

## Kunststoffrecycling lohnt sich doch – eine Replik auf *KuRVe*

Thomas U. Probst und Thomas W. Fischer

1.	Die Kunststoffvorkette.....	260
1.1.	Das Sammeln .....	260
1.2.	Das Sortieren .....	261
2.	Aufbereiten und Recycling .....	262
2.1.	Die Ebenen des Kunststoffrecyclings .....	262
2.2.	Die Wertschöpfung durch das Kunststoffrecycling.....	263
2.3.	Umwelteffekte, die durch das Kunststoffrecycling bedingt werden .....	264
3.	Vergleichende Bewertung des Kunststoffrecyclings.....	265
4.	Quellen .....	266

Der Beginn der industriellen Kunststoffherstellung kann in Deutschland auf das Jahr 1939 datiert werden. Dies geht einher mit der Herstellung von Perlon bei den IG Farben. Und mit der Kunststoffproduktion ist auch immer eine nachgelagerte Kunststoffverarbeitung verbunden, bei der von Anfang an Produktions- und Verarbeitungsabfälle aufbereitet und im ursprünglichen Verarbeitungsprozess wieder eingesetzt werden. Während die Aufbereitung und das Recycling von Produktions- und Herstellungsabfällen selbstverständlich waren, hat das Recycling von Verpackungen vergleichsweise spät begonnen. Das Kunststoffrecycling von Leichtverpackungen (LVP) wurde in Deutschland erst ab 1994 umgesetzt. Neben dem Recycling von LVP, das häufig im Fokus der Betrachtungen steht, z.B. das Verpackungsgesetz (VerpackG), haben auch die Kunststoffabfälle aus Gewerbe und Industrie zentrale Bedeutung. Andere Herkunftsbereiche für Kunststoffabfälle, wie beispielsweise aus der Sammlung von Elektro- und Elektronikaltgeräten, aus Altfahrzeugen oder aus Bau- und Abbruchabfällen, werden in diesem Aufsatz nicht näher betrachtet.

Das Kunststoffrecycling wird in Deutschland neu geordnet [5]. Nicht zuletzt bedingt der Einfuhrstopp von Kunststoffabfällen in die VR China große Veränderungen des bestehenden Kunststoffrecyclings. Das Kunststoffrecycling in Europa findet in sehr unterschiedlicher Ausprägung statt. Eine Übersicht über das europäische Kunststoffrecycling gibt die Studie *Plastics the Facts* [4]. Der vorliegende Fachbeitrag ist eine Replik auf den Kurzbericht *KuRVe – Kunststoffrecycling und Verwertung, Ökonomisch-ökologische Analyse von Sammel- und Verwertungssystemen von Kunststoffen aus Haushalten in der Schweiz* [2].

In der Zusammenfassung des Kurzberichtes wird u.a. festgestellt:

*Kunststoffsammlungen aus Haushalten haben, verglichen mit der Sammlung von PET-Flaschen, eine geringe Kosten/Nutzen-Effizienz. Dem verhältnismäßig kleinen ökologischen Nutzen stehen hohe Kosten gegenüber.*

Und weiter:

*Die wissenschaftliche Studie kommt zum Schluss, dass das Verhältnis von Kosten und Nutzen von separaten Sammlungen von Kunststoffabfällen in der Schweiz bei etwa einem Drittel der Effizienz des PET-Recycling-Systems liegt. Eine neue Sammlung von Kunststoffabfällen stiftet zwar einen ökologischen Nutzen – der Betrieb des Systems ist aber teuer. Der potenzielle ökologische Nutzen einer neuen Kunststoffsammlung pro Person und Jahr entspricht etwa der Einsparung einer Autofahrt von 30 Kilometern pro Person und Jahr.*

Für die Replik zu dem Kurzbericht aus der Schweiz werden Aspekte des bestehenden Kunststoffrecyclings in Deutschland dargestellt. Dabei werden ökonomische und ökologische Aspekte des Kunststoffrecyclings dargelegt, auch unter Berücksichtigung einiger Punkte aus dem schweizerischen Kurzbericht.

## 1. Die Kunststoffvorkette

Das Kunststoffrecycling ist maßgeblich von seiner Vorkette abhängig (Bild 1). Die Vorkette Sammeln, Sortieren und Aufbereiten sind Abfallbehandlungsprozesse. Erst das Recycling erfolgt unter dem Produktrecht und dem Stoffrecht. Die Anfallstelle bestimmt mit dem Gebrauch der Kunststoffprodukte zunächst die Qualität, die für das Sammeln, Sortieren, Aufbereiten und Recycling zur Verfügung stehen.

Die Kosten für das Sammeln und Sortieren können nicht einem nachfolgenden Kunststoffrecycling angelastet werden, da die Kosten im Fall der thermischen Nutzung von Kunststoffen, vergleichbar zu den Kosten für das Sammeln von Restabfall und dessen Verbrennung (MVA, EBS oder SBS) sind. Grenzkosten für das Kunststoffrecycling werden sicherlich durch die Preise der Müllverbrennung bestimmt. Für Kunststoffabfälle werden in der Regel Strafaufschläge wegen des erhöhten Heizwerts berechnet.

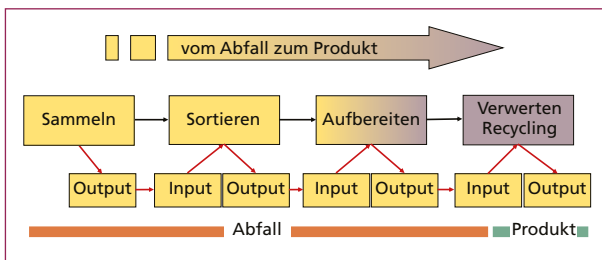


Bild 1:

Vorkette des Kunststoffrecyclings mit Abgrenzung von Abfall und Produkt

### 1.1. Das Sammeln

Die Kosten für Sammeln und thermische Nutzung von Restmüll können zu denjenigen für Sammeln und Sortieren von Kunststoffabfällen nur über aufwändige Berechnungen verglichen werden, da in Deutschland sehr unterschiedliche Sammelsysteme schon

alleine bei LVP, das sind der Gelbe Sack, die Gelbe Tonne, der Wertstoffhof, zum Einsatz kommen. Und selbst das bildet die Realität häufig nur ungenügend ab, da beispielsweise Kombinationen von Sammelsystemen – Gelbe Tonne zusammen mit dem Wertstoffhof – Anwendung finden. Bei diesen Kombinationen werden dann häufig weitere Wertstoffe miterfasst. Die LVP-Sammlung wird darüber hinaus in zahlreichen Versuchsgebieten auch dazu genutzt, um Stoffgleiche Nichtverpackungen zu sammeln.

Deutschland ist also in seiner Erfassung bunt; die verschiedenen Systeme, die für den gleichen Wertstoff zum Einsatz kommen, sind von den örtlichen Gegebenheiten abhängig. So kommen in ländlichen Strukturen andere Systeme und deren Kombinationen zum Einsatz als in verdichteten Siedlungsgebieten. Die Erfassung von Kunststoffabfällen darf dabei auch nicht nur hinsichtlich der Kosten beurteilt werden, sondern auch hinsichtlich der Qualität der gesammelten Kunststoffabfälle. Bei Kombinationen von Erfassungssystemen sollte überdies berücksichtigt werden, dass häufig weitere Wertstoffe ökologisch vorteilhaft miterfasst werden.

Für ein intelligentes Kunststoffrecycling, das ökologisch und ökonomisch vorteilhaft ist, können als Grundsätze angeführt werden: a) Getrennthaltung der Kunststoffabfälle von anderen Stoffströmen, b) saubere und trockene Erfassung und c) möglichst Getrennthaltung nach den Kunststoffarten. Der Erfolg des Sammelns wird also maßgeblich vom Endnutzer bestimmt. Der Aufwand des Endnutzers für das Sammeln wird in der Regel in Bilanzierungen zu Recht nicht betrachtet; er ist aber entscheidend für das nachfolgende Kunststoffrecycling.

## 1.2. Das Sortieren

Das Sortieren ist der Aufbereitungsschritt, der maßgeblich vom Sammeln bestimmt wird. Schlechte Sammelqualitäten erzeugen in der Regel auch schlechte Sortierqualitäten. Die Sortierung der Kunststoffabfälle ist der zweite Schritt in der Kunststoffvorkette (Bild 1). Und damit sind die erzeugten Sortierqualitäten ebenfalls maßgeblich für das nachfolgende Kunststoffrecycling. Das Sortieren von LVP geschieht entweder nach der Artikelform oder der Kunststoffart, häufig aber auch in der Kombination von beiden Kriterien [1]. Die vom Dualen System Deutschland erarbeiteten Sortierqualitäten sind für die weltweite Vermarktung der LVP-Abfälle anerkannt. Sortierer und Recycler können aber auch unabhängig von Systemvorgaben bestimmte Sortierqualitäten frei vereinbaren.

Das Sortieren kann aber unterbleiben, wenn Pfandsammelsysteme zum Einsatz kommen, wie dies beispielsweise bei PET-Getränkeflaschen der Fall ist. Darüber hinaus macht eine Erfassung von Kunststoffabfällen über den Wertstoffhof in der Regel eine nachfolgende Sortierung überflüssig. Das Sortieren erzeugt Abfallqualitäten, die national, europaweit und weltweit gehandelt werden. Die erzeugten Sortierqualitäten haben letztlich über alle Kunststofffraktionen gesehen, einen positiven Marktwert. In Deutschland werden Sortieranlagen mit einer Kapazität von 30.000 bis 200.000 Tonnen eingesetzt.

## 2. Aufbereiten und Recycling

Aufbereiten heißen diejenigen Prozesse, die dem eigentlichen Recycling vorgelagert, aber immer noch abfalltypisch sind. Die Aufbereitung von Kunststoffabfällen, wie beispielsweise Waschen und Flotieren, kann auch als externe Lohnarbeit erfolgen. Die Aufbereitung von Kunststoffen ist also dem Kunststoffrecycling vorgelagert und erfolgt in der Regel in den Recyclinganlagen.

Das Kunststoffrecycling erzeugt im ersten Schritt Rezyklate, das sind Mahlgüter, Regranulate, Compounds und Agglomerate, die weltweit gehandelt werden und einen positiven Marktwert haben. Die Preise für die Rezyklate werden in Preisspiegeln und über Preisindizes abgebildet. In einem weiteren Verarbeitungsschritt werden die Rezyklate zu Halbzeugen oder Endprodukten umgeformt.

### 2.1. Die Ebenen des Kunststoffrecyclings

Versucht man das bestehende Kunststoffrecycling systematisch zu erfassen, so ist die Darstellung über eine Matrix, die den Input, den Output, die Anlagentechnik und das Recyclingverfahren in Abhängigkeit der Kunststoffarten abbildet, hilfreich (Tabelle 1). In einer vereinfachten Darstellung ergibt sich so eine 7x4-Matrix, die sich aber schon in der nächsten Differenzierung zu einer 15x13-Matrix erweitert. Das Besondere am Kunststoffrecycling in Deutschland ist seine Vielfalt. Es gibt unter den etwa 90 Kunststoffrecyclern kaum baugleiche Anlagen. Darüber hinaus variieren der Input, die Produkte und die Technik erheblich.

Tabelle 1: Recyclingmatrix als 7x4-Matrix in der ersten Näherung und als 15x13-Matrix in der Differenzierung

		PE	PP	PS	PVC	PET	MK	TK
		HD, LD, LLD		EPS, XPS	w, h	Flaschen, Misch	PO, MPO, EBS	
<b>Input</b>								
post consumer	Sortierfraktionen							
post industrial								
Anderer								
<b>Output</b>								
Recyclate	Granulat							
	Mahlgut							
	Compound							
	Kompaktat/Agglomerat							
Produkte								
<b>Recycling</b>	werkstofflich							
	rohstofflich							
	energetisch							
<b>Anlagentechnik</b>	nass							
	trocken							

7 x 4 = 28  
15 x 13 = 195

Das Kunststoffrecycling, das Rezyklate in der Qualität von Neuware erzeugt, findet üblicherweise breite Zustimmung. Ein schönes Beispiel hierfür sind die Mahlgüter und Regranulate, die aus gebrauchten PET-Getränkeflaschen sortenrein zurückgewonnen

und dann wiederum zu PET-Flaschen umgeformt werden – das ist das so genannte bottle-to-bottle-Recycling. Das Recycling, das Rezyklate in der Qualität von Neuware erzeugt, hat zahlreiche Anwendungen und zwar über alle Standardkunststoffe hinweg. Ökologisch und ökonomisch sinnvoll ist dieses Recycling, wenn Rezyklate vermischt mit Neuware zum Einsatz kommen. Die Recyclinganlagen, die Rezyklate erzeugen, verarbeiten einen Input von 30.000 bis 90.000 Tonnen.

Häufig wird das Kunststoffrecycling als *downcycling* diffamiert, wenn kunststofffremde Artikel hergestellt werden. Bauzaunfüße, Rasengitter, Bühnen, Bretter und Pfosten, die aus Mahlgütern, Regranulaten und Agglomeraten durch Extrusion und Intrusion gefertigt werden, stehen hier nicht mit der Neuware, sondern mit baugleichen Produkten aus Beton, Holz oder Stahl im Wettbewerb. Ein Bauzaunfuß aus einer spezifischen Kunststoffmischung ist demjenigen aus Beton hinsichtlich Stabilität, Scherbelastung, Gewicht, Standzeit und Wetterfestigkeit überlegen. Auch beim Arbeitsschutz wird der aus Kunststoffen dem aus Beton deutlich überlegen sein. Diese Artikel finden sich beispielsweise in Baumärkten. Die Preise solcher Artikel können aus einschlägigen Produktkatalogen entnommen werden. Die Preise übertreffen dabei den zugrundeliegenden Materialwert bei weitem. Die Recyclinganlagen, die Mischkunststoffartikel herstellen, verarbeiten einen Input an Kunststoffabfällen von 25.000 bis 60.000 Tonnen.

## 2.2. Die Wertschöpfung durch das Kunststoffrecycling

In Deutschland bildet die aktuelle *Coversio-Studie das Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2017* ab. Aus dieser Studie ergibt sich eine Kunststoffabfallmenge von 6,2 Millionen Tonnen von denen 3,24 Millionen Tonnen (52,7 %) energetisch genutzt werden und 2,87 Millionen Tonnen (46,7 %) stofflich verwertet werden. Aus der stofflichen Nutzung entstehen immerhin 1,88 Millionen Tonnen Rezyklate.

In der ersten Wertschöpfungsstufe können den Kunststoffrezyklaten (Mahlgut, Granulat, Compound) Nettopreise zwischen 550 EUR/t bis 1.380 EUR/t zugewiesen werden (Tabelle 2). In Tabelle 2 sind allerdings die Agglomerate nicht berücksichtigt. Agglomerate haben niedrigere Preise als die Mahlgüter. Die Preise für die Agglomerate, die für die stoffliche Kunststoffverwertung eingesetzt werden, liegen je nach Qualität zwischen 80 EUR/t und 160 EUR/t. Die Agglomerate, die für Ersatzbrennstoffe Anwendung finden, können mit 70 EUR/t bewertet werden. Mischkunststoffe und Folien werden häufig im ersten Schritt zu Agglomeraten aufbereitet, um dann zu Artikeln weiterverarbeitet zu werden. Aus den o.g. Rezyklatpreisen, einschließlich der Agglomerate, lässt sich bei einem Durchschnittspreis von 740 EUR/t ein Wert von mindestens 1,39 Milliarden EUR für die 1,88 Millionen Tonnen an Rezyklaten abschätzen.

Die Kosten für die erste Wertschöpfungsstufe können abgeschätzt werden, wenn einerseits die Inputkosten für die Ballenware und andererseits die Aufbereitungskosten für Mahlgut bzw. für Granulat abgezogen werden. Je nach Herkunftsbereich und Aufbereitungstechnik variieren die Inputkosten. Die weiteren Aufbereitungskosten, um Mahlgut oder Regranulat herzustellen, sind je nach Recyclinganlage, wie beispielsweise Trocken- oder Nassaufbereitung, sehr unterschiedlich.

Die zweite Verarbeitungsstufe übertrifft diejenige der Rezyklate bei weitem. In der zweiten Wertschöpfung entstehen aus den Rezyklaten sehr unterschiedliche Kunststoffartikel. Die unterschiedlichen Kunststoffartikel sind auf Grund ihrer Vielzahl preislich sehr schwer zu fassen. Die Preisfestsetzung für die Kunststoffartikel ist auch deswegen erschwert, weil unter anderem die Rezyklate in unterschiedlichen Mischungsverhältnissen zusammen mit Neuware verarbeitet werden, wie die PET-Getränkeflasche. Mischkunststoffartikel werden in der Regel vollständig aus Rezyklaten erzeugt. Mischkunststoffe werden in der Regel zu kunststofffremden Artikeln verarbeitet.

Und schließlich stellt der Maschinen- und Anlagenbau, der für das Kunststoffrecycling notwendig ist, eine weitere wirtschaftliche Größe dar, die in den Quartalsberichten der Kunststoffindustrie durchaus berücksichtigt wird. Der Maschinen- und Anlagenbau ist eine wichtige Exportgröße in den deutschen Handelsbilanzen.

	Ballenware	Mahlgut	Granulat	Compound
	EUR/t			
HDPE	240 <sup>1</sup>	590 <sup>2</sup>	970 <sup>4</sup>	1.270 <sup>5</sup>
LDPE	230 <sup>2</sup>	590 <sup>2</sup>	715 <sup>4</sup>	1.205 <sup>5</sup>
PP	200 <sup>2</sup>	550 <sup>2</sup>	875 <sup>4</sup>	1.380 <sup>5</sup>
PS	–	660 <sup>2</sup>	885 <sup>4</sup>	1.300 <sup>5</sup>
h_PVC	–	570 <sup>1</sup>	–	890 <sup>5</sup>
PET_klar	480 <sup>3</sup>	690 <sup>4</sup>	1.030 <sup>4</sup>	1.325 <sup>5</sup>

Tabelle 2:

Aktuelle Preise (Dezember 2018) für Ballenware und Recyclate

<sup>1</sup> EUWID-Preisspiegel Altkunststoffe Deutschland

<sup>2</sup> Notierungen für Standardkunststoffe in plasticker

<sup>3</sup> EUWID-Preisspiegel gebrauchte PET-Einwegflaschen

<sup>4</sup> Kunststoffinformation Polymerpreise Regranulate

<sup>5</sup> EUWID-Notierungen Neuware

### 2.3. Umwelteffekte, die durch das Kunststoffrecycling bedingt werden

Das in Deutschland bestehende Kunststoffrecycling ist äußerst komplex (Tabelle 1). Verschiedenste Ökobilanzen wurden für Teilaspekte des Kunststoffrecyclings in Deutschland erstellt. Eine umfassende Ökobilanzierung des bestehenden Kunststoffrecycling findet sich jedoch nicht. Da das bestehende Kunststoffrecycling in Deutschland und auch in Europa beständig verändert und optimiert wird, hat ein Vergleich der Kunststoffverbrennung in MVAs mit dem Kunststoffrecycling nur eine begrenzte Aussagekraft.

Das Kunststoffrecycling spart in erheblichem Umfang Material und Energie ein, die sich im KMA – Kumulierten Materialaufwand und im KEA – Kumulierten Energieaufwand abbilden lassen. In Ökobilanzen werden die relevanten Umweltparameter bilanziert. Je nach angewandtem Recyclingverfahren werden unterschiedliche Werte für die Einsparung von Energie und Treibhausgasen ermittelt. Als Faustregel kann für die unterschiedlichsten Kunststoffe angegeben werden, dass durch das Recycling ein Drittel bis zur Hälfte an Energie eingespart wird, die für die Neuherstellung notwendig ist.

Auch die CO<sub>2</sub>-Einsparung durch das Kunststoffrecycling ist erheblich. Jede Tonne Recyclingkunststoff, die anstelle vergleichbarer Neuware zum Einsatz kommt, vermeidet

spezifisch zwischen 1,45 und 3,22 Tonnen klimarelevante Treibhausgase in Form von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten [3]. Das Recycling von Kunststoffen leistet also einen beachtlichen Beitrag zur Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen.

### 3. Vergleichende Bewertung des Kunststoffrecyclings

Das Kunststoffrecycling in der Schweiz ist vor allem auf die Verwertung von PET-Getränkeflaschen ausgerichtet. Dieser Kunststoff lässt sich leicht vom Verbraucher aus dem im Haushalt anfallenden Kunststoffen aussortieren und nach Rücknahme über spezifische Sammelsysteme dem Recycling zuführen. Bei dieser Rücknahme entfällt eine aufwändige Nachsortierung. Die PET-Aufbereitung zu Mahlgütern oder Regranulaten ist in der Schweiz seit Jahren Standard. In der Schweiz ist somit ein Recyclingsystem etabliert, das sich auf nur eine Kunststoffart beschränkt – *cherry picking*.

Die in dem Kurzbericht angegebene spezifische Kunststoffsammlungsmenge von nur 68.000 Tonnen verwundert bei einer Bevölkerung von 8,5 Millionen Einwohnern. Im Jahr 2017 beträgt in Deutschland das Aufkommen an post consumer Verpackungsabfällen 3,08 Millionen Tonnen bei 82,8 Millionen Einwohnern; dies entspricht einer Kunststoffsammlung von 36 kg/Ew.

In dem Bericht werden dem Kunststoffrecycling die Kosten für Sammlung, Transport und Sortierung angelastet. Für Deutschland gilt, dass diese Kosten denen der Sammlung und Verbrennung von Restmüll in MVAs weitgehend entsprechen und daher dem Kunststoffrecycling nicht zugerechnet werden sollen.

Der schweizerische Kurzbericht differenziert überraschenderweise das Kunststoffrecycling in hochwertige, mittelwertige und niederwertige stoffliche Verwertung. Damit wird der Bericht bei Vergleich mit Deutschland aber nicht den unterschiedlichen Ebenen des Kunststoffrecyclings gerecht. Insbesondere das Recycling in kunststofffremde Anwendungen, in Anwendungen, die Beton, Holz oder Stahl ersetzen, wird hierdurch diskriminiert. Das Recycling von Mischkunststoffen, das beispielsweise Rasengitter oder Bauzaunfüße generiert, hat eine hohe Wertschöpfung. Das Mischkunststoffrecycling ist in Deutschland etabliert und unabdingbar, um die Vorgaben aus dem VerpackG zu erfüllen. Die Komplexität und die Interdependenzen des in Deutschland aufgebauten Kunststoffrecyclings werden von den schweizer Autoren in der Studie KuRVE nicht berücksichtigt.

Die im schweizerischen Bericht ausgeführten Betrachtungen zur Ökobilanzierung zur Sammlung und Verwertung von Kunststoffen aus Haushalten stimmen nicht mit denen überein, die aus deutschen Bilanzierungen hervorgehen.

Der Kurzbericht KuRVE führt mehrfach aus, dass ein mögliches Kunststoffrecycling den Kehrverbrennungsanlagen (KVA) Brennstoff entziehen würde. In Folge dessen könnten, um den Brennstoffverlust auszugleichen, höhere finanzielle Belastungen auf die Bevölkerung zukommen. Bei Vergleich mit deutschen MVAs, die an der Kapazitätsgrenze operieren, sind Kunststoffabfälle in der Müllverbrennung weitgehend unerwünscht.

Zusammenfassend lässt sich für Deutschland darstellen, dass nur die werkstoffliche Kunststoffverwertung aus Sicht der Kunststoffrecycler eine positive Wertschöpfung hat. Andere Verwertungsverfahren, dies gilt insbesondere für die energetische Nutzung von Kunststoffen in der Müllverbrennung, mit Verbrennungspreisen von 120 EUR/t bis 170 EUR/t, verursachen für die Bürger erhebliche Zusatzkosten.

Das deutsche Kunststoffrecycling ist im Umbruch. Die Aufbruchstimmung beim Kunststoffrecycling hat tiefgreifende Marktveränderungen zur Folge. So kaufen Kunststoffhersteller Kunststoffrecycler. Kunststoffverarbeiter investieren in das Kunststoffrecycling. Und Lebensmittelkonzerne kaufen Entsorger, die die Vorkette bis hin zum Recycling abbilden. Diese Entwicklungen sind marktgetrieben und dabei ökologisch sowie ökonomisch vorteilhaft. Kaum ein anderer Stoffstrom boomt so, wie das Kunststoffrecycling. Da verwundert es, dass dies zwar für Deutschland gilt, nicht aber für die Schweiz.

## 4. Quellen

- [1] Der Grüne Punkt – Duales System Deutschland GmbH (Hrsg.): infos für lieferanten – Spezifikationen. Online: <https://www.gruener-punkt.de/de/downloads.html>
- [2] Dinkel, F.; Kägi, T.; Bunge, R.; Pohl, T.; Stäubli, A.: Kurzbericht KuRvE (Kunststoff Recycling und Verwertung), Ökonomisch-ökologische Analyse von Sammel- und Verwertungssystemen von Kunststoffen aus Haushalten in der Schweiz. Basel, 13.07.2017
- [3] mtm plastics GmbH: CO<sub>2</sub>-Vermeidung durch Kunststoffrecycling. Online: <http://www.chemie.de/news/148801/co2-vermeidung-durch-kunststoffrecycling.html>
- [4] PlasticsEurope und epro (Hrsg.): Plastics – the Facts 2017, An analysis of European plastics production, demand and waste data. Brüssel, 2018, online: [https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics\\_the\\_facts\\_2017\\_FINAL\\_for\\_website\\_one\\_page.pdf](https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf)
- [5] Probst, T. U.: Umbrüche beim Kunststoffrecycling. In: Nachrichten aus der Chemie, 09, 2018, 868

## Ansprechpartner



**Dr. rer. nat., Dr. rer. nat. habil., Dipl.-Chem. Univ. Thomas Probst**  
bvse – Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V.  
Fränkische Straße 2  
53229 Bonn, Deutschland  
+49 228-9884920  
[probst@bvse.de](mailto:probst@bvse.de)



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 • Olaf Holm • Elisabeth Thomé-Kozmiensky  
Daniel Goldmann • Bernd Friedrich (Hrsg.):  
**Recycling und Rohstoffe** – Band 12

ISBN 978-3-944310-46-6 Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH

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

Verlag: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH • Neuruppin 2019

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

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

Druck: Beltz Grafische Betriebe GmbH, Bad Langensalza

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.