MaReK – Markerbasiertes Sortier- und Recyclingsystem für Kunststoffverpackungen

VON CLAUS LANG-KOETZ UND JÖRG WOIDASKY

Jährlich werden in Deutschland etwa 3 Millionen Tonnen Verpackungsabfälle produziert, die in jedem Haushalt täglich anfallen und dann, meist in gelben Säcken oder Tonnen, abgeholt werden. Wie lassen sich aus diesen Abfällen hochwertige Sekundärrohstoffe gewinnen? Ist es möglich, aus gebrauchten Verpackungen erneut Verpackungen herzustellen?

Mit diesen Fragen beschäftigt sich das Forschungsprojekt MaReK - „Markerbasiertes Sortier- und Recyclingsystem für Kunststoffverpackungen“. Drei Industrieunternehmen und zwei Forschungspartner arbeiten an der Entwicklung eines neuen Sortiersystems für Kunststoffabfälle. Das Projekt begann am 1. Juli 2017 und hat eine geplante Laufzeit von zweieinhalb Jahren.

Hintergrund

In den vergangenen Jahrzehnten stiegen die Abfallmengen aus Kunststoffverpackungen in Deutschland stark an. 1991 fielen 1,6 Millionen Tonnen an, 2013 bereits 2,8 Millionen Tonnen – das entspricht einem Zuwachs um 77 Prozent[1]. Die Weltbank geht davon aus, dass weltweit die Kunststoff-Abfallproduktion weiter wachsen und sich bis zum Jahr 2100 verdreifachen wird[2].

Was passiert am Lebensende von Kunststoffen und Kunststoffverpackungen? Wie viel Kunststoff in die Umwelt gelangt, ist unter anderem abhängig vom Entwicklungsstand des betrachteten Landes[3]. Eine qualifizierte Schätzung besagt, dass im Jahr 2010 zwischen 4,8 und 12,7 Millionen Tonnen Kunststoffabfälle von küstennahen Regionen in die Ozeane gelangt sind. Bis 2025 werden sich etwa 250 Millionen Tonnen Abfälle ansammeln, die nicht richtig gesammelt und behandelt wurden[4].

Die Sammlung, Sortierung und Verwertung von Verkaufsverpackungen aus dem Haushaltsbereich (Post-consumer) ist in Deutschland seit 1991 durch die Verpackungsverordnung geregelt.

Das neue Verpackungsgesetz fordert, dass nach 2020 63 Gewichts-% der Kunststoff-Verpackungen wiederverwertet werden sollen[5]. Heute wird zwar die Gesamtverwertungsquote mit 99,6 Prozent[6] bei einer rechtlich geforderten Gesamtverwertungsquote von 60 Prozent deutlich überschritten. In diese Werte gehen aber auch die energetische Verwertung ein. Daher bestehen bei der werkstofflichen Verwertung noch Potentiale.

Die hochwertige Verwertung von Kunststoffverpackungen funktioniert aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht gut: Nicht gefährliche Kunststoffabfälle dürfen in Nicht-OECD-Länder verbracht werden, so dass es einen erheblichen Abfluss vor allem nach Asien gibt[7]. Die aktuell bewährten Sortiertechniken erreichen angesichts der Weiterentwicklung der Verpackungs- und Werkstofftechnik ihre Grenzen: Denn auch die Qualitätsanforderungen für Rezyklate (Sekundärrohstoffe als Basis für die Herstellung von Qualitäts-Neuprodukten) steigen.

Die werkstoffliche Kunststoffverwertung weist noch Steigerungspotentiale – auch für den Verpackungsbereich – auf und kann so zur Rohstoffsicherung beitragen. Aus Sicht der Klimapolitik wäre es wünschenswert, das werkstoffliche Recycling von Verpackungskunststoffen auszuweiten, denn damit können CO_2-Emissionen reduziert werden.

---

1 Schüler, K., 2015. Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2013. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

2 Hoornweg, D., Bhada-Tata, P., Kennedy, C., 2013. Environment: Waste production must peak this century. Nature 502, 615–617.

3 University of Georgia, 2015. Study: Stunning amount of plastic waste in the oceans || University of Georgia [WWW Document]. Study Stunning Amount Plast. Waste Oceans UGA Univ. Ga. URL: http://www.uga.edu/about_uga/profile/study-stunning-amount-of-plastic-waste-in-ocean, aufgerufen am 8. August 2016.

4 Jambeck, J.R.; Geyer, R.; Wilcox, C. ; Siegler, T.R. ; Perryman, M.; Andrady, A.; Narayan, R.; Law, K.L., 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. Science 347, 768-771.

5 Gesetz zur Fortentwicklung der haushaltsnahen Getrennterfassung von wertstoffhaltigen Abfällen. BGBl. Jg. 2017, Teil I Nr. 45. Bonn, 12. Juli 2017.

6 BMUB, 2016. URL: http://www.bmub.bund.de/typo3temp/GB/77efd9f6a3.png, aufgerufen am 23. August 2016.

7 Europäische Kommission (Hrsg.): Grünbuch zu einer europäischen Strategie für Kunststoffabfälle in der Umwelt. Brüssel, den 7. März 2013; COM (2013) 123 final; S. 10.

<
Im Zuge der Sortierung von Verkaufsverpakkungen aus dem Haushaltsbereich werden verschiedene Wertstofffraktionen abgetrennt und zu Ballenware verpresst.n.

Foto: Jörg Woidasky

Ziel und Inhalte des Projekts
Ziel des Vorhabens ist der Aufbau eines markerbasierten Sortier- und Recyclingsystems von der Verpackungsentwicklung über die Sortiertechnik bis hin zur hochwertigen werkstofflichen Verwertung. Im MaReK-Projekt wird die Eignung von Fluoreszenz-Markern für den abfallwirtschaftlichen Einsatz nachgewiesen. Das basiert auf der vom Projektpartner Polysecure entwickelten und patentierten Tracer-Based Sorting-Technologie.

Mit der Tracer-Based Sorting (TBS)-Technologie können bei der Sortierung von Kunststoffen nicht nur – wie bisher – verschiedene Kunststoffarten, sondern weitere Eigenschaften unterschieden werden, zum Beispiel bestimmte Zusammensetzungen oder Verwendungsarten. Das ist sehr relevant für das Stoffstrommanagement Dualer Systeme wie der „Grüne Punkt“, das die Einbindung und Umsetzung des Markeransatzes im bestehenden System untersucht.

Die Anwendung des Dualen Systems zur Kunststoffsortierung wird im Projekt pilothaft entwickelt und industrierelevant getestet. Technischer Kern ist dabei die Entwicklung und Erprobung einer Kombination aus Verpackungskennzeichnung und darauf abgestimmtem Sortierverfahren zur Gewinnung sortenreiner Kunststoffe. Geschwindigkeit, Effektivität und Wirtschaftlichkeit der Sortierung verschiedener Zusammensetzungen der Sammelfraktionen werden unter industrierelevanten Randbedingungen untersucht.

Im Projekt wird die gesamte Wertschöpfungskette des Verpackungslebenszyklus vom Design über die Verfahrensentwicklung für Marker-Applikation und Sortierung bis zur Rückgewinnung der Werkstoffe adressiert. Ansätze einer neuen Verpackungsgovernance werden mit den relevanten Stakeholdern ausgearbeitet und sollen mittelfristig neben den technischen Ergebnissen des Vorhabens als Grundlage für den nachhaltigeren Verpackungseinsatz dienen.

Das Projekt MaReK schafft so auch eine Grundlage zur Einhaltung der höheren Kunststoff-Verwertungsquoten ab 2020. Schlussendlich reduziert die TBS-Technologie den Einsatz an Primärrohstoffen und schont auf diese Weise die Umwelt.

Arbeitsschwerpunkte

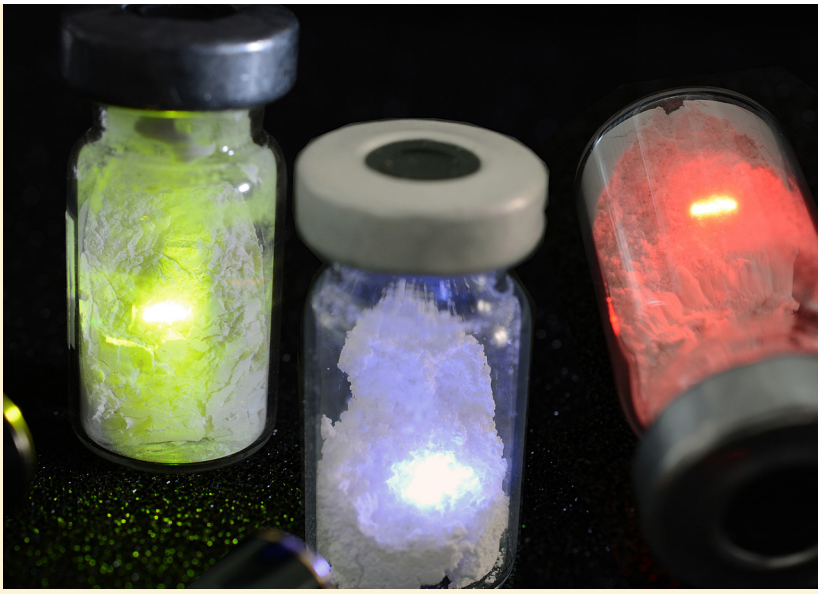
- Repräsentative Kreislaufführung von Kunststoff-Leichtverpackungen einschließlich Bestimmung des technischen Restwertes (Werkstoffeigenschaften) und des Wertschöpfungspotentials
- Neu- bzw. Weiterentwicklung und industrielle Erprobung des „Tracer-Based Sorting“-Verfahrens mit realen Chargen aus der Getrennterfassung (Technikum), hierzu Weiterentwicklung der Tracer- und Detektionstechnologie
- Angewandte Innovationsforschung zur Untersuchung von Treibern und Hemmnissen der entwickelten Technologie und deren Anwendung im komplexen Gefüge der Stakeholder
- Umfassende Analyse von Energie- und Stoffströmen und Bewertung möglicher Umweltauswirkungen der entwickelten Technologie unter Berücksichtigung der Lebenszyklusperspektive

Tracer-Based Sorting (TBS)
Tracer-Based Sorting (TBS) basiert auf speziellen Substanzen, die unter bestimmten Bedingungen fluoreszieren und als Marker (in sehr geringen Mengen) genutzt werden, um Kunststoffverpackungen zu kennzeichnen. Ein weiterer Vorteil dieses Ansatzes ist, dass im alltäglichen Gebrauch weder die Sonne noch andere Lichtquellen intensiv genug sind, um die sichtbare Fluoreszenz zu erzeugen.

Daher können folgende Aspekte umgesetzt werden:

- Verpackungen werden mit einem spezifischen Fluoreszenz-Marker entsprechend ihres wirtschaftlichsten Verwertungspfads gekennzeichnet. Dies kann sowohl im Packstoff als auch auf der Verpackungs-Dekoration erfolgen.
- Die markierte Verpackung wird in einem der derzeitigen Sortiertechnik nachgeschalteten Schritt aus dem angereicherten Gutstrom (zum Beispiel aus Flaschen-Ballenware) abgetrennt.
- Im abgetrennten Strom kann die Verpackungs-Dekoration, die Marker enthält, abgelöst und zur Wiederverwertung bereitgestellt werden.

>>



So können hochwertige, sortenreine oder sogar typenreine Polymerströme für eine Verwertung aussortiert werden. Damit leistet die TBS-Technologie einen erheblichen Beitrag zur Ausweitung des werkstofflichen Recyclings

Ein konkretes Anwendungsbeispiel für die Weiterentwicklung bestehender Sortiertechnik durch TBS besteht in der Differenzierung von PET-Flaschen mit erhöhter Sauerstoffbarriere von sonstigen, nicht bepfandeten PET-Flaschen.

Der Einsatz von Tracer-Based Sorting (TBS) ist als Ergänzung zu konventionellen Trennkonzepten an verschiedenen Positionen in der Wertschöpfungskette vorstellbar. Weitere Informationen dazu finden Sie in der Veröffentlichung Woidasky et al.[8]

Technologischer Hintergrund

Für Tracer-Based Sorting (TBS) ist der Bereich der Fluoreszenz relevant, der günstig und schnell mit elektromagnetischer Strahlung (beispielsweise mit Laserdioden, LEDs) angeregt und mit einfachen Detektoren (etwa mit Kamerachips) zerstörungsfrei nachgewiesen werden kann. Anregung und Erkennung können in Millisekunden zerstörungsfrei erfolgen. Die Markierung ist im täglichen Alltag unsichtbar und fluoresziert nur bei einer spezifischen Anregung (durch Licht im nichtsichtbaren Bereich). Die eingesetzten Leuchtstoffe sind Materialien mit einem hohen Wirkungsgrad zwischen Anregung und Emission (Quantenausbeute), so dass bereits Spuren (1 – 100 ppm) genügen, um eine charakteristische Fluoreszenz nachweisen zu können.

Neben der „klassischen“ Stokes-Fluoreszenz (Anregungswellenlänge ist kleiner als Emissionswellenlänge) mit Quantenausbeuten im zweistelligen Prozentbereich gibt es auch die sogenannte Anti-Stokes-Fluoreszenz (Upconversion-Fluoreszenz). Herbei werden zwei und mehrere Photonen gesammelt, bevor ein höher energetisches Photon emittiert wird. Dadurch kann zum Beispiel im IR-Bereich angeregt und im sichtbaren Bereich emittiert und detektiert werden. Es werden zwar nur Quantenausbeuten im einstelligen Prozentbereich erreicht, das Signal-zu-Rausch-Verhältnis ist jedoch im Allgemeinen deutlich besser als bei der Stokes-Fluoreszenz. Der Grund ist, dass die Anregungsstrahlung nur über den Anti-Stokes-Effekt sichtbare Strahlung erzeugen kann. Ansonsten gibt es keinen möglichen physikalischen Prozess, der sichtbares Licht erzeugen kann. Folglich gibt es kein physikalisch bedingtes Hintergrund-Rauschen zur Upconversion-Fluoreszenz und damit ein sehr gutes Signal-zu-Rausch-Verhältnis.

In den vergangenen Jahrzehnten sind zahlreiche anorganische Leuchtstoffe entstanden, die in der Regel aus einem kristallinen Wirtsgitter, den Dotierstoffen (Aktivatoren, Sensibilisatoren) sowie Defekten und Verunreinigungen bestehen und über komplexe Synthesen hergestellt werden. Die Fluoreszenz geht auf die Aktivatoren zurück, die durch elektronische Übergänge Energie abbauen. Sensibilisatoren unterstützen durch passende Energieübergänge den Energieabsorptionsprozess. Um zu hohen Quantenausbeuten zu kommen, müssen zusätzlich Defekte und Verunreinigungen geringgehalten werden. Über die Dotierstoffe und die Formulierung können bestimmte, vergleichsweise wellenlängen-scharfe Emissionen erzeugt werden. Mit einem Portfolio aus fünf verschiedenen Emissionen, bei voraussichtlich gleicher Anregungswellenlänge, können kombinatorisch bereits 31 (2^5-1) unterscheidbare Codes erzeugt werden.

Video:
https://www.youtube.com/watch?v=nvPcSV2OHXU

[8] Woidasky, J.; Heyde, M.; Sander, I.; Moesslein, J.; Fahr, M.; Richards, B.; Turshatov, A.; Lang-Koetz, C. (2017): Hochwertiges Recycling durch Tracer-Nutzung, in: ReSource 4/2017, 30. Jahrgang, ISSN 1868-9531, Rhombos-Verlag, Berlin.

<

Bild links: *Fluoreszierende Marker werden in sehr geringen Mengen in die Polymermatrix der Verkaufsverpackungen eingebracht und können bei definierter Anregung erkannt werden.*

Bild rechts: *Die Fluoreszenz-Marker weisen einen hohen Wirkungsgrad zwischen Anregung und Emission auf (Quantenausbeute), so dass bereits Spuren genügen, um eine charakteristische Fluoreszenz nachweisen zu können.*

Fotos: Polysecure GmbH

Derzeit existieren praxisrelevante Trennaufgaben, die auch die spektroskopische Sortiertechnik nicht löst. Solche Trennaufgaben bestehen in der Abtrennung unterschiedlicher Typen derselben Kunststoffart, der Abtrennung von Stoffströmen mit kreislaufeinschränkenden Merkmalen und der Abtrennung von stofflich identischen Verpackungen.

DR.-ING. CLAUS LANG-KOETZ
ist Professor für Nachhaltiges Technologie- & Innovationsmanagement am Institut für Industrial Ecology der Business School.

DR.-ING. JÖRG WOIDASKY
ist Professor für Nachhaltige Produktentwicklung an der Fakultät für Technik und am Institut für Industrial Ecology.

Projektpartner

Verbundkoordinatoren

- Prof. Dr.-Ing. Claus Lang-Koetz
  claus.lang-koetz@hs-pforzheim.de
- Prof. Dr.-Ing. Jörg Woidasky
  joerg.woidasky@hs-pforzheim.de
- Hochschule Pforzheim,
  Institut für Industrial Ecology (INEC)

Partner im Verbundvorhaben MaReK

- Hochschule Pforzheim, Institut für Industrial Ecology INEC (Pforzheim)
- Polysecure GmbH (Freiburg)
- Der Grüne Punkt – Duales System Deutschland GmbH (Köln)
- Werner & Mertz GmbH (Mainz)
- KIT Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Mikrostrukturtechnologie (Karlsruhe)

Assoziierter Projektpartner

- Umwelttechnik BW GmbH (Landesagentur für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz Baden-Württemberg, Stuttgart)

Unterauftragnehmer

- CMO-SYS GmbH (Göppingen)
- Nägele Mechanik GmbH (Murr)

Das Projekt wird gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmenprogramm »Forschung für Nachhaltige Entwicklung« (FONA³) in der Fördermaßnahme »Plastik in der Umwelt«. Betreut wird das Projekt vom Projektträger Jülich (Projektträgerschaft Ressourcen und Nachhaltigkeit) im BMBF-Förderschwerpunkt »Plastik in der Umwelt« im Rahmen der Leitinitiative »Green Economy«, Rahmenprogramm »Forschung für Nachhaltige Entwicklung – (FONA³)«.

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung

FONA Forschung für Nachhaltige Entwicklung
BMBF

Förderkennzeichen: 033R195A, 033R195B, 033R195C, 033R195D, 033R195E

Laufzeit: 01.07.2017 – 31.12. 2019