

Schmid, Marc; Rhein, Sebastian

Article

Kunststoffflut – Potenziale von Substitutions- und Designstrategien

Wirtschaftsdienst

Suggested Citation: Schmid, Marc; Rhein, Sebastian (2018) : Kunststoffflut – Potenziale von Substitutions- und Designstrategien, Wirtschaftsdienst, ISSN 1613-978X, Springer, Heidelberg, Vol. 98, Iss. 12, pp. 877-883,
<https://doi.org/10.1007/s10273-018-2380-x>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/213697>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Marc Schmid, Sebastian Rhein*

Kunststoffflut – Potenziale von Substitutions- und Designstrategien

Die Produktionszahlen von Kunststoffen sind aufgrund günstiger Produktionsverfahren und vielseitiger Einsatzmöglichkeiten in den letzten Jahrzehnten stark gestiegen. Entsprechend haben sich der zunehmende Kunststoffanteil im Alltag und seine negativen Folgen intensiviert. Ein großer Teil der entsorgten Kunststoffe gelangt auf Deponien oder unkontrolliert in die Umwelt. Dies gefährdet die maritimen Ökosysteme und kann die menschliche Gesundheit beeinträchtigen. Bestehende Lösungsansätze hinsichtlich Substitutions- und Designstrategien wirken sich auf Verbraucher, Hersteller und Regulierungsbehörden unterschiedlich aus.

Kaum ein anderes Material bestimmt unseren Alltag so sehr wie Kunststoffe, die sich in nahezu allen Bereichen unseres Lebens wiederfinden und täglich konsumiert werden.¹ Dieser Kunststoffverbrauch ist gleichzeitig Ausgangspunkt einer internationalen Umweltdebatte über die negativen Auswirkungen des dadurch entstehenden Plastikabfalls auf die globalen Ökosysteme und die menschliche Gesundheit. Die Diskussionen veranlassten politische Akteure weltweit dazu, Gesetzesinitiativen anzustoßen und Unternehmen, Nachhaltigkeitsstrategien zu entwickeln.

Eines der am meisten beachteten politischen Signale im Bereich Kunststoff sendete die Europäische Kommission Anfang 2018 mit der Verabschiedung des europäischen Kreislaufwirtschaftspakets und der darin enthaltenen „European Strategy for Plastics in a Circular Economy“. Das übergeordnete Ziel dieser Strategie ist es, die durch den Kunststoffkonsum entstehenden negativen Externalitäten, wie z.B. die Verschmutzung der Weltmeere, zu bekämpfen. Die Plastikstrategie konzentriert sich dabei besonders auf Kunststoffverpackungen, die aufgrund ihrer kurzen Lebensdauer als ein Hauptverursacher von Plastikabfall gelten. Plastikverpackungen sollen daher bis 2030 zu 100 % wiederverwertet oder einem kosteneffizienten Recycling zugeführt werden.² Auch der deutsche Gesetzgeber hat die Relevanz von Kunststoffverpackungen bei der Bekämpfung der negativen Auswirkungen des Plastikkonsums erkannt und 2017 ein neues Verpa-

ckungsgesetz verabschiedet, das 2019 in Kraft tritt. Ziel ist es, deutlich mehr Material aus Haushaltsabfällen zu recyceln. Demnach soll die werkstoffliche Verwertung von Kunststoffverpackungen des Haushaltsmülls bis 2022 von heute 36 % auf 63 % steigen.³ Hier kommen Herausforderungen auf Verpackungshersteller, Entsorgungssysteme und Recyclingunternehmen zu, um die gesetzlich geforderte Quote zu erreichen.⁴

Durch den Anfang 2018 verhängten chinesischen Importstopp für Kunststoffabfälle hat sich die Entsorgungssituation für Plastikmüll weiter verschärft. War China lange eine Art „Mülldeponie“ für nicht recyclebaren Kunststoffabfall, besteht diese Möglichkeit der Müllbeseitigung jetzt nicht mehr. Dies verschärft kurzfristig die negativen Umweltauswirkungen, da Exporteure zunächst versuchen werden, auf andere (Entwicklungs-)Länder aus-

3 Bei der Berechnung der Quoten wird zwischen werkstofflicher und rohstofflicher Verwertung unterschieden. Beim ersten Verfahren wird das Material mechanisch aufbereitet, und die chemische Struktur bleibt erhalten. Beim zweiten Verfahren wird aus dem Ausgangsmaterial wieder ein Rohstoff wie Öl oder Gas. Stoffliche Verwertung meint die Zusammenfassung beider Verfahren. Vgl. Kreislaufwirtschaftsgesetz §3(25).

4 Vgl. Bundesministerium für Umwelt: Neues Verpackungsgesetz stärkt Recycling und Mehrweg, 2018, <https://www.bmu.de/pressemitteilung/neues-verpackungsgesetz-staerkt-recycling-und-mehrweg> (18.7.2018).

* Das Projekt „Substitutions- und Designstrategien für Werkstoffe“ wird im Rahmen des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) in Sachsen-Anhalt unterstützt.

1 Die Begriffe Kunststoff und Plastik werden synonym verwendet.

2 Vgl. European Commission: Circular Economy Package, 2018, http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm (1.8.2018); und vgl. European Commission: European strategy for plastics, 2018, http://ec.europa.eu/environment/waste/plastic_waste.htm (16.8.2018).

Marc Schmid, M.Sc., LL.M. oec., und Sebastian Rhein, M.Sc., sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Lehrstuhl für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

zuweichen, die aufgrund einer meist unzureichenden Recycling-Infrastruktur diese Abfallimporte nicht umweltgerecht verwerten können. Die Folgen dürften zumindest kurzfristig wachsende Deponien und letztlich ein zunehmender Eintrag von Kunststoffen in die Umwelt sein. Chinas Importstopp erfordert daher ein schnelles Handeln, Innovationen und grundlegende Strategieänderungen in der Verpackungs- und Recyclingbranche. Hier könnten besonders im Verpackungsbereich spürbare Ergebnisse erzielt werden, da überwiegend gebrauchte Einwegverpackungen nach China exportiert wurden, die in den Herkunftsländern als nicht recyclingfähig gelten.⁵ Aus diesen Betrachtungen ergeben sich drei Handlungszwänge:

1. die mit dem Plastikkonsum einhergehenden negativen Externalitäten,
2. die steigenden regulatorischen Anforderungen bei der Verwendung von Kunststoffen und
3. der Engpass beim Recycling, der vor allem durch den Importstopp Chinas verschärft wird.

Anwendungsbereiche und Marktentwicklungen

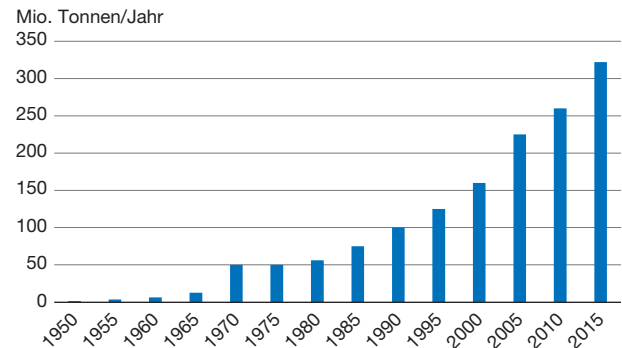
In den letzten Jahrzehnten ist ein exponentieller Anstieg der globalen Plastikproduktion zu verzeichnen (vgl. Abbildung 1). Aufgrund der vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten hat sich die weltweite Kunststoffproduktion von 15 Mio. t (1964) auf 335 Mio. t (2016) verzwanzigfacht. Davon entfielen auf Europa insgesamt 60 Mio. t. Der größte Produzent von Kunststoffen ist China mit einem Anteil von 29% an der globalen Plastikproduktion, gefolgt von der Kunststoffproduktion in Europa mit einem Marktanteil von 19%. Für die kommenden Jahre wird weltweit ein weiterer Nachfrageanstieg prognostiziert. Besonders in den wirtschaftlich aufstrebenden Schwellenländern steigt der Plastikkonsum enorm.⁶

Kunststoffe weisen mehrere Eigenschaften auf, die ihre Nutzung attraktiv machen. Hierzu zählen die leichte Formbarkeit und die nahezu uneingeschränkten Formgebungsmöglichkeiten, die lange Haltbarkeit, die hohe Formstabilität bei geringem Gewicht sowie die hohe Zuverlässigkeit im Einsatz. Zudem sind Kunststoffe im Vergleich zu alternativen Materialien meist kostengünstiger in der Produktion und die Rohstoffversorgung gilt als gesichert. Kunststoffe haben dadurch zahlreiche Innovationen ermöglicht. Kunststoffverpackungen sind leicht und können die Haltbarkeit von Lebensmitteln verlängern. In

5 Vgl. A. Brooks, S. Wang, J. Jambeck: The Chinese import ban and its impact on global plastic waste trade, in: Science Advances, 4. Jg. (2018), H. 6, S. 1-7.

6 Vgl. Plastics Europe: Plastics – the Facts 2017. An analysis of European plastics production, demand and waste data, 2017, https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf (26.6.2018).

Abbildung 1
Entwicklung der globalen Plastikproduktion



Quellen: Plastics Europe: Plastics – the Facts 2010. An analysis of European plastics production, demand and recovery for 2009, 2010, https://www.plasticseurope.org/application/files/6915/1689/9288/2010plasticsthefacts_PubOct2010.pdf (19.7.2018); Plastics Europe: Plastics – the Facts 2013. An analysis of European latest plastics production, demand and waste data, 2013, https://www.plasticseurope.org/application/files/7815/1689/9295/2013plastics_the_facts_PubOct2013.pdf (19.7.2018); Plastics Europe: Plastics – the Facts 2017. An analysis of European plastics production, demand and waste data, 2017, https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf (26.06.2018); eigene Darstellung.

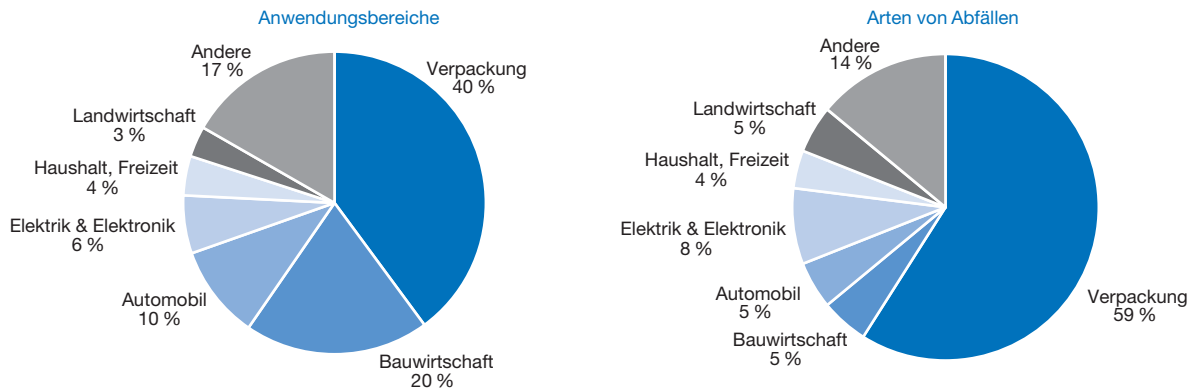
der Medizin führte der Einsatz von Kunststoffen zu einer verbesserten Hygiene, z. B. durch sterile Verpackungen. Beim Einsatz in der Luftfahrt oder im Automobilbau zeigen sich die Vorteile der Gewichtseinsparungen, die zu einem reduzierten Treibstoffverbrauch führen. Kunststoffe durchdrangen in den letzten Jahrzehnten nahezu sämtliche Branchen und Lebensbereiche.

Die wichtigsten Verwendungsbereiche von Kunststoffen umfassen Verpackungen, Industrie- und Konsumprodukte, Textilien, die Bau- und Landwirtschaft sowie die Automobilbranche. Abbildung 2 gibt einen Überblick über diese Bereiche sowie die Herkunft von Plastikabfällen. Aufgrund der unterschiedlich langen Lebensdauer von Plastik in den verschiedenen Anwendungen ist der Anteil der Plastikverpackungen im Vergleich zu anderen Abfallarten überproportional hoch vertreten. Verpackungen weisen eine kurze Lebensdauer von teils nur wenigen Tagen auf. Dahingegen können Kunststoffe in Elektronikgeräten oder in Automobilen Jahrzehnte im Einsatz sein.

Laut Erhebungen des Umweltbundesamtes fielen 2015 rund 5,9 Mio. t Kunststoffabfall in Deutschland an. 84,5% dieses Abfalls entsteht nach dem Gebrauch (After Use), was insbesondere durch die hohe Menge an Kunststoffverpackungen begründet ist, die oftmals nach einmaliger Nutzung entsorgt werden.⁷ In diesem Bereich verzeich-

7 Vgl. Umweltbundesamt: Kunststoffabfälle, 2017, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlte-abfallarten/kunststoffabfaelle#textpart-1> (18.8.2018).

Abbildung 2

Kunststoffe in Europa: Anwendungsbereiche (2016) und Abfallarten (2015)

Quellen: Plastics Europe: Plastics – the Facts 2017. An analysis of European plastics production, demand and waste data, 2017, https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf (26.6.2018); European Commission: European strategy for plastics, 2018, http://ec.europa.eu/environment/waste/plastic_waste.htm (16.8.2018); eigene Darstellung.

nete das Umweltbundesamt ein Aufkommen von knapp 3,1 Mio. t Kunststoffverpackungen. Zudem lässt sich ein steigender Trend beobachten. So erwartet das Umweltbundesamt eine langfristige Zunahme des Verbrauchs von Kunststoffverpackungen. Besonders kritisch ist dabei der hohe Anteil an energetischer Verwertung zu betrachten. 49,7 % stoffliche Verwertung von Kunststoffverpackungen in Deutschland wird zur Energieerzeugung in Kraftwerken verbrannt.⁸ Damit zählt die Recyclingquote in Deutschland sogar noch zu den höchsten. Im Schnitt liegt die Recyclingquote in Europa mit 31,1 % deutlich niedriger.⁹

Negative Externalitäten von Kunststoffen

Der Einsatz von Kunststoffen in allen Lebensbereichen hat erhebliche ökologischen Folgen. Von den 8,3 Mrd. t zwischen 1950 und 2015 weltweit produzierten Kunststoffen fielen 6,3 Mrd. t als Plastikmüll an, wovon lediglich 9,5 % einem Recyclingprozess zugeführt wurden. Gut 12,5 % wurden thermisch verwertet, sprich verbrannt. Die überwiegende Mehrheit, rund 79 %, wurde hingegen entsorgt, größtenteils unkontrolliert, und landete letztlich in der Umwelt.¹⁰ Auf diesem Weg gelangen rund 13 Mio. t Kunststoffmüll jedes Jahr in die Meere.¹¹

8 Vgl. Umweltbundesamt: Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2016, 2018, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/publikationen/aufkommen_und_verwertung_von_verpackungsabfaellen_in_deutschland_im_jahr_2016_final.pdf (10.7.2018).

9 Plastics Europe: Plastics – the Facts 2017, a. a. O., S. 30.

10 Vgl. R. Geyer, J. Jambeck, K. Law: Production, use, and fate of all plastics ever made, in: Science Advances, 3. Jg. (2017), H. 4, S. 1-5.

11 Vgl. United Nations Environment Programme (UNEP): The State of Plastics. World Environment Day Outlook 2018, 2018, https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/25513/state_plastics_WED.pdf?isAllowed=y&sequence=1 (25.7.2018).

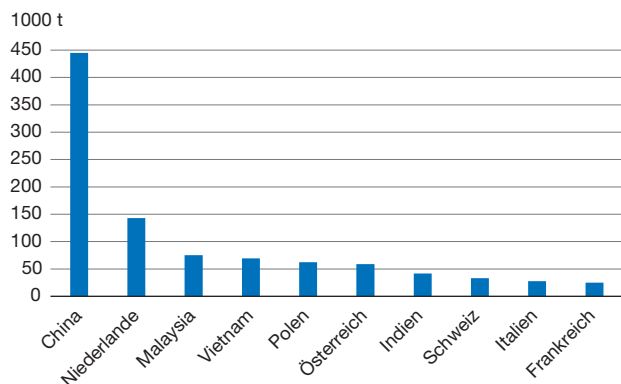
Die größten Quellen der maritimen Plastikverschmutzung finden sich in Südostasien. Vor allem China gilt als größter Emittent von Plastikabfällen in die Weltmeere, was die Länder der westlichen Welt allerdings nicht aus ihrer Verantwortung entlässt.¹² Die USA, Deutschland und viele weitere europäische Länder weisen den höchsten Pro-Kopf-Plastikverbrauch weltweit auf. China war in den letzten Jahren das mit Abstand wichtigste Zielland deutscher und europäischer Ausfuhren von Plastikabfällen. Abbildung 3 zeigt die wichtigsten Zielländer deutscher Exporte von Plastikabfällen.

Die Recyclinginfrastruktur des Landes scheint den großen Importmengen allerdings nicht gewachsen zu sein, weshalb ein großer Teil des Plastikmülls auf Deponien landet oder unkontrolliert entsorgt wird. Zudem wurden Kunststoffabfälle, die oftmals verunreinigt und nicht sortenrein getrennt sind, aufgrund ihrer minderen Qualität, die das Recycling erschwert, als Sekundärrohstoff für China in den letzten Jahren zunehmend uninteressant. Daher erließ die chinesische Regierung 2017 einen Importstopp für diese Plastikabfälle. China hatte rund 7,3 Mio. t Plastikmüll jährlich vor allem aus Europa, den USA und Japan importiert.¹³ In der Folge kam es weltweit zu einem Rückstau beim Kunststoffrecycling. Daher mehren sich die Befürchtungen, dass künftig anfallende Plastikabfälle in Länder exportiert werden könnten, die noch weit geringere Recycling- und Umweltstandards als China aufweisen

12 Vgl. J. Jambeck, R. Geyer, C. Wilcox, T. Siegler, M. Perryman, A. Andrad, R. Narayan, K. Law: Plastic waste inputs from land into the ocean, in: Science, 347. Jg. (2015), H. 6223, S. 768-771.

13 Vgl. J. Robertson: The Chinese blockage in the global waste disposal system, 2018, <https://www.bbc.co.uk/news/business-41582924> (25.7.2018).

Abbildung 3
Zielländer deutscher Exporte von Plastikabfällen 2017



Quelle: Auswertung auf Basis der Daten von UN Comtrade 2018: International Trade Statistics Database – HS Code 3915, Werte für China inklusive Honkong, eigene Darstellung.

und so der Plastikeintrag in die Umwelt weiter ansteigen könnte.

Bereits heute zeigen sich die negativen Auswirkungen auf die Umwelt und insbesondere auf die maritimen Ökosysteme. Zahlreiche aktuelle Studien verdeutlichen, dass praktisch sämtliche Meeresbewohner betroffen sind. Plastikmüll schädigt Meeresvögel ebenso wie Korallen, Fische, Schildkröten oder Haie.¹⁴ Zu den häufigsten Ereignissen zählt, dass sich Tiere in Plastikabfällen verfangen können und sich dadurch verletzen oder in ihrer Bewegungsfreiheit eingeschränkt werden. Zudem verwechseln Tiere Kunststoffabfälle mit Nahrung und nehmen diese zu sich bzw. verfüttern Plastikabfälle an ihre Jungtiere. Zurückgelassene und verlorene Fischernetze (Ghost Nets) gefährden weltweit Fischbestände und können Meeres-tiere und Vögel schwer verletzen und zu ihrem Tod führen. Gleichzeitig können treibende Fischernetze auch in Schiffsschrauben gelangen und die Manövrierfähigkeit von Schiffen beeinträchtigen. Sie gefährden somit auch die Sicherheit der Schifffahrt.¹⁵ Plastik, das von Fischen mit Nahrung verwechselt wird, landet auch auf dem Teller und gefährdet damit die menschliche Gesundheit.

Die negativen Folgen der Kunststoffflut sind vielfältig und zu großen Teilen noch nicht ausreichend erforscht. Über das Ausmaß herrscht allerdings kaum mehr Zweifel. In den letzten Jahren wurden Studien und Schätzungen

bekannt, wonach teils mehr Plastikpartikel als Fische in vielen Gewässern anzutreffen sind. Durch seine lange Haltbarkeit, die eigentlich einen der größten Vorteile des Materials darstellt, dauert es teils mehrere hundert Jahre, bis Kunststoffprodukte abgebaut sind. Das Problem wird daher noch langfristig bestehen. Mit der Zeit zerfallen Plastikabfälle in kleinere Teile, das Mikroplastik. Zu den größten Quellen von Mikroplastik zählen unter anderem der Reifenabrieb, die Freisetzungen bei der Abfallentsorgung und auf Baustellen, die Verwehungen bei Kunstrasenplätzen und der Faserabrieb bei Textilwäschen.¹⁶ Die Aufnahme durch den Menschen kann durch Verzehr von Lebensmitteln und die Atemluft erfolgen. Die möglichen toxikologischen Auswirkungen von Mikroplastik sind noch zu großen Teilen unerforscht.¹⁷

Antworten auf die Kunststoffflut

Eine Reihe von Forschungsprojekten beschäftigt sich mit den Folgen der weltweiten Plastikflut, die insbesondere in den Meeren enorme Schäden für Flora und Fauna verursacht. Zu den prominenten Beispielen zählen das Ocean Cleanup und das Pacific Garbage Screening, die beide darauf abzielen, in einem großen Maßstab Kunststoffmüll aus den Meeren zu filtern, ohne dabei Fische als Beifang zu erhalten und ohne sonstige Eingriffe in das maritime Ökosystem. Lokale Verschmutzungen mit Plastikmüll sollen durch den Seabin beseitigt werden, der als schwimmende Mülltonne Plastikabfälle beispielsweise in Hafenbecken einsaugt. Hinzu kommen zahlreiche Initiativen von Nichtregierungsorganisation, in deren Rahmen Freiwillige besonders betroffene Strände von Plastikabfällen säubern. Allerdings setzen diese Projekte bei den Folgeerscheinungen des Kunststoffkonsums an. Aus den Erfahrungen mit dem Umgang mit anderen Rohstoffen und der Diskussion um die Kritikalität von Rohstoffen in den letzten Jahren lassen sich hingegen Ansätze ableiten, die bereits bei den Ursachen des dramatischen Anstiegs des Kunststoffmülls weltweit ansetzen. Die Maßnahmen konzentrieren sich auf zwei Aspekte: Substitution und Design.

Substitution

Es bestehen zahlreiche Möglichkeiten zur Substitution von Kunststoffen und insbesondere von Plastikverpackungen. Diese lassen sich in vier Substitutionsarten einteilen: die Materialsubstitution, die technologische Subs-

14 Vgl. J. Moore: Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat, in: Environment Research, 108. Jg. (2008), H. 2, S. 13-139.

15 Vgl. S. Sheavly, K. Register: Marine Debris & Plastics: Environmental Concerns, Sources, Impacts and Solutions, in: Journal of Polymers and the Environment, 15. Jg. (2007), H. 4, S. 301-305.

16 Vgl. J. Bertling, L. Hamann: Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik. Ursachen, Mengen, Umweltschicksale, Wirkungen, Lösungsansätze, Empfehlungen, in: Kurzfassung der Konsortialstudie, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik, 2018, S. 1-56.

17 Vgl. S. Wright, F. Kelly: Plastic and Human Health: A Micro Issue?, in: Environmental Science & Technology, 51. Jg. (2017), H. 12, S. 6634-6647.

Tabelle 1
Möglichkeiten der Substitution von Kunststoffen

Substitutionsart	Zielsetzung	Beispiele
Materialsubstitution	Im Rahmen der Materialsubstitution wird ein Rohstoff bzw. ein Material durch ein Substitut mit vergleichbaren Eigenschaften ersetzt. Die Materialsubstitution umfasst zudem den Einsatz von Sekundärrohstoffen anstatt von Primärrohstoffen.	Einsatz von Rezyklat, Einsatz von Bio-Kunststoffen
Technologische Substitution	Die technologische Substitution umfasst Effizienzsteigerungen beim Materialeinsatz, entweder durch bessere Eigenschaften bei unverändertem Materialeinsatz oder durch gleichbleibende Materialeigenschaften bei reduziertem Materialeinsatz.	Dünnere Materialstärken und kleinere Verpackungen bei gleichbleibendem Inhalt
Funktionale Substitution	Zur funktionalen Substitution zählen alternative Produkte oder Dienstleistungen, die einen vergleichbaren Nutzen bringen. Auch ein geändertes Konsumentenverhalten kann zur Substitution von Rohstoffen entscheidend beitragen, wenn es zu einem veränderten Rohstoffbedarf führt.	Mehrweg-Kaffeebecher statt Einwegbecher; Jutebeutel statt Einweg-Plastiktüten; Markierung von Bio-Lebensmitteln wie z. B. durch Laser statt einer Plastikbanderole
Qualitätssubstitution	Rohstoffe und Materialien werden durch Substitute mit unterlegener Leistungsfähigkeit ersetzt. Die Qualitätssubstitution kann sowohl die Materialsubstitution, die technologische Substitution als auch die funktionale Substitution umfassen.	Weniger hochwertiges Rezyklat wird in Anwendungsbereichen eingesetzt, wo diese geringere Qualität ausreichend ist.

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an S. Ziemann, L. Schebek: Substitution knapper Metalle – ein Ausweg aus der Rohstoffknappheit, in: Chemie Ingenieur Technik, 82. Jg. (2010), H. 11, S. 1965-1975.

titution, die funktionale Substitution und die Qualitätssubstitution (vgl. Tabelle 1):

- **Materialsubstitution:** Der Ersatz von Primärrohstoffen durch Rezyklat oder Biokunststoffe ist einer der wichtigsten Ansatzpunkte der Materialsubstitution im Kampf gegen die Plastikflut. Bisher vielversprechende Biokunststoffe sind beispielsweise biobasiertes Polyethylenterephthalat (bio-PET) und Polylactid (PLA). Diese Kunststoffe basieren auf nachwachsenden, pflanzlichen Rohstoffen und werden aktuell besonders für Verpackungsfolien, aber auch in Flaschen und Schalen eingesetzt.¹⁸ Allerdings ist nicht jeder Biokunststoff auch biologisch abbaubar. Bio-PET würde ebenso lange in den Weltmeeren verweilen wie sein auf Rohöl basierendes Pendant.¹⁹ Der Ausdruck Bio darf hier nicht zu einer Verbrauchertäuschung führen.
- **Technologische Substitution:** Effizienzsteigerungen beim Plastikeinsatz umfassen insbesondere geringere Materialstärken und weniger Verpackungsmaterial. Das Problem der technologischen Substitution besteht allerdings darin, dass an dem grundsätzlichen Einsatz von Kunststoffen nichts geändert wird. Weiterhin konterkariert eine zunehmende Anwendung von Plastik mögliche Effizienzsteigerungen bzw. diese führen selbst zu einer weiteren Verbreitung von Kunststoffen, was als Rebound-Effekt bezeichnet wird.

¹⁸ Vgl. K. Merk: Biokunststoffe in der Verpackungsindustrie. Nachhaltigkeit im industriellen Umfeld, in: M. Sippel (Hrsg): Nachhaltigkeit im industriellen Umfeld – Konferenzband Fachkonferenz 2015, Konstanz 2015, S. 66-71.

¹⁹ Vgl. C. Ißbrücker, H. von Pogrell: Biobasiert, bioabbaubar oder beides, in: Nachrichten aus der Chemie, 61. Jg. (2013), H. 10, S. 1037-1038.

- **Funktionale Substitution:** Es erfolgt eine Substitution von Kunststoffen durch Alternativen mit gleicher Funktion entweder durch andere (technische) Lösungen oder ein geändertes Nutzerverhalten. Zu ersteren zählen der Ersatz von Kunststoffen vor allem durch Naturmaterialien, zu denen je nach Anwendungsbereich Holz, Bambus, Flachs, Jute, Baumwolle und Wolle zählen, aber auch Glasbehältnisse stellen ein funktionales Substitut für Kunststoffverpackungen dar. Besonders wirkungsvoll und gleichzeitig meist schwerer zu erreichen als eine technische Lösung sind Verhaltensänderungen von Konsumenten. Unverpackt-Läden, die ihre Produkte ohne Plastikverpackungen anbieten sind hier ebenso zu nennen wie Trinkwasser aus dem Wasserhahn statt aus Plastikflaschen.
- **Qualitätssubstitution:** Die Qualitätssubstitution erstreckt sich über alle genannten Substitutionsarten. Stets ist zu prüfen, inwieweit ein Qualitätsverlust bei den jeweiligen Substituten akzeptabel ist. So können beispielsweise weniger reines Rezyklat oder ein Verlust an Stabilität aufgrund von geringeren Materialstärken für viele Anwendungen ausreichend sein.

Die konkrete Frage der (ökologischen) Vorteilhaftigkeit eines Substituts gegenüber einem Ausgangsmaterial wird meist im Rahmen einer Lebenszyklus-Analyse (Life Cycle Assessment, LCA) betrachtet, die die emittierten Emissionen und die Umweltauswirkungen eines Produkts insgesamt im Lauf seines Produktlebens – vom Rohstoff zur Deponie bzw. zur Wiederverwertung untersucht. Allerdings werden dabei die Auswirkungen von Plastikabfällen, die nicht reguliert und unkontrolliert in die Umwelt

Tabelle 2
Möglichkeiten des Designs von Kunststoffen

Ebene	Zielsetzung	Beispiele
Gestaltung	Die Recyclingfähigkeit eines Produkts kann durch gezielte Designänderung, wie geringeres Gewicht und Volumen sowie Farbgebung, erhöht werden. Zudem können Kosten gespart werden, indem beispielsweise auf unnötige Elemente verzichtet und so Material eingespart wird.	Transparente und helle Farbgebung, Optimierung von Gewicht und Volumen, Verzicht auf Kleinstverpackungen
Zusammensetzung	Die Materialzusammensetzung eines Produkts entscheidet über dessen Recyclebarkeit. Die Kombination (bzw. Nicht-Kombination) von unterschiedlichen Kunststoffarten ist hier der wesentliche Einflussfaktor.	Verwendung von Monomaterialien, Einsatz von Rezyklaten, leichte Trennbarkeit von Materialien und Verwendung neuer Kunststoffarten
Infrastruktur	Entscheidend für die Rückgewinnung von Rohstoffen nach der Verwendung ist eine entsprechende Infrastruktur für die Sammlung, Sortierung und das Recycling von Abfällen. Diese muss bereits bei der Gestaltung eines Produkts mitgedacht werden.	Etablierung von Entsorgungs-, Sammel- und Rücknahmesystemen, Mehrwegsysteme, Schließung von Materialkreisläufen
Technik	Bestimmte Designelemente wie Markierungen können helfen, Kunststoffarten sauber zu trennen und Kosten für den Recyclingprozess zu senken.	Kodierungen zur besseren Sortierbarkeit

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an N. Ferreira da Cruz, P. Simões, R. Marques: Economic cost recovery in the recycling of packaging waste: the case of Portugal, in: Journal of Cleaner Production, 37. Jg. (2012), H. 12, S. 8-18; J. Hahladakis, E. Iacovidou: Closing the loop of plastic packaging materials: What is quality and how does it affect their circularity?, in: Science of the Total Environment, 630. Jg. (2018), S. 1394-1400; K. Ragaert, L. Delva, K. Van Geem: Mechanical and Chemical Recycling of Solid Plastic Waste, in: Waste Management, 69. Jg. (2017), S. 24-58.

gelangen, nicht oder unzureichend berücksichtigt.²⁰ Aufgrund der Gewichtseinsparungen, die üblicherweise bei der Verwendung von Plastikverpackungen erzielt werden, fallen die CO₂-Emissionen im Vergleich vorteilhafter aus, während die langfristigen Folgen von Plastikmüll in der Natur für Flora und Fauna schwer abzubilden sind. Damit wird die Frage der Zielsetzung der Optimierung dringlich. Zwar sind ökobilanzielle Betrachtungen eine wichtige, aber an dieser Stelle noch verbesserungsbedürftige Entscheidungsgrundlage. Glas verursacht durch sein höheres Gewicht beim Transport und den hohen Energieaufwand bei der Produktion meist deutlich mehr CO₂ als Kunststoff. Hier kommt es auf die Länge der Lieferwege an (lokales Glas ist besser als Plastik) und besonders auf die Nutzungsdauer. In den meisten Fällen entsteht der Vorteil von Glas durch Mehrfachnutzung. Glasflaschen, die bis zu 50 mal wieder befüllt werden können, sind ökologisch vorteilhafter als Einweg-Kunststoffflaschen.²¹ Weitere Schwierigkeiten ergeben sich bei der Substitution von rohöl-basierten Kunststoffen durch Biokunststoffe. Der Anbau von Rohstoffen für Biokunststoffe verursacht den Verbrauch von Wasser und tritt häufig in Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion. Dafür lösen sich diese Kunststoffe im Meer schneller auf und schädigen Tiere weniger. Auch hier stellt sich die Frage nach dem Optimierungsziel.

²⁰ Vgl. R. Accorsi, L. Versari, R. Manzini: Glass vs. Plastic: Life Cycle Assessment of Extra-Virgin Olive Oil Bottles across Global Supply Chains, in: Sustainability, 7. Jg. (2015), H. 3, S. 2818-2840; vgl. S. Humbert et al.: Life cycle assessment of two baby food packaging alternatives: glass jars vs. plastic pots, in: The International Journal of Life Cycle Assessment, 14. Jg. (2009), H. 2, S. 95-106.

²¹ Vgl. Umweltbundesamt: Mehrwegflaschen, 2017, <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/essen-trinken/mehrwegflaschen#textpart-1> (20.8.2018).

Design

Die Substitution beginnt allerdings bereits bei der Produktentwicklung. Das Design der Produkte und der Infrastruktur ist entscheidend für die Frage des Rohstoffeinsatzes und der späteren Recyclebarkeit. Designstrategien setzen ebenfalls bei den Ursachen des Kunststoffkonsums an. Tabelle 2 stellt wesentliche Ansätze von Designstrategien anhand von vier Kategorien dar.

- **Gestaltung:** Die Gestaltung eines Produkts leistet einen entscheidenden Beitrag, um negative Externalitäten zu bekämpfen, indem sie die Recyclebarkeit verbessert und eine wettbewerbsfähige Produktion von Rezyklat ermöglicht. So lassen sich dunkle Kunststoffe mit optischen Sortierverfahren derzeit nur schlecht nach Kunststoffart trennen. Dadurch entstehen im Recyclingprozess Zusatzkosten. Bei dieser Designstrategie treten jedoch häufig Interessenkonflikte auf. Beispielsweise kann ein recyclebares Design im Widerspruch zu den Marketingzielen eines Unternehmens stehen. Mit einer angepassten Marketingstrategie und dem Einsatz alternativer Verpackungsmaterialien lassen sich Nachhaltigkeitsziele erreichen. Ein geringeres Volumen und Gewicht ist eine weitere Möglichkeit, Rohstoffe einzusparen. Auch der Verzicht auf redundante Kleinstverpackungen kann einen Beitrag leisten. Hieran lässt sich gut verdeutlichen, wie eine direkte Verbindung zwischen funktionaler und technologischer Substitution sowie Designstrategien besteht.
- **Zusammensetzung:** Besteht ein Kunststoffherzeugnis aus nur einem Material (Monomaterial) lässt sich dieses effizienter recyceln als eins aus verschiedenen Kom-

ponenten (Multi-Layer). Bei Letzterem ist eine Trennung des Kunststoffes in seine einzelnen Bestandteile derzeit technisch schwer umsetzbar, weshalb Multi-Layer-Kunststoffe oftmals verbrannt werden. Eine andere Möglichkeit, Zusammensetzungen nachhaltiger zu gestalten, ist der Einsatz von Rezyklaten oder Bio-Kunststoffen und der damit einhergehende Verzicht auf Primärkunststoffe und rohölbasierte Materialien. Die leichte Trennbarkeit von Materialien kann zudem ebenfalls die Reinheit eines Rezyklats erhöhen und den Recyclingprozess vereinfachen. Hier findet sich eine direkte Verbindung zwischen Materialsubstitution und Design. Durch Verzicht auf bestimmte Kunststoffe können Kosten gespart werden. Das recycelte Material weist zudem eine hohe Qualität auf, wenn bereits der Ausgangsstoff sehr rein ist. Allerdings darf dadurch beispielsweise die Schutzfunktion einer Verpackung für das Lebensmittel nicht beeinträchtigt werden. Hier wäre zu untersuchen, ob eine Neubewertung von Mindesthaltbarkeitsdaten den Konflikt zwischen Kunststoffeinsatz und Lebensmittelschutz lösen kann. Das Mitdenken von Qualitäts- und Materialsubstitutionen bietet dafür wichtige Anhaltspunkte. Zudem stellt der Preis einen entscheidenden Einflussfaktor dar. Oftmals sind auf Rohöl basierende Primärkunststoffe günstiger als Rezyklate oder Biokunststoffe. Hier ist es daher besonders relevant, technologische Substitutionen und Designstrategien gemeinsam zu denken, um wettbewerbsfähige Alternativen zu erhalten.

- **Infrastruktur:** Ein wesentliches Element für recyclinggerechtes Design ist das Mitdenken von Rücknahmesystemen, um Materialkreisläufe zu schließen. Das Design muss so angepasst werden, dass ein Produkt zum entsprechenden Rücknahmesystem passt. Verpackungen müssen je nach System unterschiedlich gestaltet werden, um etwa für eine Mehrfachnutzung robuster zu sein. Durch die Kooperation mit Entsorgungssystemen können Produkthersteller eigene Kreisläufe schließen, indem sie etwa gebrauchte Verpackungen zurückerhalten, einem Recycling zuführen und das eigene Rezyk-

lat in den Produktionsprozess zurückführen. Dies kann die Abhängigkeit von externen Rohstofflieferanten reduzieren und den ökologischen Fußabdruck einer Verpackung verkleinern. Weiterhin kann das Produktdesign den Verbraucher bei der Entsorgung unterstützen und aufzeigen, wie das Produkt nach der Verwendung entsorgt werden muss. Solche Designelemente können zur Aufklärung der Konsumenten beitragen. Designstrategien leisten demnach einen entscheidenden Beitrag für die Materialsubstitution.

- **Technik:** Ein wesentlicher Kostenfaktor beim Recycling ist die Sortierung des Kunststoffabfalls. Hier kann Design helfen, beispielsweise Kunststoffe sortenrein zu trennen und somit Kosten zu senken und die Qualität von Rezyklaten deutlich zu erhöhen. Designelemente können dabei wichtige Grundvoraussetzungen für Materialsubstitutionen schaffen.

Fazit

Kunststoff ist ein allgegenwärtiges Material mit weltweit sichtbaren Auswirkungen auf die globalen Ökosysteme. Die hier dargestellte Auswahl geeigneter Substitutions- und Designstrategien kann dazu beitragen, die negativen Externalitäten der Verwendung von Kunststoffen in die Umwelt zu reduzieren. Die Umsetzung der aufgezeigten Substitutions- und Designstrategien gegen die Plastikflut erfordert allerdings oftmals politische Maßnahmen, welche die Substitution von Primärkunststoffen und Änderungen im Produktdesign befördern. Gleichzeitig bedarf es entsprechender Anreizsysteme, die auf ein verändertes Konsumverhalten der Verbraucher abzielen. Das in Deutschland vorhandene Know-how im Bereich der Ressourceneffizienz, die wettbewerbsfähige Kunststoff- und Recyclingbranche sowie das steigende Nachhaltigkeitsbewusstsein der Verbraucher sind ein wichtiger Ausgangspunkt, um die Implementierung entsprechender Substitutions- und Designstrategien als Chance zu begreifen.

Title: *Potential Substitutions and Design Strategies to Address the Flood of Plastics*

Abstract: *The production of plastic and other synthetics has increased in the last few decades due to its inexpensive production costs and its versatile applications. The discussion about the increasing amount of plastics in everyday life and its potential negative consequences has intensified recently. The treatment of plastics at the endoflife (EoL) is the main focus of the criticism. A large share of the plastics that are discarded end up in a landfill or as trash, littering the environment. Plastic waste has become a dramatic problem for the environment, especially maritime ecosystems, and can have dire effects on human health. Based on an analysis and review of the current plastics situation and regulatory events regarding production development, applications, overall economic relevance, negative externalities and problems with the recycling of plastics, this article examines potential solutions in substitution and design and underlines the implications for consumers, producers and regulators.*

JEL Classification: O13, O38, Q53