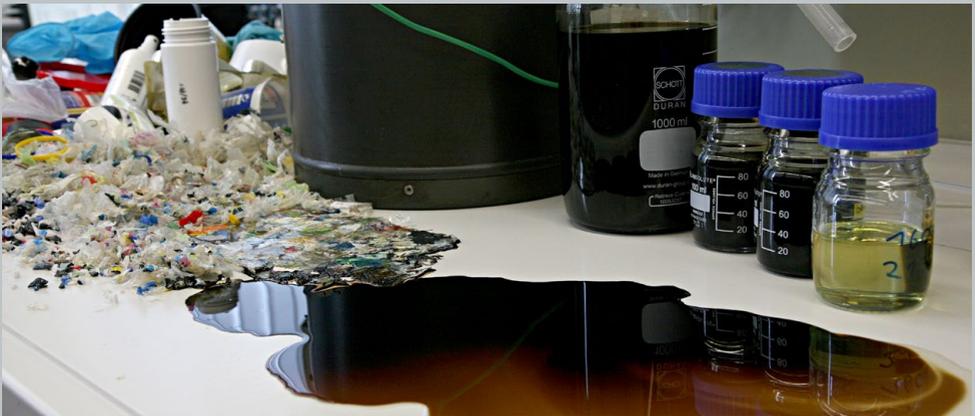




Mathias Seitz, Valentin Cepas, Markus Klätte, Dirk Thamm, Martin Pohl

Evaluierung unter Realbedingungen von thermisch-chemischen Depolymerisationstechnologien (Zeretzungsverfahren) zur Verwertung von Kunststoffabfällen



Beauftragt und fachlich begleitet von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

HOME
HOCHSCHULE
MERSEBURG

University of
Applied Sciences

*Mathias Seitz, Valentin Cepus, Markus Klätte,
Dirk Thamm, Martin Pohl*

Evaluierung unter Realbedingungen von
thermisch-chemischen Depolymerisations-
technologien (Zersetzungsverfahren)
zur Verwertung von Kunststoffabfällen

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Mathias Seitz (Hochschule Merseburg)

Prof. Dr. Valentin Cepas (Hochschule Merseburg)

Markus Klätte (Steinbeis-Transferzentrum R.T.M.)

Dr. Dirk Thamm (Hochschule Merseburg)

Dr.-Ing. Martin Pohl (ENVERUM Ingenieurgesellschaft
für Energie- und Umweltverfahrenstechnik mbH)

Mitarbeitende

Jan Klapproth (Hochschule Merseburg)

Armin Engelhardt (Hochschule Merseburg)

Timo Stam-Creutz (Hochschule Merseburg)

Andreas Kohlsmann (Hochschule Merseburg)

Dr. Uwe Saueremann (Steinbeis-Transferzentrum R.T.M.)

Liane Aue (Hochschule Merseburg)



**Steinbeis-Transferzentrum
Ressourcen-Technologie
und Management**

**Mathias Seitz, Valentin Cepus, Markus Klätte,
Dirk Thamm, Martin Pohl**

Evaluierung unter Realbedingungen von thermisch-chemischen Depolymerisati- onstechnologien (Zeretzungsverfahren) zur Verwertung von Kunststoffabfällen

**Beauftragt und fachlich begleitet von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt**

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

HoME
HOCHSCHULE
MERSEBURG

University of
Applied Sciences

Hinweis im Sinne des Gleichbehandlungsgesetzes: Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit wird auf eine geschlechtsspezifische Differenzierung verzichtet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne des Gleichbehandlungsgesetzes für alle Geschlechter.

Impressum

© 2020 Steinbeis-Edition

Alle Rechte der Verbreitung, auch durch Film, Funk und Fernsehen, fotomechanische Wiedergabe, Tonträger jeder Art, auszugsweisen Nachdruck oder Einspeicherung und Rückgewinnung in Datenverarbeitungsanlagen aller Art, sind vorbehalten.

Mathias Seitz, Valentin Cepus, Markus Klätte, Dirk Thamm, Martin Pohl
Evaluierung unter Realbedingungen von thermisch-chemischen Depolymerisationstechnologien
(Zersetzungsverfahren) zur Verwertung von Kunststoffabfällen

1. Auflage, 2020 | Steinbeis-Edition, Stuttgart

ISBN 978-3-95663-234-1

Schriftenreihe „Ressourcen-Technologie und Management“ des Steinbeis-Transferzentrums R.T.M. (Hrsg.)

Satz: Steinbeis-Edition | Titelbild: Mathias Seitz (Hochschule Merseburg)

Grafiken und Fotos: Die Autoren, sofern nicht anders angegeben.

Grafische Unterstützung: Carolin Weißelberg (Hochschule Merseburg)

Steinbeis ist mit seiner Plattform ein verlässlicher Partner für Unternehmensgründungen und Projekte. Wir unterstützen Menschen und Organisationen aus dem akademischen und wirtschaftlichen Umfeld, die ihr Know-how durch konkrete Projekte in Forschung, Entwicklung, Beratung und Qualifizierung unternehmerisch und praxisnah zur Anwendung bringen wollen. Über unsere Plattform wurden bereits über 2.000 Unternehmen gegründet. Entstanden ist ein Verbund aus mehr als 6.000 Experten in rund 1.100 Unternehmen, die jährlich mit mehr als 10.000 Kunden Projekte durchführen. So werden Unternehmen und Mitarbeiter professionell in der Kompetenzbildung und damit für den Erfolg im Wettbewerb unterstützt. Die Steinbeis-Edition verlegt ausgewählte Themen aus dem Steinbeis-Verbund.

215424-2020-12 | www.steinbeis-edition.de

Danksagung

Diese Studie wurde nur durch die Unterstützung von vielen Partnern möglich. Zunächst möchten wir dem Auftraggeber dieser Studie, der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, danken, die zum größten Teil auch die Finanzierung dieses Projektes übernommen hat.

Besonders danken wir dem Beirat, Herrn Franz-Peter Heidenreich (DBU), Herrn Dr. Thomas Probst (bvse) und Herrn Prof. Dr. Peter Quicker (RWTH Aachen) für die fachliche und z. T. organisatorische Unterstützung, auch und gerade in schwierigen Situationen. Nicht zuletzt auch unseren herzlichen Dank an Herrn Markus Gleis vom Umweltbundesamt für seine begleitende Beratung des Vorhabens.

Herzlich danken möchten wir auch den Unternehmern der Logmed Cooperation GmbH, Herrn Göldner, sowie der Biofabrik GmbH, Herrn Riedel für Ihre Bereitschaft, Versuche durchzuführen.

Zuletzt einen ganz besonderen Dank an das Team der Hochschule Merseburg, das den Löwenanteil des Projektes getragen hat.

Die Autoren, September 2020

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	10
Tabellenverzeichnis	13
Abkürzungsverzeichnis.....	15
Definitionen (Glossar)	25
1 Einleitung	33
2 Hintergrund und gesellschaftliche Rahmenbedingungen.....	34
2.1 Europäische und deutsche Strategie zum Kunststoffrecycling.....	35
2.1.1 Europäische Ebene	35
2.1.2 Deutsche Ebene.....	38
2.2 Die Haltung von Verbänden und NGOs	41
2.2.1 Abfallhierarchie	41
2.2.2 Maßnahmen zur Einführung einer Circular Economy	42
2.3 Studien zur Verfahrenseinordnung und -bewertung.....	45
2.3.1 Kurzbeschreibung der Verfahren zum chemischen Recycling	45
2.3.2 Bewertungen von Verfahren	47
2.3.3 Bewertung durch Lebenszyklusanalysen (LCA)	50
2.4 Gesellschaftliche Rahmenbedingungen – Fazit	52
3 Ziel und Gegenstand der Studie	53
3.1 Studienansatz.....	54
3.2 Festlegungen für diese Studie	55
4 Ausgangslage.....	57
4.1 Analyse zur Verfügbarkeit der Einsatzstoffe.....	57
4.1.1 Produktion von Polyolefinen.....	58
4.1.2 Kunststoffströme Deutschland	60
4.1.3 Kunststoffsammlung, -sortierung und -verwertung.....	62
4.1.4 Bewertung der Rohstoffverfügbarkeit von Polyolefinen	68
4.2 Analyse zur Qualität der Einsatzstoffe	69
4.2.1 Qualität	70
4.2.2 Bewertung der Rohstoffqualität.....	73

4.3	Analyse zur Wirtschaftlichkeit.....	74
4.3.1	Verwertbarkeit der Depolymerisationsprodukte.....	74
4.3.3	Preise für die Einsatzstoffe.....	75
4.3.3	Preise für die Depolymerisationsprodukte.....	76
4.3.4	Qualitätsanforderungen für die Depolymerisationsprodukte	79
4.3.5	Bewertung der Wirtschaftlichkeit	80
4.4	Bewertung der Rahmenbedingungen.....	84
4.4.1	Bewertung aus heutiger Sicht	84
4.4.2	Bewertung aus postfossiler Sicht.....	85
4.4.3	Fazit.....	87
5	Stand der Technik	88
5.1	Grundlagen	91
5.1.1	Energieaufwand.....	91
5.1.2	Energieeintrag in die Anlage.....	93
5.1.3	Kinetik.....	94
5.1.4	Einfluss der Einsatzstoffe	97
5.2	Beschreibung der Depolymerisationstechnologien	107
5.2.1	Vorgehensweise.....	108
5.2.2	Beschreibung der Verölungsverfahren	109
5.2.3	Beschreibung der Pyrolyseverfahren	118
5.2.4	Verfahrenstechnische Herausforderungen.....	119
5.2.5	Bilanzierung.....	121
6	Bilanzierung von Depolymerisationsanlagen zur Verifizierung	123
6.1	Beschreibung der Anlagen und der Untersuchungsmethodik	124
6.1.1	LogOil – Verölung.....	124
6.1.2	Biofabrik Technologies GmbH – Pyrolyse.....	127
6.2	Analyse der Eingangsstoffe	130
6.3	Analyse der Produkte.....	132
6.3.1	Produktöle	133
6.3.2	Gaszusammensetzung.....	143
6.3.3	Anorganische Spurenanalytik.....	143
6.3.4	Schadstoffsenken	147
6.3.5	Bewertung.....	148

6.4	Massen- und Energiebilanz	149
6.4.1	Untersuchungen an der Verölungsanlage LOGOIL	149
6.4.2	Untersuchungen an der Biofabrik-Prototyp- Pyrolyseanlage	152
6.5	Bewertung der untersuchten Technologien	155
6.5.1	LogOil	155
6.5.2	Biofabrik	156
6.5.3	Bewertung im Vergleich zum Stand der Technik	160
7	Zusammenfassung und Bewertung	162
7.1	Bewertung aus heutiger Sicht	164
7.2	Bewertung aus postfossiler Sicht	167
7.3	Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen	169
	Literaturangaben	171
	Anhang	185
	A. Analyse Eingangsstoffqualität (Ergänzung)	185
	B. Analyse der Produkte (Ergänzung)	192

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Stoffströme in einer Circular Economy für unterschiedliche Recyclingwege	47
Abbildung 2: Europäische Kunststoffproduktion der vergangenen Jahre, Anteil Kunststoffherstellung an Erdölverbrauch.....	59
Abbildung 3: Anteil von Recyclingmaterial für unterschiedliche Stoffe nach Inputquote Post-Consumer- und Post-Industrial-Abfälle	61
Abbildung 4: Stoffstrom der Verwertung von Leichtverpackungen allein aus dem Dualen System	64
Abbildung 5: Vereinfachter Stoffkreislauf für Kunststoffe	65
Abbildung 6: Preisentwicklung Basischemikalien in der Erdölchemie.....	78
Abbildung 7: Ermittlung des break even auf Basis der verfügbaren Datenlage, preis- und währungsbereinigt	83
Abbildung 8: Darstellung des Erdölpreises von 1987–2019 mit break even für Depolymerisationsverfahren.....	84
Abbildung 9: Einordnung der unterschiedlichen Verwertungsarten in eine Circular Economy unter Berücksichtigung der Qualität und der Anwendungsbreite	87
Abbildung 10: Abhängigkeit des minimalen Energiebedarfs zum Aufheizen und Spalten von PE-HD zu linearen 1-Olefinen und die daraus berechnete Energieeffizienz ohne Wärmerückgewinnung aus den Spaltprodukten	93
Abbildung 11: Thermische und katalytische Verölung mit unterschiedlichen Katalysatoren bei 1 % Katalysatorzugabe	102
Abbildung 12: Thermische und katalytische Verölung mit unterschiedlichen Katalysatoren bei 1 % Katalysatorzugabe mit und ohne PA 6-Verunreinigungen von 1 %.....	103
Abbildung 13: Einfluss von 1 % PA 6 auf die Ausbeute für die thermische und katalytische Pyrolyse (1 % Katalysator) im Drehrohrreaktor bei 500 °C	104
Abbildung 14: Ausbeute für die katalytische Pyrolyse im Drehrohrreaktor bei 500 °C, 1 % Katalysator bei verschiedenen Zugaben von Störkomponenten.....	105

Abbildung 15: Produktverteilung für eine katalytische Verölung und Pyrolyse bei gleichen Bedingungen (390 °C, 1 % Pulverkatalysator MFI M240, PE-HD); Olefinanteil ca. 83 %....	107
Abbildung 16: LogOil-Anlage	126
Abbildung 17: Schema der LogOil-Anlage mit Dosierung, Reaktor (1), Kolonne (2), Kondensator (3) und zwei Umlaufsystemen...	127
Abbildung 18: Prototypanlage Biofabrik Dresden mit einem Modul.....	128
Abbildung 19: Anlagenschema geplante kommerzielle P1000 Anlage Biofabrik.....	129
Abbildung 20: Totalionenchromatogramm der Pyrolyseprodukte Ö11BF1 (oben) und Ö1008/2018 (unten).....	134
Abbildung 21: Totalionenchromatogramme der Öl-Mischprobe 008/2018.....	135
Abbildung 22: Totalionenchromatogramm Ö11BF1 (org. Phase aus dem Versuch Biofabrik 1) mit Angabe der Anzahl an Kohlenstoffatomen je Signalgruppe ab C9	136
Abbildung 23: Differentielle Molmassenverteilung für die Ölproben 008/2018 (Startöl korrigiert), Ö11BF1 und Ö11BF2; (keine Wachsprodukte)	137
Abbildung 24: Totalionenchromatogramme der Proben Ö12BF1 und Ö12BF2 (jeweils die wässrigen Phasen der Versuche BF1 und BF2)	139
Abbildung 25: Reaktorinhalt über die Versuchszeit – defekte Füllstandssensoren führen zu einer Verringerung des Reaktorinhaltes	150
Abbildung 26: Bilanzierung der Anfahrphase der LogOil-Technologie....	152
Abbildung 27: Bilanzierung der Versuche am 24.10.2019 – Einsatz von DSD-Material	153
Abbildung 28: Bilanzierung der Versuche am 25.10.2019 – Einsatz von handsortiertem DSD-Material	154
Abbildung 29: Mögliche, perspektivische Effizienzsteigerung durch direkte Verwertung olefinreicher Pyrolysegase beim Einsatz von Katalysatoren	166
Abbildung 30: Prozentuale Verteilung einer exemplarischen Sammlung von Wertstoffen nach visueller Kategorisierung	190

- Abbildung 31:** Prozentuale Verteilung einer exemplarischen Sammlung von Wertstoffen nach IR-spektroskopischer Bestimmung... 191
- Abbildung 32:** Lichtmikroskopische Abbildung eines Querschnitts einer Lebensmittelverpackung aus Folienverbundmaterial..... 192
- Abbildung 33:** Chromatogramm der Massenspur $m/z=78$ u der Öl-Mischprobe 008/2018 193
- Abbildung 34:** Chromatogramm von Ö11BF1 (organische Phase des Produktes aus dem Pyrolyseversuch Biofabrik 1) im Vergleich zwischen Totalionenchromatogramm (alle Ionen als Summenparameter) und den Zeigerionen (57 und 56) im Vergleich (Ausschnitt 23–25 min Retentionszeit)..... 194
- Abbildung 35:** Chromatogramm von Ö11BF1 (organische Phase aus dem Versuch Biofabrik 1) im Vergleich zu Totalionenchromatogramm (alle Ionen als Summenparameter) und den Zeigerionen im Vergleich (vorderer Teil von 0–10 min Retentionszeit)..... 195
- Abbildung 36:** Totalionenchromatogramm und Chromatogramme der Massenspuren $m/z=56, 57, 58, 78, 91, 115$ und 128 u der Öl-Mischprobe 008/2018 196
- Abbildung 37:** Chromatogramm von Ö11BF1 (organische Phase des Produktes aus dem Pyrolyseversuch Biofabrik 1) im Vergleich zwischen Totalionenchromatogramm (alle Ionen als Summenparameter) und den Zeigerionen (115, 128 und 178) im Vergleich 197
- Abbildung 38:** Totalionenchromatogramme von Ö11BF1 (organische Phase des Produktes aus dem Pyrolyseversuch Biofabrik 1) und Ö11BF2 (organische Phase des Produktes aus dem Pyrolyseversuch Biofabrik 2)..... 198

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Produktion von Petrochemikalien; Produktionsvolumen ausgewählter petrochemischer Primärprodukte in Deutschland im Jahr 2017	59
Tabelle 2: Stoffströme Polyolefine gesamt nach	66
Tabelle 3: Produktpreise bei einem Erdölpreis von 420 €/t (64 \$/bbl), Annahme, dass die Gase vollständig für den Prozess verwendet werden.	77
Tabelle 4: Spezifikation unterschiedlicher Zwischenprodukte zum Einsatz in der chemischen Industrie	80
Tabelle 5: Plausibilität Wirtschaftlichkeit bei 75 % Naphthausbeute ohne Preisbereinigung	82
Tabelle 6: Mechanismen zur thermischen Zersetzung ausgewählter Kunststoffe und Monomerausbeute nach.....	96
Tabelle 7: Verfahrensübersicht; geschätzte Angaben sind mit (g) gekennzeichnet. Die Datenqualität wurde mit ++ (gesichert), + (plausibel), 0 (schwer bewertbar, weil Technologievertriebsangaben) und – (inkonsistent) gekennzeichnet	113
Tabelle 8: Verfahrensübersicht zur Pyrolyse mit Angaben zu Einsatzstoffen, Produkten und Energiebedarf. Mit Ausnahme der DPR beruhen alle Angaben auf Veröffentlichungen der Technologieanbieter (Bewertung Datenqualität Tab. 7)	119
Tabelle 9: Analyse der Eingangsstoffe	131
Tabelle 10: Zusammenfassung mittlere molare Masse, Dichte und Anteile Alkan, Alken, Aromaten in den Produktölen.....	138
Tabelle 11: Organischen Schadstofffracht aller Produkte	140
Tabelle 12: Ergebnisse der Bestimmung PAK nach DIN 38414 in den verschiedenen Produktfraktionen bei LogOil und der Biofabrik.....	142
Tabelle 13: Ergebnisse der anorganischen Spurenanalytik im Verlauf des Versuches LogOil 008/2018	144
Tabelle 14: Ergebnisse der anorganischen Spurenanalytik im Verlauf des Versuches Biofabrik 1; (w) wässrige Phase	146

Tabelle 15: Ergebnisse der anorganischen Spurenanalytik im Verlauf des Versuches Biofabrik 2; (w) wässrige Phase	147
Tabelle 16: Vergleich der Versuche LogOil und Biofabrik	159
Tabelle 17: Übersicht der Massenanteile von Additiven	186
Tabelle 18: Ergebnisse der Bestimmung der leichtflüchtigen aromatischen Kohlenwasserstoffe (eingeschlossen BTEX) nach DIN ISO 22155	199
Tabelle 19: Gaszusammensetzung BF1 und BF2.....	200
Tabelle 20: Elemente im Einsatzstoff und dem Koks BF1.....	201
Tabelle 21: Elemente im Einsatzstoff und dem Koks BF2.....	202

Abkürzungsverzeichnis

ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer
ASA	Acrylester-Styrol-Acrylnitril
bbI	Barrel (159 l)
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BTEX	die aromatischen Kohlenwasserstoffe Benzol, Toluol, Ethylbenzol und die Xylole
CFK	Carbonfaserverstärkter Kunststoff
DSD	Duales System Deutschland
EBS	Ersatzbrennstoff
EPDM	Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuke
EPS	Expandiertes Polystyrol
EROEI	Energy Returned on Energy Invested (Erntefaktor)
EVAC	Ethylen-Vinylacetat-Copolymere (früher auch EVA)
FCC	Fluid Catalytic Cracking (flüssiges katalytisches Cracken)
FOB	Free On Board (frei an Bord) internationale Handelsklausel nach INCOTERMS
GC	Gaschromatographie
GC-MS	Gaschromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung
GFK	Glasfaserverstärkter Kunststoff
GWP	Global warming potential, greenhouse warming potential (Treibhauspotenzial)
HCN	Cyanwasserstoff (Blausäure)
HY	HY Modul HY Zeolith
KST	Kunststoff
LCA	Life Cycle Assessment (Lebenszyklusanalyse, auch Umweltbilanz oder Ökobilanz)
LVP	Leichtverpackungen
Ma.-%	Massenprozent
MCM	Mobil Composition of Matter – Gruppe mesoporöser Katalysatoren (Zeolithe)
MFI	zeolithischer Katalysatortyp
MKS	Mischkunststoff
MPO	Mischpolyolefine
MTG	Methanol To Gasoline (Methanol zu Benzin)
MTO	Methanol To Olefins (Methanol zu Olefinen)
MVA	Müllverbrennungsanlage
NBR	Nitrile Butadiene Rubber (Nitril-Butadien-Kautschuk)

NGO	Non-governmental organization (Nichtregierungsorganisation)
ORA	Ocean Recovery Alliance
PA	Polyamid
PAK	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
PBT	Poly-Butylen-Terephthalat
PC	Polycarbonat
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PEF	Polyethylendicarboxyfuranat
PE	Polyethylen
PE-HD	Polyethylen hoher Dichte – High Density Polyethylen
PE-LD	Polyethylen niedriger Dichte – Low Density Polyethylen
PE-LLD	lineares Polyethylen niedriger Dichte – Linear Low Density Polyethylen
PET	Polyethylenterephthalat
PHA	Polyhydroxyalkanoate
PLA	Polylactid Acid (Polymilchsäuren)
PMMA	Polymethylmethacrylat (bekannt als Plexiglas)
PO	Polyolefine; unter diesem Begriff werden die Kunststoffsorten PE (PE-HD/PE-LD) und PP zusammengefasst
POM	Polyoxymethylene (auch Polyacetale)
PP	Polypropylen
PS	Polystyrol
PVC	Polyvinylchlorid
PVDC	Polyvinylidenchlorid
RFA	Röntgenfluoreszenzanalyse
REACH	Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (Registration, Evaluation, Authorisation of Chemicals)
RZA	Raumzeitausbeute
SAN	Styrol-Acrylnitril
SBR	Styrene-butadiene rubber (Styrol-Butadien-Kautschuk, auch Styrol-Butadien-Copolymer)
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
TCDD	2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin und 1,3,6,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin
THG	Treibhausgas
TOC	Total Organic Carbon (gesamter organischer Kohlenstoff)
TRL	Technology Readiness Level (Technologie-Reifegrad)

UBA	Umweltbundesamt
UNEP	UN Environmental Programme
UV	Ultraviolettstrahlung
VCC	Veba Combicracking
VCI	Verband der Chemischen Industrie e.V.
VEBA	s. VCC

Zusammenfassung

Eine möglichst effiziente und vollständige Kreislaufwirtschaft ist bei allen Rohstoffen, nicht zuletzt auch bei Kunststoffen, erklärtes Ziel. Im Gegensatz zu anderen Materialien wie Papier oder Metallen wird im Kunststoffrecycling bisher nur ein kleiner Teil des Kunststoffabfalls wiederverwertet. Ein großer Teil landet weltweit in der Umwelt, was die Dringlichkeit des Themas weiter verstärkt. In Deutschland werden nur etwa 12 % werkstofflich wiederverwertet, ein viel geringerer Anteil wird einer rohstofflichen Verwertung zugeführt und die überwiegende Menge der Kunststoffabfälle wird thermisch verwertet. Bei bestimmten Abfallströmen wird gänzlich auf den Versuch verzichtet, entsprechende Kunststoffe der stofflichen Verwertung zugänglich zu machen.

Ziel der Studie ist es, die Positionierung der Depolymerisation von Polyolefinen im Gesamtsystem des Kunststoffrecyclings zu betrachten. Dazu wurde untersucht,

- welche Mengen und welche Qualitäten von Polyolefinabfällen für die Depolymerisation zur Verfügung stehen, sodass entsprechend der Abfallhierarchie keine Konkurrenzsituation zum werkstofflichen Recycling besteht;
- wie Pyrolyseprodukte hinsichtlich ihrer Marktfähigkeit als chemischer Rohstoff zu bewerten sind;
- welchen Entwicklungsstand Depolymerisationstechnologien aufweisen;
- wie Depolymerisationstechnologien bewertet werden können;
- welche Chancen und Risiken für die Depolymerisation von Polyolefinen bestehen und
- welche Rahmenbedingungen und Maßnahmen für Veränderungen bei Wertungskaskaden und Kreislaufpfaden beim Kunststoffrecycling hinsichtlich der Depolymerisation notwendig wären.

Die Pyrolyse und Depolymerisation von Altkunststoffen ist seit vielen Jahren bekannt und wird immer wieder als Bindeglied zwischen der Verbrennung und dem werkstofflichen Recycling in die Diskussion gebracht. In der Vergangenheit haben technische, politische und ökonomische Gründe die industrielle Nutzung dieser Technologien verhindert.

Neue Relevanz erhält das Thema in den letzten Jahren nicht allein durch die Klimaerwärmung in Verbindung mit der Nutzung von fossilen Rohstoffen, sondern auch durch die Verschmutzung der Meere mit Kunststoffen und das Auftreten von Mikroplastik praktisch überall auf dem Planeten. Höchste Zeit, alle möglichen Wege der Kunststoffverwertung neu zu bewerten.

Die vorliegende Studie untersucht die gesetzlichen Rahmenbedingungen, die theoretischen Möglichkeiten in technologischer Hinsicht, die wirtschaftliche und ökologische Sinnhaftigkeit und – beispielhaft den aktuellen Stand der Technik von Pyrolyse- und Depolymerisationstechnologien. Dabei werden der Status Quo, zwei kleine technische Anlagen und ein mögliches Recycling-Szenario der postfossilen Welt unter die Lupe genommen.

*Erschienen in der Reihe „Ressourcen-Technologie und Management“
des Steinbeis-Transferzentrums R.T.M. (Hrsg.)*