiteren sollten reale Einsatzstoffe untersucht werden.
- Aufgrund des beim Anfahren benötigten Vorlage-Öl (sogenanntes Start-Öl) im Reaktor der Logoil-Technologie, wurde eine Anfahrphase für den Langzeitversuch festgelegt. In dieser muss die fünffache Menge bezogen auf den Reaktorinhalt an

- Im Bilanzkreis B ist zusätzlich das zurückgeführte Produkt-Öl dargestellt, welches den Reaktorfüllstand ausgleicht und zugleich die Viskosität der im Reaktor umgewälzten Flüssigkeit stabilisiert.
- Am Ende der achttägigen Versuchsdauer ist zu erkennen, dass der Reaktorinhalt geringer ist (240 kg Startöl bei Versuchsstart/145 kg bei Versuchsende), was auf die defekten Füllstandsdetektoren zurückzuführen ist.
- Insgesamt ist zu erkennen, dass der Einfluss des Start-Öls in dieser Bilanz noch sehr groß ist. Die letzten entnommenen Proben vor dem Versuchsabbruch zeigten jedoch schon einen sehr geringen Anteil an Start-Öl in den Produkten. Dies bestätigt die Forderung, dass mindestens der Durchsatz der 5-fache Menge des vorgelegten Start-Öls (Reaktorvolumen) notwendig ist, um den Einfluss auf des Start-Öls zu minimieren und somit eine verlässliche Bilanz zu erstellen.

Hinsichtlich der Energiebilanz sind neben den massenbezogenen Energieströmen, insbesondere die nicht massenbezogenen Energieströme interessant (Wärmeverluste, Eigenbedarf für die Transportapparate und die Beheizung des Systems). Der Strombedarf lag spezifisch bei etwa $10 \text{ kWh/kg}_{\text{Einsatzstoff}}$, welcher als sehr hoch einzuschätzen ist (eingebrachte Energie über den Kunststoff liegt in der gleichen Größenordnung). Zurückzuführen ist dies auf den hohen Eigenbedarf für die Flüssigkeitsumwälzung im System, welche inputunabhängig betrieben wird. Das gleiche gilt für die Wärmeverluste. Entsprechend würde sich bei einem höheren Durchsatz auch ein geringerer spezifischer Energieaufwand pro kg Einsatzstoff ergeben.

Insgesamt handelt es sich bei der hier betrachteten Anlage um eine Technikumsanlage, welche zunächst so weiterentwickelt werden muss, um daraus weitere Erkenntnisse zu sammeln – der erste Schritt für die weitere Bewertung und Optimierung ist eine verlässliche Massen-, Stoff- und Energiebilanz die über die hier beschriebene Anfahrphase hinausgeht, um die Verölungstechnologie in relevanter Umgebung zu überprüfen. Dabei spielt nicht nur die Energiebilanz eine große Rolle, vielmehr ist auch die Frage der Schadstoffsenske in diesem Prozess (Halogene u.ä.) zu beantworten.

5. Zusammenfassung

Das rohstoffliche Recycling von Polyolefinen könnte insbesondere in einem postfossilen Szenario einen sinnvollen Beitrag zur Kreislaufwirtschaft leisten. Insbesondere polyolefinreiche Abfallfraktionen, die werkstofflich schlecht zu Neuware recycelt werden können, kommen dafür in Frage. Die dazu notwendigen Technologien sind jedoch noch nicht auf dem Markt verfügbar bzw. werden derzeit noch in relevanter Umgebung überprüft und getestet.

Hinsichtlich der Umsetzung des rohstofflichen Recyclings kann das Produktspektrum durch die Verfahrenswahl und durch den Einsatz von Katalysatoren beeinflusst werden, ist aber in jedem Fall sehr stark vom jeweiligen Einsatzstoff und dessen Heterogenität abhängig.

Störstoffe beeinflussen das Verhalten bei der Depolymerisation und die Qualität der Produkte stark. Der Aufwand zur weiteren Aufbereitung der Produkte nimmt damit mit dem Gehalt an Störstoffen zu. Um das rohstoffliche Recycling wirtschaftlich zu gestalten sollte bei der Produktgestaltung auf Recyclinggerechtigkeit Wert gelegt werden. Die Sammlung und Sortierung sollte möglichst reine Stoffströme gewährleisten. Insbesondere Stoffe, die das chemische Recycling erschweren (u.a. chlorhaltige Stoffe wie PVC, Polyamide, Polyester, Duroplaste) sollten minimiert werden.

6. Quellen

- [1] Beckmann, M.; Scholz, R.; Pohl, M.: Bilanzierung und energetische Bewertung von Verfahren zur Abfallbehandlung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall - Band 9. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2012, S. 147-192. ISBN 978-3-935317-78-8
- [2] European Commission: A European Strategy for Plastics in a Circular Economy. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the committee of Regions: SWD(2018) 16 final. Brüssel: 16. Januar, 2018.
- [3] European Commission: Assessment report of the voluntary pledges under Annex III of the European Strategy for Plastics in a Circular Economy. Commission Staff Working Document: SWD(2019) 91 final. Brüssel: 4. März 2019.
- [4] Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die hochwertige Verwertung von Verpackungen: VerpackG 2017.
- [5] Gollakota, A.; Kishore, N.; Gu, S.: A review on hydrothermal liquefaction of biomass. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews 2018, 81, S. 1378-1392. DOI: 10.1016/j.rser.2017.05.178.
- [6] Haig, S.; Morrish, L.; Morton, R.; Onwuamaegbu, U.; Speller, P.; Wilkinson, S.: Plastics to oil products Final Report. Project Code: IFM002. 2013. www.zerowastescotland.org.uk/content/plastics-oil-report-0 erreichbar
- [7] Institut cyclos-HTP GmbH: Prüfung und Testierung der Recyclingfähigkeit: Anforderungs- und Bewertungskatalog des Institutes cyclos-HTP zur EU-weiten Zertifizierung 2019.
- [8] Lindner, C.; Schmitt, J.: CONVERSIO Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2017: Kurzfassung 2018.
- [9] Lopez, G.; Artetxe, M.; Amutio, M.; Bilbao, J.; Olazar, M.: Thermochemical routes for the valorization of waste polyolefinic plastics to produce fuels and chemicals. A review. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, 73, S. 346-368. DOI: 10.1016/j.rser.2017.01.142.
- [10] Ocean Recovery Alliance: 2015 Plastics to Fuel Project: Developer's Guide. Im Auftrag von: The American Chemistry Council. Hong Kong: Juni 2015
- [11] Pohl, M.; Quicker, P.: Evaluation neuer Entwicklungen bei alternativen thermischen Abfallbehandlungsanlagen mit dem Schwerpunkt Verölungsverfahren: Abschlussbericht. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Texte | 77/2018.

- [12] Quicker, P.; Neuerburg, F.; Noël, Y.; Huras, A.; Eyssen, R. G.; Seifert, H.; Vehlow, J.; Thomé-Kozmiensky, K.: Sachstand zu den alternativen Verfahren für die thermische Entsorgung von Abfällen, UBA Texte 17/2017
- [13] Scheirs, J.; Kaminsky, W. (Hrsg.): Feedstock recycling and pyrolysis of waste plastics: Converting waste plastics into diesel and other fuels. Chichester (UK), Hoboken (NJ): J. Wiley & Sons, Wiley series in polymer science, 2006.
- [14] Seitz, M.; Schröter, S.; Thamm, D.; Engelhardt, A.; Klapproth, J.; Klätte, M.; Cepus, V.: Thermochemical Depolymerisation Technologies to Recover Olefins. Circular Economy – A Fresh View on Petrochemistry – DGMK Conference, 9.-11. Oktober, 2019 in Dresden.
- [15] Tukker, A.: Plastics waste: Feedstock recycling, chemical recycling and incineration, Rapra review reports. Report 148, v. 13, no. 4, Shawbury, UK: Rapra Technology Ltd, 2002.
- [16] VDI-Fachbereich Umwelttechnik: Methoden zur Bewertung von Abfallbehandlungsverfahren. VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt (Hrsg.): VDI 3925, September 2016

Ansprechpartner



Dr.-Ing. Martin Pohl

Geschäftsführender Gesellschafter
ENVERUM Ingenieurgesellschaft für
Energie- und Umweltverfahrenstechnik mbH
Hohe Straße 17
01069 Dresden, Deutschland

Weitere beteiligte Institutionen

Steinbeis-Transferzentrum Ressourcen-Technologie
und Management

Hochschule Merseburg

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, Peter Quicker, Alexander Gosten (Hrsg.):

Energie aus Abfall, Band 17

ISBN 978-3-944310-50-3 Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH

Copyright: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Dr.-Ing. Stephanie Thiel
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH • Neuruppin 2020

Redaktion und Lektorat: Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc.

Erfassung und Layout: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Claudia Naumann-Deppe,
Sarah Pietsch, Ginette Teske, Janin Burbott-Seidel, Roland Richter,
Cordula Müller, Gabi Spiegel

Druck: Universal Medien GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funk-sendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.