

Circular Economy für Kunststoffe neu denken

Wie die Transformation zur zirkulären Wertschöpfung gelingen kann

The background of the entire page is a photograph of crumpled, translucent plastic film, possibly a recycling bag, with a blue color overlay. The plastic is wrinkled and folded, creating a complex, organic texture. A dark blue rectangular box is overlaid on the right side of the image, containing the text 'Wir gestalten Zukunft'.

**Wir
gestalten
Zukunft**

**Ergebnisse und Empfehlungen
White Paper des VDI-Round Table**

Inhalt

Vorwort

Executive Summary

Einleitung	1
Entkoppelung Wirtschaftswachstum und Rohstoffverbrauch notwendig	1
Besonderer Fokus: Kunststoffe	2
Herausforderungen für eine kreislaforientierte Kunststoffwirtschaft	3
Ziele des VDI-Round Table	5
Vorgehen des VDI-Round Table	6
Handlungsfeld 1	8
Die Kunststoffwirtschaft für den Kreislauf (re-)organisieren	
Kreislaufschema	8
Herausforderungen	12
Schlussfolgerungen	13
Handlungsfeld 2	14
Kreislaufschließung zur Aufgabe aller Beteiligten machen	
Das Schließen des Kreislaufs neu denken	14
Potenziale und Herausforderungen der Kreislaufschließung je Stufe	14
Chemie	15
Kunststoffhersteller	18
Kunststoffverarbeiter	20
OEM/Verwender	22
Handel	24
Verbraucher*innen	26
Logistik/Entsorgung	28
Verwerter/Recycler	30
Schlussfolgerungen für den gesamten Kreislauf	32
Handlungsfeld 3	35
Regulatorische Anreize für eine zirkuläre Kunststoffwirtschaft schaffen	
Lenkungsinstrumente	36
Kriterien zur Diskussion der Lenkungsinstrumente	37
Chancen und Herausforderungen der Lenkungsinstrumente	40
Schlussfolgerungen der Bewertung der Lenkungsinstrumente	51
Handlungsfeld 4	53
Produkte für den Kreislauf konzipieren	
Neuer ganzheitlicher Design-Ansatz notwendig	54
Wirksamkeit des Design for Circularity steigern	55
Schlussfolgerungen für das Design for Circularity	56
Handlungsempfehlungen	57
Quellenverzeichnis	60
Glossar	62

Vorwort

Die Herausforderungen einer Circular Economy sind eine starke Motivation für Ingenieurinnen und Ingenieure, nach neuen Lösungen zu suchen. Gleichzeitig greifen diese Herausforderungen oftmals tief in etablierte Strukturen, Prozesse und Technologien ein. Veränderungen sind anspruchsvoll und deshalb am ehesten in einem größeren Zusammenhang und mit gemeinsamen Strategien aller Beteiligten einer Wertschöpfungskette möglich.

Das Ziel einer weitgehenden Kreislaufführung unserer Rohstoffe bedeutet aber auch einen Paradigmenwechsel im Denken: Probleme müssen zum Teil anders definiert und mit ganz neuen Lösungen angegangen werden. So wird der bisherige Fokus auf die Abfallverwertung durch eine neue Perspektive der zirkulären Wertschöpfung abgelöst. Das bedeutet eine tiefgreifende Transformation für alle Akteure.

Wir haben im VDI diese Herausforderung am Beispiel der Kunststoffe mit allen teilnehmenden Stakeholdern des Kreislaufs diskutiert und uns dabei zunächst auf die übergreifenden und systemischen Fragen konzentriert. Denn der Wandel zur Circular Economy wird nur gelingen, wenn nicht nur technische Einzellösungen, sondern das gesamte „System“ von Anfang an auf die Erzeugung und Nutzung hochwertiger Rezyklate ausgerichtet wird.

Dieses Papier ist das Ergebnis eines rund drei Jahre andauernden, umfassenden Dialogprozesses von Sachverständigen aus Wirtschaft, Wissenschaft, NGOs und Politik. Es ist zunächst Ende 2021 als Green Paper erschienen. Nach einer Phase der Kommentierung vor allem durch Verbände und Organisationen wurde das Papier in der vorliegenden Fassung als White Paper durch den Round Table vorgelegt. Die Diskussion des Feedbacks und Überarbeitung einzelner Punkte hat das Papier noch wertvoller gemacht.

Von Anfang an war es Ziel dieses Dialogprozesses, den gesamten Kunststoffkreislauf von der Chemieindustrie, den Kunststoffverarbeitern und den OEMs sowie Markenartiklern über den Handel, die Verbraucherinnen und Verbraucher bis zu den Verwertern und Recyclern abzubilden. Die jeweils unterschiedlichen Perspektiven der Akteure aus den verschiedenen Kreislaufstufen der Wirtschaft wurden ergänzt durch Perspektiven von Umwelt- und Verbraucherorganisationen sowie Vertretern aus dem staatlichen Bereich. Diese besonders breite Anlage des VDI-Round Table war der Schlüssel, um die Anforderungen der Transformation ganzheitlich zu verstehen und eine integrative Sicht im Dialogprozess zu etablieren.

Die Mitglieder des VDI-Round Table waren (in alphabetischer Reihenfolge):

- **Ralph Appel**
VDI e.V., Direktor und geschäftsführendes Präsidiumsmitglied
- **Dietmar Böhm**
PreZero Stiftung & Co. KG
(Schwarz Gruppe), Geschäftsleiter
- **Dr. Jürgen Bruder**
ehem. IK Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e.V., Hauptgeschäftsführer
- **Jürgen Dornheim**
Procter & Gamble Service GmbH,
Director Corporate Packaging
Sustainability & Innovation
- **Prof. Dr.-Ing. Martin Faulstich**
INZIN e.V. Institut für die Zukunft der Industriegesellschaft, Direktor, Mitglied der Ressourcenkommission des UBA, Mitglied des Beirats der VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH
- **Dr.-Ing. Martin Giersbeck**
Robert Bosch GmbH, Director Plastics Engineering, aktuell Applied Mathematics and Engineering for Future Components
- **Timothy Glaz**
Werner & Mertz GmbH,
Leiter Corporate Affairs

- **Dr.-Ing. Alexander Gosten**
Sprecher des Vorstandes der DGAW
Deutsche Gesellschaft für Abfallwirtschaft;
ehem. BSR Berliner Stadtreinigungsbetriebe
AöR für Abfallbehandlung und Stoffstrom-
management, Prokurist
 - **Laura Griestop**
WWF Deutschland,
Referentin Wirtschaft und Märkte
 - **Dr. Christian Haessler**
Covestro AG,
Head of Global Circular Economy Program
 - **Dr. Michael Heyde**
ALPLA Werke Lehner GmbH & Co KG,
Head of Recycling Technology
 - **Prof. Dr.-Ing. Ralf Holzhauer**
Westfälische Hochschule, Zentrum für
Recyclingtechnik, Fachbereich Maschinen-
bau, Umwelt- und Gebäudetechnik,
VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt
 - **Sönke Hübner**
WEPA Hygieneprodukte GmbH,
Projektleiter F&E
 - **Dr. Alexander Janz**
Umweltbundesamt, Leiter der Abteilung III 1
Nachhaltige Produkte und nachhaltiger
Konsum, Kreislaufwirtschaft
 - **Dirk Jepsen**
Ökopol Institut für Ökologie und Politik,
Geschäftsführer
 - **Dr. Franziska Krüger**
Umweltbundesamt, Fachgebiet III 1.6
Kunststoffe und Verpackungen
 - **Matthias Lesch**
Pöppelmann Holding GmbH,
Geschäftsführer Produktion
 - **Jan Meyer**
Unisensor Sensorsysteme GmbH,
Head of Sales – Sorting Technologies
 - **Dr. Peter Orth**
VDI-Gesellschaft Materials Engineering,
Fachbereich Kunststofftechnik
 - **Dr.-Ing. Nico Pastewski**
VDI Technologiezentrum GmbH, Bereichs-
leiter für Gesundheit, Nachhaltigkeit und
Energie, Standortleiter Berlin
 - **Prof. Dr.-Ing. Manfred Renner**
Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits-
und Energietechnik UMSICHT, Institutsleiter
 - **Dr.-Ing. Hartmut Pflaum**
Fraunhofer Cluster of Excellence
Circular Plastics Economy CCPE,
Leiter der Geschäftsstelle
 - **Manfred Rink**
VDI-Gesellschaft Materials Engineering,
Fachbereich Kunststofftechnik
 - **Elke Salzmann**
Verbraucherzentrale Bundesverband e.V.,
Referentin Ressourcenschutz
 - **Dr.-Ing. Hans-Jürgen Schäfer**
VDI-Gesellschaft Materials Engineering,
Geschäftsführer
 - **Helmut Schmitz**
DSD – Duales System Holding
GmbH & Co KG, DerGrünePunkt
 - **Dr. Martin Vogt**
VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH,
Geschäftsführer
 - **Arne Volland**
LLA Instruments GmbH & Co. KG,
Produktmanager Hyperspektralkameras +
Sensor-based Sorting Solutions
 - **Dr. Klaus Wittstock**
BASF SE, Director Industry Affairs
 - **Herwart Wilms**
REMONDIS Assets & Services GmbH & Co.
KG, Geschäftsführer, Mitglied des Beirats der
VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH
- Geschäftsstelle des VDI**
- **Dr. Volker Brennecke**
 - **Dr. Bitu Fesidis**
 - **Nadine Freimuth**
 - **Maximilian Stindt**

Wir möchten an dieser Stelle allen Mitgliedern des Round Table, aber auch allen weiteren Gesprächspartnern sehr herzlich für ihre Beiträge sowie ihre Offenheit und Diskussionsbereitschaft danken.

Das Papier ist in einem iterativen Prozess mit allen Mitgliedern des Round Table erstellt und konsolidiert worden. Es war nicht angestrebt, eine Konsensfassung zu erstellen. Das vorliegende „White Paper“ wird demnach zwar von den Teilnehmenden des Round Table mitgetragen, dies bedeutet aber keine vollumfängliche Zustimmung zu jeder einzelnen Aussage. Wichtiger war dem VDI die Multi-Stakeholder-Perspektive und die gemeinsame Suche nach geteilten Problembeschreibungen und -lösungen. Wir möchten an dieser Stelle allen Mitgliedern des Round Table, aber auch allen weiteren

Gesprächspartnern sehr herzlich für ihre Beiträge sowie ihre Offenheit und Diskussionsbereitschaft danken. Zu Beginn des Prozesses haben sich besonders Herr Dr. Peter Orth und Herr Manfred Rink um die inhaltliche Fokussierung und Frau Dr. Antje Grobe von Dialog Basis um die Moderation des Prozesses verdient gemacht. In der Weiterentwicklung und Erstellung des Papiers ist besonders Frau Dr. Bitia Fesidis, Frau Nadine Freimuth und Herrn Maximilian Stindt aus der Hauptgeschäftsstelle des VDI zu danken.

Düsseldorf, im November 2022

Dipl. Wirtsch.-Ing. Ralph Appel
Direktor und geschäftsführendes
Präsidiumsmitglied des VDI

Dr. Volker Brennecke
Leiter der Abteilung
Politik und Gesellschaft



Executive Summary

Beim Aufbau einer Circular Economy muss der Umgang mit Kunststoffen grundlegend verändert werden. Globale Umweltprobleme, wie Mikroplastik in den Weltmeeren oder CO₂-Emissionen durch den Einsatz fossiler Rohstoffe und thermischer Verwertung, verdeutlichen, dass die bisherige Nutzungsweise von Kunststoffen die planetare Belastungsgrenze überschreitet. Abfallwirtschaftliche Instrumente wie Müllsortierung und Recycling sind notwendig, aber nicht hinreichend für eine Wende hin zu einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft. Es bedarf eines Paradigmenwechsels, um ein System zu gestalten, das eine vollständige Kreislaufführung von Kunststoffen ermöglicht.

Wesentliche Voraussetzung dafür ist ein Umdenken in der Praxis: Über die vielen ambitionierten technischen Innovationen hinaus muss die wirkliche Schließung der Kreisläufe in den Fokus gerückt werden. Entscheidend ist eine möglichst weitgehende Verwendung von recycelten Rohstoffen (Rezyklaten) und nachhaltigen Alternativen, nicht nur in einzelnen Produktbereichen (z. B. bei PET-Flaschen), sondern bei den Materialströmen aller Polymere. Damit werden Kunststoffabfälle zu wertvollen Rohstoffquellen für neue Produkte. Zugleich könnte auf diesem Weg auch ein erheblicher Beitrag zur Klimaneutralität der Kunststoffherzeugung gelingen.

Es bedarf eines Paradigmenwechsels, um ein System zu gestalten, das eine vollständige Kreislaufführung von Kunststoffen ermöglicht.

Dies erfordert allerdings eine tiefgreifende Transformation des Gesamtsystems hin zu einer zirkulären Wertschöpfung. Dieser Wandel kann nur durch gemeinsame Anstrengungen und Kooperationen erreicht werden. In diesem Sinne hat der VDI mit dem Format des Round Table erstmals Fachleute aus allen Teilbereichen des Kunststoffkreislaufs – Chemieindustrie, Kunststoffverarbeiter, OEMs, Handel, Verbraucher, Entsorger und Verwerter – an einen Tisch zusammengebracht. Einbezogen wurden auch Vertreter von Politik, Wissenschaft und NGOs. Nur durch einen solchen perspektivenreichen

Dialog war und ist es möglich, ganzheitliche Lösungsansätze zur Transformation des Gesamtsystems zu formulieren. Mit dieser systemischen Perspektive beschreibt das Papier des VDI-Round Table innerhalb von vier Handlungsfeldern, welche technischen, ökonomischen und ökologischen Chancen und Herausforderungen dieser Wandel mit sich bringt. Die Kreislaufführung von Kunststoffen durch den Einsatz von Rezyklaten steht dabei immer im Mittelpunkt. Hieraus werden Handlungsempfehlungen für Industrie und Politik abgeleitet.





Handlungsfeld 1

Die Kunststoffwirtschaft für den Kreislauf (re-)organisieren

Der Paradigmenwechsel zur zirkulären Wertschöpfung, die Veränderung von Geschäftsmodellen und die Transformation ganzer Wirtschaftsbereiche erfordern nicht nur klare Bekenntnisse aller Kreislaufbeteiligten, sondern auch ein ganz neues Ausmaß an Kooperation. Statt sich ausschließlich auf die eigene oder die benachbarte Stufe der Wertschöpfung zu

fokussieren, werden Rohstoffproduzenten, Kunststoffverarbeiter, Produktdesigner, Handel, Konsumenten und abfallwirtschaftliche Akteure gemeinsam optimierte Lösungen erarbeiten müssen. Das erfordert ein intelligent organisiertes Miteinander, auch mittels digitaler Unterstützung.



Handlungsfeld 2

Kreislaufschließung zur Aufgabe aller Beteiligten machen

Dieses Handlungsfeld richtet den Blick auf die Herausforderungen der Akteure jeder einzelnen Kreislaufstufe sowie auf ihren potenziellen Beitrag zur Kreislaufschließung. Es wird deutlich, dass jeder Einzelne seine eigenen Produkte und Prozesse optimieren kann und sollte. Im Hinblick auf das Gesamtsystem ist jedoch wichtig,

dass Optimierungen innerhalb einer Stufe im Kontext des Gesamtsystems und in Kooperation mit anderen Kreislaufpartnern vorgenommen werden, damit keine gegenläufigen Entwicklungen und Lösungen entstehen. Eine solche Analyse – erarbeitet in aufwendigen Dialogprozessen – liegt hiermit erstmals vor.



Handlungsfeld 3

Regulatorische Anreize für eine zirkuläre Kunststoffwirtschaft schaffen

Die Vielzahl einzelner Optimierungen in jeder Kreislaufstufe wird angesichts der zum Teil divergierenden Interessen, Erwartungen und Zielkonflikte der verschiedenen Akteure nicht ausreichen, die notwendige Transformation im Bereich der Kunststoffe anzustoßen. Die Politik ist daher gefragt, hier einen ganzheitlichen Rahmen zu schaffen, der diesen Wandel durch eine Kombination von regulatorischen Vorga-

ben und ökonomischen Anreizen unterstützt und beschleunigt. Die kriteriengeleitete Bewertung verschiedener regulatorischer Lenkungsinstrumente durch den VDI-Round Table hat gezeigt, dass aufgrund ihrer unterschiedlichen Wirkungsmechanismen ein intelligenter Instrumentenmix aus Einsatzquoten und ökonomischen Steuerungsinstrumenten notwendig sein wird.



Handlungsfeld 4

Produkte für den Kreislauf konzipieren

Der Wandel hin zu einer Circular Economy erfordert einen ganzheitlichen Design-Ansatz, bei dem die Kreislauffähigkeit schon bei der Produktkonzeption mitgedacht wird und alle Stufen von der Kunststoffherzeugung bis zur Entsorgung und Verwertung berücksichtigt werden. Dieser Ansatz muss sich entsprechend

auch in den Normen, Standards, der Aus- und Weiterbildung sowie im politischen Rahmen wiederfinden. Denn seine volle Wirkung wird das Produktdesign erst entfalten, wenn sich Kreislaufführung als ökologisches Ziel und wirtschaftliches Prinzip bei allen Akteuren der Wertschöpfungskette etabliert hat.

Einleitung

Entkoppelung Wirtschaftswachstum und Rohstoffverbrauch notwendig

Der weltweite Rohstoffverbrauch nimmt zu, Tendenz steigend. Schon heute überschreitet die Nutzung natürlicher Ressourcen die Regenerationsfähigkeit der Erde. Die Dynamik des globalen Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstums wird dieses Problem weiter verschärfen. Gleichzeitig steigen die Konzentration von Treibhausgasen in der Erdatmosphäre wie auch andere Umweltbelastungen an Land und im Meer. Viele der Ökosphäre entnommenen Ressourcen gelangen an ihrem Lebensende als unbehandelter, stetig wachsender Abfall in die Umwelt. So werden weltweit nach Schätzungen der Weltbank jährlich ca. 2 Milliarden Tonnen feste Siedlungsabfälle erzeugt (vgl. Kaza et al. 2018).

Für einen verantwortungsvollen Umgang mit unseren begrenzten Ressourcen muss ökologisch sinnvolle Kreislaufführung daher zum neuen Leitmotiv wirtschaftlichen und industriellen Handelns werden.

Neben Ressourcennutzung und Klimawandel gilt Abfall in der Umwelt als eines der dringendsten globalen Umweltprobleme. Herausforderungen wie diese erfordern neue Denkweisen und Lösungsansätze, auch in der Wirtschaft. Das vorherrschende lineare Wirtschaftsmodell, bei dem Konsum und Produktion eher der kurzfristigen Denkweise „Herstellen, benutzen, entsorgen“ entsprechen, ist mit einer verantwortungsvollen Umweltnutzung nicht vereinbar und wird auch den anderen Bemühungen, die Umwelt und das Klima zu schützen nicht gerecht. Aus ökologischer wie auch aus ökonomischer Sicht sollte es daher das Ziel sein, das Wirtschaftswachstum vom Rohstoffverbrauch und den damit zusammenhängenden negativen Umweltauswirkungen zu entkoppeln und den Ressourcenverbrauch absolut zu senken.

Neue Logik des Wirtschaftens: In Kreisläufen denken

Mit Blick auf die Dringlichkeit der globalen Probleme wird schnell deutlich: Anpassung und Optimierung der heutigen Wirtschaftsweise werden nicht ausreichen, um diese Herausforderungen zu bewältigen. Stattdessen braucht es eine völlig andere Art des Wirtschaftens. Für einen verantwortungsvollen Umgang mit unseren begrenzten Ressourcen muss ökologisch sinnvolle Kreislaufführung daher zum neuen Leitmotiv wirtschaftlichen und industriellen Handelns werden. Dazu gehören Abfallreduzierung und -vermeidung zur Ressourcenschonung, z. B. durch Mehrfachverwendung von Produkten und Materialien entlang der gesamten Wertschöpfung.

Grundsätzlicher Lösungsansatz: Zirkuläre Wertschöpfung

Das Konzept der Circular Economy zielt darauf ab, Material- und Energiekreisläufe zu optimieren und Stoffe, soweit wie ökologisch sinnvoll, in Kreisläufen zu führen. Dadurch sollen nicht nur Ressourcen geschont und effizienter genutzt, sondern auch der Ausstoß von Treibhausgasen reduziert werden. Dazu braucht es eine Erhöhung der Lebensdauer von Produkten ebenso wie den Einsatz von regenerativen Energien und die strikte Schließung des Kohlenstoffkreislaufs. Konkret heißt das, dass Materialien nach der Nutzung gesammelt, aufbereitet und als Rohstoffe wieder in die Produktion zurückgeführt werden sollen.

Damit könnte der Begriff „Abfall“ bald der Vergangenheit angehören, weil just im Moment des „End-of-Life“ der Rohstoff des nächsten Lebenszyklus entsteht. Um hin zu einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft zu kommen, braucht es mehr Kooperation, bewussteren Konsum und neue Geschäftsmodelle, die deutlich weniger Ressourcen benötigen (z. B. Remanufacturing oder Sharing).

Zirkuläre Wertschöpfung bedeutet nicht per se eine Minderung der Produktion oder einen

Verzicht auf wirtschaftliches Wachstum. Stattdessen soll der Rohstoffbedarf durch die Steigerung der Zirkularität gedeckt werden (vgl. Hiebel et al. 2017). Dennoch kommt der Vermeidung nicht nur aus ökologischen, sondern auch aus ökonomischen Gründen eine große Bedeutung zu (vgl. WWF 2021). Dazu gehört die absolute Reduktion der primären Rohstoffnutzung genauso wie der deutliche Ausbau alternativer, nicht fossiler Rohstoffe in allen

Sektoren. Dieses Papier sieht die Vermeidung und Wiedernutzung als zentral an, konzentriert sich aber im Folgenden auf das Recycling und die Schließung der Stoffkreisläufe. Die Idee zur zirkulären Wertschöpfung ist nicht neu. In einigen Bereichen, z. B. Papier oder Glas, ist die technische Umsetzung in Deutschland bereits weit fortgeschritten. Betrachtet man andere Stoffströme, ist der Weg zur zirkulären Wirtschaft aber noch weit.

Besonderer Fokus: Kunststoffe

Zu den relevantesten Stoffströmen, die einer zirkulären Wertschöpfung zugeführt werden müssen, gehören die Kunststoffe. 2021 wurden weltweit rund 391 Millionen Tonnen (Mio. t) Kunststoff produziert, davon ca. 57 Mio. t innerhalb der Europäischen Union (vgl. PlasticsEurope 2022, S. 16 f.). Von den in der EU im Jahr 2021 produzierten Kunststoffen basierten 88 % auf fossilen Rohstoffen. Nur 10 % des Gesamtvo-

lums wurde durch Post-Consumer Rezyklat und 2 % durch biobasierte Kunststoffe gedeckt. Zudem wurden von den in der EU 2020 gesammelten 29 Mio. t Kunststoffabfällen (Post-Consumer) nach wie vor rund zwei Drittel der Abfälle nicht recycelt. Stattdessen wurden rund 42 % der Abfälle energetisch verwertet und ca. ein Viertel auf Mülldeponien entsorgt (vgl. PlasticsEurope 2022, S. 45).

Die zunehmende Verbreitung von Kunststoff in der terrestrischen und aquatischen Umwelt und die Dissipation von Mikroplastik in alle Lebensbereiche sind zu einer globalen Herausforderung geworden.

Immer noch landen weltweit zu viele Produkte am Ende ihres Lebenswegs in der Verbrennung oder ungeordnet in der Umwelt (Littering). Die zunehmende Verbreitung von Kunststoff in der terrestrischen und aquatischen Umwelt und die Dissipation von Mikroplastik in alle Lebensbereiche sind zu einer globalen Herausforderung geworden. Problematisch sind auch die zur Herstellung genutzten fossilen Rohstoffe (Öl und Gas), da die bei ihrer Verbrennung entstehenden Emissionen die Atmosphäre belasten und damit das Klima negativ beeinflussen. Das alles erfordert ein umgehendes Handeln der industriellen Welt im Umgang mit Kunststoffen. Um die Ziele der Treibhausgasneutralität und die vollständige Unabhängigkeit von fossilen Ressourcen zu erreichen, ist letztlich eine Transformation der gesamten Kunststoffwirtschaft erforderlich.

Auf der anderen Seite sind Kunststoffe aus vielen Lebensbereichen zurecht nicht mehr

wegzudenken: Sei es als Verpackung von Lebensmitteln, im Bausektor für Profile und Rohre, als Materialien in der Automobilindustrie oder als Fasern, Lacke, Harze und Klebstoffe. Auch in der Medizintechnik haben Kunststoffe (Spritzen, Schläuche, Handschuhe etc.) eine lebenswichtige Bedeutung. Bisweilen wird Kunststoff aufgrund seiner schier unendlichen Variabilität und Funktionalität als „Werkstoff des 21. Jahrhunderts“ bezeichnet (vgl. auch Orth et al. 2022). Neben variablen Werkstoffeigenschaften besticht die kohlenstoffbasierte Werkstoffklasse auch durch eine hohe Verfügbarkeit und effiziente Verarbeitungsverfahren. Viele Innovationen quer durch alle Branchen gelingen nur dank moderner Hochleistungskunststoffe. Umso wichtiger ist es, den Einsatz von Kunststoffen nicht per se zu verurteilen, sondern dort wo ihr Einsatz Vorteile bringt, den Paradigmenwechsel von der linearen hin zur zirkulären, ressourcenschonenden Wertschöpfung vorzunehmen.

Gute Voraussetzungen in Deutschland

Deutschland allein wird die globale Kunststoffproblematik nicht lösen können, denn globale Probleme erfordern weltweite Lösungen. Gleichwohl ist der Weg zur zirkulären Wirtschaft eine komplexe Gestaltungsaufgabe, für die es innovative technische und wirtschaftliche Lösungen braucht.

Was es braucht ist eine „Rohstoffwende“.

Und genau hier bietet Deutschland gute Voraussetzungen, um modellhaft eine ressourcenschonende, zirkuläre Wirtschaft zu etablieren, die innerhalb der EU und darüber hinaus einen Anstoß zum Wandel geben kann. Die deutsche Kunststoffindustrie zeichnet sich durch hohe Qualität, Zuverlässigkeit und Innovationskraft aus und die zugehörigen Unternehmen der Wertschöpfungskette gehören weltweit zu den Marktführern. Auch die deutsche Abfallwirtschaft gilt mit ihrer differenzierten Sammel- und Aufbereitungsstruktur als internationales Vorbild. Nicht zuletzt die Ingenieurkompetenzen, eine starke Forschungslandschaft und stabile Rahmenbedingungen schaffen eine gute



Grundlage, um in Deutschland die Transformation des Gesamtsystems Kunststoff in Richtung Zirkularität anzugehen. Was es braucht ist eine „Rohstoffwende“. Diese wird ähnlich große technische und strukturelle Herausforderungen mit sich bringen wie die Energie- und Mobilitätswende in Deutschland.

Ziel dabei ist es, z. B. den emissionsrelevanten fossilen Kohlenstoff und seine Verbindungen im Kreislauf zu führen, um langfristig die Nutzung immer neuer fossiler Rohstoffe zu beenden. Dies mag aus technischen und logistischen Gründen nie vollständig gelingen, jedoch müssen alle Anstrengungen unternommen und alle denkbaren Verfahren eingesetzt werden, sich diesem Ziel zu nähern. Das erfordert einen ganzheitlichen Ansatz und Technologieoffenheit bei der Kreislaufschließung bei gleichzeitiger Betrachtung gesamtökologischer Ergebnisse.

Herausforderungen für eine kreislauforientierte Kunststoffwirtschaft

Ein Blick auf verschiedenste Initiativen und politische Maßnahmen offenbart, dass es in Deutschland seit einigen Jahren Bemühungen in Richtung neuer Recyclingansätze oder Vorgaben und Innovationen zum Produkt- und Verpackungsdesign gibt. Doch dem Problembewusstsein steht bislang kein adäquater Fortschritt bei der Kreislaufführung von Kunststoffen gegenüber.

Die zentrale Herausforderung und Aufgabe liegt darin, die bisher geleisteten inkrementellen Fortschritte in allen Bereichen einer zirkulären

Kunststoffwirtschaft zu etablieren und angesichts der globalen Probleme zu beschleunigen. Die technologischen Möglichkeiten und Kompetenzen der deutschen Kunststoffwirtschaft sollen dabei genutzt werden, um das Gesamtsystem zu verändern, ohne die Wirtschaftlichkeit und den Erfolg der Unternehmen auf diesem Feld zu gefährden.

Trotz der guten Voraussetzungen in Deutschland, gibt es einige grundsätzliche Herausforderungen, die es im Hinblick auf die Transformation zu lösen gilt:

Keine vergleichbaren Wettbewerbsbedingungen zwischen Rezyklaten und Kunststoffen aus fossilen Rohstoffen:

Wichtiger Bestandteil der „Rohstoffwende“ ist die Substitution ölbasierter Kunststoffneeware durch Rezyklate. Durch den volatilen Ölpreis sind die Kosten für Neeware aus fossilen

Rohstoffen zeitweise deutlich geringer als für Rezyklate. Hinzu kommt die steuerliche Subventionierung von fossilen Energieträgern für eine nicht energetische Verwendung, von der

die öl-basierte Kunststoffherzeugung ebenfalls profitiert. Für eine funktionierende Kreislaufwirtschaft ist aber eine stabile Konkurrenzfähigkeit der Rezyklate bezogen auf den Preis, die Qualität und Verfügbarkeit sehr wichtig. Daher fokussiert sich dieses Papier auf die Frage, wie der Einsatz von Rezyklaten in der Kreislaufwirtschaft gesteigert werden kann. Aktuell gibt es weder ein nationales noch erst recht kein

internationales Level-Playing-Field, also keinen Wettbewerb zwischen Neuware und Rezyklat unter gleichen Ausgangsbedingungen. Erst wenn die Rohstoffpreise auch externalisierte, umweltrelevante Kostenanteile enthalten und der Wert des Kunststoffabfalls bzw. der darin enthaltenden Rohstoffe anerkannt wird, könnten sich auch die Preise für Neuware und hochwertige Rezyklate angleichen.

Disbalance von Angebot und Nachfrage im Markt für Rezyklate:

Während die Rezyklatenanbieter aufgrund des volatilen Ölpreises zeitweise mit Absatzschwierigkeiten kämpfen, beklagen Kunststoffverarbeiter und Produkthersteller, dass ihre Nachfrage an geeigneten Rezyklaten nicht gedeckt werden kann. Dieser Widerspruch entsteht, da auf dem Markt häufig vor allem Rezyklate angeboten werden, die sich für ein sogenanntes Downcycling eignen, das heißt zur Wieder-

verwendung in Anwendungen mit geringerer Qualitätsanforderungen (z. B. für Parkbänke oder Lärmschutzwände). Bei Rezyklaten mit gleichbleibend hoher Qualität, die für hochwertige Anwendungen geeignet sind, übersteigt die Nachfrage häufig dagegen das Angebot. Offenkundig passen Angebot und Nachfrage hier nicht zusammen.

Bei Rezyklaten mit gleichbleibend hoher Qualität, die für hochwertige Anwendungen geeignet sind, übersteigt die Nachfrage häufig dagegen das Angebot.

Fragmentierte Wertschöpfung in der Kunststoffwirtschaft:

Die deutsche Kunststoffwirtschaft ist gekennzeichnet durch verschiedenste Geschäftsmodelle und historisch gewachsene Strukturen. Zum Teil konträre Erwartungen der Stakeholder führen zudem zu einer starken Fragmentierung entlang der Wertschöpfungskette. Hinzu kommen wenige große Kunststoffherzeuger auf der einen Seite und viele kleine und mittelständische Verarbeiter, Abfallentsorger und Recycler auf der anderen Seite. Dieser Flickenteppich

an Akteuren und Zuständigkeiten lässt sich nur schwer zu einer für alle passenden Strategie und einem positiven Transformationsprozess zusammenführen. Schon jetzt ist klar, dass eine tragfähige zirkuläre Wertschöpfung ein ganz neues Ausmaß an Kooperation und Koordination über Wertschöpfungsstufen hinweg erfordert, die über die bisherigen Bemühungen hinausgehen.

Technologische Grenzen und Zielkonflikte:

Kunststoffe sind vielfältig einsetzbar und bieten unzählige Variationsmöglichkeiten. Viele der heute vom Markt erwarteten Materialeigenschaften stehen jedoch dem Ziel der Zirkularität entgegen. Verbundwerkstoffe, Werkstoffgemische, verklebte oder vernetzte Werkstoffe erschweren ein hochwertiges Recycling, zahlen aber auf andere Kreislaufziele wie besondere Langlebigkeit ein. Durch Änderungen im Pro-

duktdesign, Weiterentwicklungen der Sortier- und Sammelsysteme oder neue Recyclingtechniken können diese technologischen Grenzen zwar überwunden werden, erzeugen durch einen gesteigerten Energie- und Rohstoffverbrauch sowie eine geänderte Produktperformance aber oft ökologische und ökonomische Zielkonflikte.

Politische Regulierung bislang auf Abfall ausgerichtet:

Lange Zeit war die politische Regulierung in Deutschland primär auf Maßnahmen ausgerichtet, die erst am Ende des Lebenszyklus von Kunststoffprodukten und -verpackungen und somit in deren Abfallphase ansetzten. Im Mittelpunkt standen der Umgang und die Beseitigung von Abfällen und weniger die Verwertung und das Recycling zum Schließen der Kreisläufe. Kreislaufgesetzgebung war in der Vergangenheit de facto vor allem Abfallpolitik. Soll das Modell einer Circular Economy fortentwickelt werden, müssen auch politische Regulierungsmaßnahmen viel stärker als bisher auf dieses Ziel einwirken und den Wert von Kunststoffprodukten auch in der Nachgebrauchsphase honorieren. Den Wandel von einer primär auf Abfall orientierten hin zu einer systemischen Sicht auf

den kompletten Lebenszyklus verfolgt auch die geplante Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie der Bundesregierung. Diese beabsichtigt das Modell einer Circular Economy auch im Materialstrom der Kunststoffe zu entwickeln und dafür die erforderlichen Handlungsinstrumente vorzuschlagen.

Mit Blick auf die internationalen Wertschöpfungsstrukturen wird zudem ein europäischer Regulierungsrahmen notwendig sein, um die internationale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Kunststoffwirtschaft nicht zu gefährden. Eine erste Orientierung gibt der „Green Deal“ der EU (z. B. die sogenannte „Plastic Strategy“ sowie der Circular Economy Action Plan).

Erhöhter Handlungsdruck durch öffentliche Kommunikation:

Aufrüttelnde Bilder und Schlagzeilen über Kunststoff in den Weltmeeren und in der Natur erhöhen den Handlungsdruck auf allen Seiten. Schnelles und entschiedenes Handeln ist dringend notwendig in Anbetracht des hohen und steigenden Eintrags von Plastikmüll in die Umwelt. Dennoch sollte man sich nicht zu vor-

schnellen Lösungen verleiten lassen, die im Hinblick auf die Problematik oft wirkungslos oder kontraproduktiv sind. Zielführender sind eine systemische Perspektive und faktengeleitete Maßnahmen, die auf die Transformation des Gesamtsystems abzielen.

Ziele des VDI-Round Table

Mit Blick auf die unterschiedlichen Interessen, die strukturellen Herausforderungen und das komplexe Akteursgeflecht wird klar, dass es für eine zirkuläre Kunststoffwirtschaft ein Umdenken aller Beteiligten und einen klaren regulativen Rahmen braucht. Der Wandel vom heutigen linearen Modell hin zu einer kreislauforientierten Kunststoffwirtschaft benötigt systemische und technische Innovationen sowie eine daran angepasste Wertschöpfung. Mit dem Round Table

hat der VDI einen faktenbasierten Dialog mit Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft geführt und gemeinsam erörtert, wie der systemische Wandel von der linearen hin zur zirkulären Wirtschaft im Bereich der Kunststoffe gelingen kann. Als unabhängige technisch-wissenschaftliche Vereinigung bringt der VDI dabei seine Kompetenz auf allen Feldern der Wertschöpfung in den Diskurs mit ein, ohne eigene Partikularinteressen zu verfolgen.

Mit dem Round Table hat der VDI einen faktenbasierten Dialog mit Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft geführt und gemeinsam erörtert, wie der systemische Wandel von der linearen hin zur zirkulären Wirtschaft im Bereich der Kunststoffe gelingen kann.

Vor diesem Hintergrund hat der VDI-Round Table folgende Ziele:

- Die **Initiierung eines Dialogs**, bei dem Vertreter aller am Kreislauf beteiligten Akteure zusammenkommen.
- Die **Entwicklung eines gemeinsamen Verständnisses über den Kunststoffkreislauf**: vom linearen hin zum zirkulären Wirtschaften.
- Die **Identifikation der Rahmenbedingungen, Potenziale und Herausforderungen** auf dem Weg zur Circular Economy entlang der einzelnen Kreislaufstufen und -akteure.
- Eine **ganzheitliche und systemische Betrachtung von Lenkungsinstrumenten**, die die Transformation des Gesamtsystems ermöglicht.

Vorgehen des VDI-Round Table

Vor dem Hintergrund der beschriebenen Ziele hat der VDI einen Dialogprozess gestartet, der sich über einen Zeitraum von drei Jahren hinzog (2019 – 2022). Der Ansatz versteht Dialoge als „produktives Werkzeug“, um Lösungen für komplexe Problemstellungen zu entwickeln, wie sie bei Transformationsvorhaben im Bereich der Kreislaufwirtschaft vorliegen. Das Vorgehen orientierte sich an agilen Methoden: es war einerseits geleitet von den übergeordneten Zielen. Zugleich boten die Dialoge Raum für neue Erkenntnisse, die richtungsleitend für den weiteren Dialogprozess waren. Die Dialoge waren ergebnisorientiert und explorativ ausgerichtet. So wurden z. B. neue Erkenntnisse über Barrieren der Kreislaufwirtschaft oder notwendige Handlungsfelder gewonnen.

Vor dem Start des Dialogprozesses war es entscheidend, die richtigen Teilnehmerinnen und Teilnehmer zu identifizieren. Der VDI hat dabei Vertreter aller Kreislaufstufen der Kunststoffindustrie sowie NGOs und wissenschaftliche Organisationen zusammengeführt. Seitens der Industrieteilnehmer wurden bevorzugt Vorreiter mit etablierter Marktrelevanz je Stufe ausgewählt. Sie verfügen über ausreichend Erfahrungen als Pionier und haben bereits funktionierende Geschäftsmodelle etabliert. Gleichzeitig wurden die Industrieteilnehmer als Vertreter ihrer Branche gesehen, ohne jedoch ein Vertretungsmandat zu haben. Zudem wurden aus allen themenbezogenen Bundesministerien und dem Umweltbundesamt Gäste einbezogen.



Das Vorgehen im Dialogprozess lässt sich grob in zwei Phasen einteilen:

Die erste Phase hat den „Problemraum“ fokussiert. Es ging zunächst darum, ein breites Problemverständnis aufzubauen und den Dialog entsprechend in der Breite zu öffnen. In einem moderierten Dialog wurden über mehrere Round Table-Sitzungen Problemstellungen und Bedürfnisse der Teilnehmenden hinsichtlich der Transformation zur Kreislaufwirtschaft identifiziert, in der Gruppe geteilt und diskutiert. Ergebnis war ein gemeinsames Problemverständnis in der Breite und auch ein gegenseitiges Verständnis für die Einzelinteressen bzw. Handlungslogiken der einzelnen Stufen. Darauf aufbauend wurde ein Problemverständnis in der Tiefe zu einzelnen Aspekten aufgebaut. In Gruppengesprächen wurden mit den jeweiligen Kreislaufstufen deren Potenziale zur Kreislaufschließung sowie die dabei auftretenden Hürden vertiefend diskutiert. Ergebnisse wurden verschriftlicht, in Schaubildern dokumentiert und mit allen Beteiligten geteilt. So konnte das gegenseitige Verständnis der Teilnehmer weiter vertieft und Wissensdefizite der einzelnen Stufen über Wertschöpfungsprozesse und Handlungsmuster anderer Stufen aufgedeckt werden. Am Ende dieser Phase herrschte Konsens zu vier zentralen Handlungsfeldern.

Die vier zentralen Handlungsfelder:

1. Die Kunststoffwirtschaft für den Kreislauf (re-)organisieren
2. Kreislaufschließung zur Aufgabe aller Beteiligten machen
3. Regulatorische Anreize für eine zirkuläre Kunststoffwirtschaft schaffen
4. Produkte für den Kreislauf konzipieren

Die vier Handlungsfelder und jeweiligen Arbeitsergebnisse des VDI-Round Table werden in den folgenden Kapiteln weiter erläutert und je Handlungsfeld Schlussfolgerungen hinsichtlich der Möglichkeiten oder Herausforderungen einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft gezogen.

Die zweite Phase hat den Lösungsraum fokussiert. Hierbei ging es darum, erste Lösungsansätze zu durchdenken, die es ermöglichen die Transformation zur Kreislaufwirtschaft in der Kunststoffindustrie in der notwendigen Geschwindigkeit umzusetzen. Ein Fokus lag aufgrund der Ergebnisse in Phase 1 auf notwendigen regulatorischen Anreizen. Auch hier wurde zunächst der Dialog in der Breite geöffnet, um mögliche politische Lenkungsoptionen zu identifizieren. Um die Diskussion über die jeweiligen Lenkungsoptionen objektiv und faktenbasiert zu führen, wurde ein Kriterienkatalog entwickelt (vgl. Handlungsfeld 3). So wurden die verschiedenen Lenkungsoptionen in Gruppendiskussionen kriterienbasiert bewertet. Dieses Vorgehen war in der Retrospektive hilfreich, um Themen sachlich zu diskutieren, zu denen es unterschiedliche Interessen je nach Wertschöpfungsstufe und Rolle des Teilnehmenden bzw. der Branche gibt. Neben dem regulatorischen Handlungsbedarf wurden in dieser Phase weitere Handlungsempfehlungen erarbeitet. Hierzu wurden die Arbeitsergebnisse der jeweiligen Handlungsfelder verschriftlicht, iterativ gemeinsam mit den Teilnehmenden verfeinert und Schlussfolgerungen bzw. Empfehlungen im Dialog diskutiert (vgl. Kapitel Handlungsempfehlungen).

Das Ziel ist: Handlungsempfehlungen für Politik und Industrie zu formulieren.

Die Ergebnisse werden in diesem Paper komprimiert mit dem Ziel wiedergegeben, Handlungsempfehlungen für Politik und Industrie zu formulieren. Der Fokus liegt auf der systemischen Transformation und muss dabei viele wichtige Einzelaspekte einzelner Kreislaufstufen vernachlässigen.

Handlungsfeld 1

Die Kunststoffwirtschaft für den Kreislauf (re-)organisieren

Die Kunststoffwirtschaft ist vorrangig noch in linearen (meist global ausgerichteten) Wertschöpfungsketten organisiert. Energie, Arbeitskraft und Geld werden investiert, um auf Basis von petrochemischen und damit fossilen Rohstoffen Kunststoffprodukte herzustellen. Nach der Verwendung des Produkts wird der entstandene Produktabfall entsorgt, meist ohne die Roh- und Wertstoffe wiederzuverwerten und im Kreislauf zu führen.

Der Ansatz der zirkulären Wertschöpfung

Die zirkuläre Wertschöpfung dagegen folgt einem grundsätzlich anderen Ansatz: Die Wertschöpfung des Kunststoffs nimmt nicht linear zu, um dann als Abfall „abzubrechen“. Sie ersetzt das End-of-Life-Konzept durch geschlossene Kreisläufe und vermeidet beziehungsweise verwertet Abfälle, indem sie Ressourcen, Materialien, Produkte, Systeme sowie Geschäftsmodelle entsprechend ganzheitlich gestaltet. Bei diesem Ansatz wird bereits bei der Produktentstehung, die Wiederaufbereitung der Abfälle und Kreislaufführung mitgedacht (Design for Circularity). Ziel ist es, dass der Kunststoff so im Kreislauf geführt wird, dass der Einsatz von fossilen Ressourcen reduziert wird. Langfristig wird die vollständige Unabhängigkeit von fossilen Ressourcen bei der Kunststoffherzeugung angestrebt. Die deutsche chemische Industrie hat sich das Ziel gesetzt, bis in das

Jahr 2050 den eingesetzten Kohlenstoff vollständig im Kreis zu führen und treibhausgasneutral zu sein (vgl. VCI 2020, S. 2).

Doch der Weg zur Kreislaufwirtschaft ist komplex: die Transformation der Wertschöpfungsketten, Stoffströme, Produktentwicklungsprozesse und der Verwertung der Materialien greift tief in die heute etablierten Organisationsstrukturen der Kunststoffwirtschaft ein. Es entstehen neue Rollen, Aufgaben, Schnittstellen und Herausforderungen, deren Bewältigung neue Formen der Zusammenarbeit benötigen. Damit eine Transformation hin zu einer Kreislaufwirtschaft gelingt, sind die bestehenden (linearen) Wertschöpfungsketten zu reorganisieren und es ist ein Umdenken aller beteiligten Akteure notwendig.

Kreislaufschema

Der Round Table des VDI hat ein Kreislaufschema entwickelt, in dem die unterschiedlichen Rollen der Kreislaufbeteiligten veranschaulicht werden und deren Aufgaben und Verantwortlichkeiten im Kreislauf definiert und beschrieben werden.

Das Schaubild „Kreislaufschema“ (vgl. Abb. 1 auf der folgenden Seite) dient der Übersichtlichkeit und Komplexitätsreduktion. Vor diesem Hintergrund werden Strukturen vereinfacht abgebildet. In der Praxis handelt es sich oft um stark vernetzte, globale Liefernetzwerke über und in allen Stufen.

Es wird die vollständige Unabhängigkeit von fossilen Ressourcen bei der Kunststoffherzeugung angestrebt.

Die beteiligten Akteursgruppen sind daher nicht immer trennscharf einer Kreislaufstufe zuzuordnen. Es gibt vielfach Überschneidungen oder Stufen werden integriert – beispielsweise sind Rohstoffhersteller häufig auch Kunststoffherzeuger.

Das in Abb. 1 dargestellte Schema bildet acht Stufen des Kunststoffkreislaufs ab. Diese sind jeweils den vier Segmenten **Rohstoff**, **Produkt**, **Markt** und **Abfall** zugeordnet:

Von der Rohstoffherstellenden **Chemie** **1** und den **Kunststoffherzeugern** **2** gelangt die Kunststoffneuware zu den **Verarbeitern, Komponenten- und Modulherstellern** **3** hin zu den **OEMs und Verwendern** **4**, wo das Produkt hergestellt und über den **Handel** **5** auf den Markt und schließlich zu den **Verbraucherinnen und Verbrauchern** **6** gebracht wird.

Von den Verbraucherinnen und Verbrauchern gelangt das Kunststoffprodukt als Abfall über die **Logistik und Entsorgung** **7** zu den **Verwertern/Recyclern** **8**, die den Kunststoffabfall so aufbereiten, dass er als Rezyklat (PCR: Post-Consumer-Rezyklat, s. auch Glossar) wieder in den Kreislauf eingespeist werden kann (vgl. Abb. 1).

In diesem Papier liegt der Fokus auf PCR. Da dieses im Vergleich zum Post-Industrial-Rezyklat (PIR) noch wenig Anwendung in der industriellen Fertigung findet, ist das Steigerungspotenzial bei PCR am größten.

Kreislaufschema

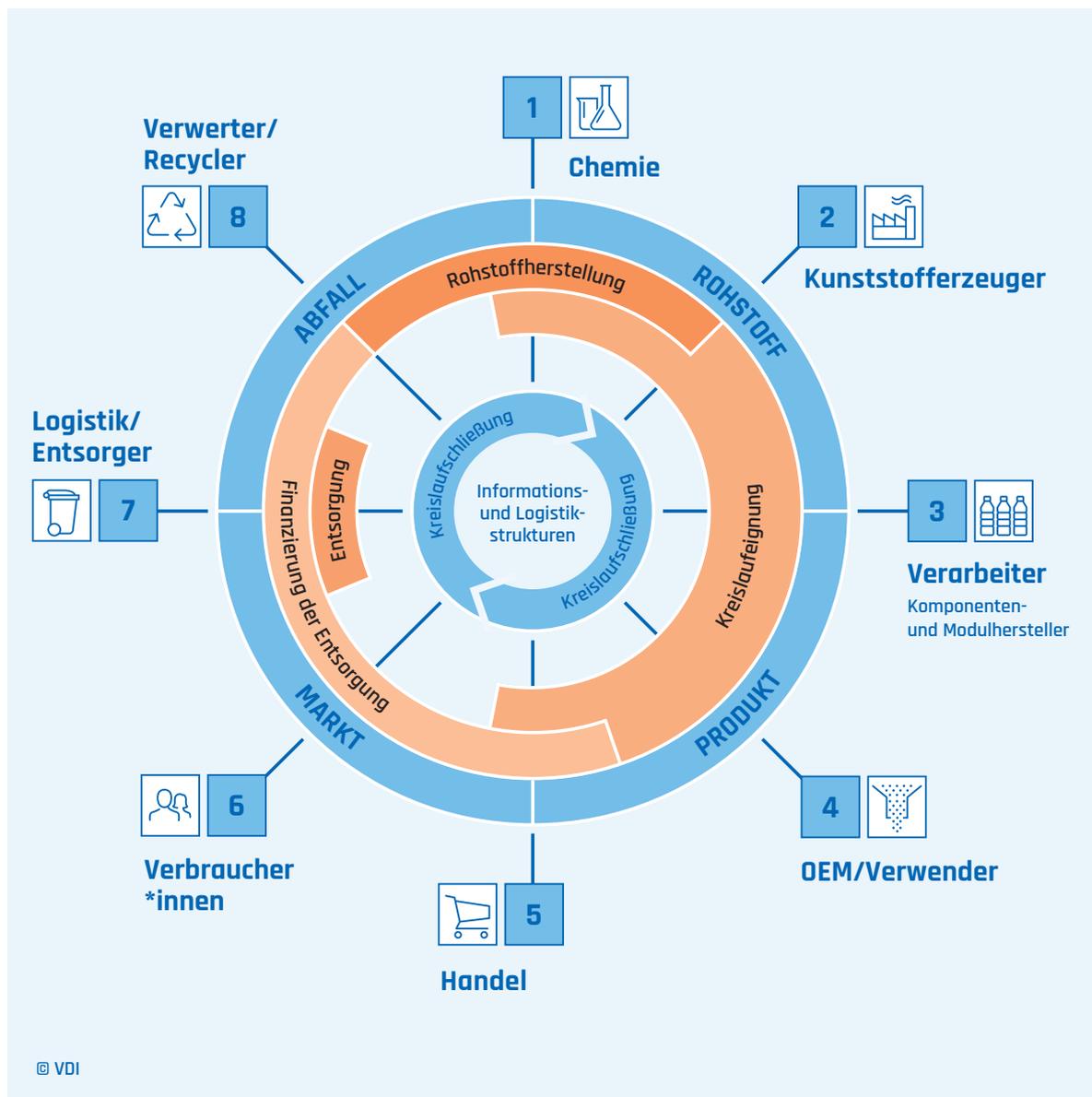


Abbildung 1

Kernaufgaben der am Kreislauf beteiligten Akteure



1

Chemische Industrie

Bereitstellung von Basischemikalien und Monomeren



2

Kunststoffherzeuger

Hersteller der Kunststoffneuware (Granulat, Harz, Vorprodukte für Polyurethan etc.)



3

Verarbeiter/Komponenten- und Modulhersteller

Weiterverarbeitung der Kunststoff-Granulate zu Komponenten und Verpackungen (z. B. Folien, Behälter), die an Systemlieferanten bzw. direkt zum OEM/Verwender geliefert werden.



4

OEM/Verwender

Produktentwicklung, -herstellung und -vermarktung



5

Handel

Bereitstellung der Ware zum Verkauf. Der Handel kann je nach Branche eine unterschiedliche Funktion einnehmen und auch unterschiedliche Relevanz haben. So hat bspw. der Lebensmittel-Einzelhandel einen relativ hohen Einfluss auf die Hersteller von Packmitteln für Lebensmittel



6

Verbraucher*innen

Entscheider, Käufer und Nutzer der Ware



7

Logistik/Entsorger

Sammlung, Transport und Sortierung der Kunststoffabfälle



8

Verwerter (auch Kunststoffrecycler)

Verwertung und Aufbereitung des Kunststoffabfalls zum Rezyklat mithilfe von Sortieranlagen und Recyclingverfahren

Abbildung 2

Unabhängig von den Akteuren sind folgende Aktivitäten als Schlüssel für eine zirkuläre Kreislaufwirtschaft zu betrachten: Die Herstellung von Rezyklaten, die Sicherstellung der Kreislaufeignung, Entsorgung und Kreislaufschließung. Die Schnittstellen der Akteure im Zusammenwirken bei diesen Schlüsselaktivitäten sind vielfältig:

- Für die **Kreislaufeignung** sind vor allem die Segmente Rohstoff, Produkt und Markt relevant: Kunststoffe lassen sich vor allem wegen ihrer vielfältigen Kombination und mangelnden Trennbarkeit nur dann im Kreislauf führen, wenn die Produkte so konzipiert, gestaltet und hergestellt werden, dass sie rezyklierbar sind. Obwohl die Produktentwicklung und -gestaltung bei den Herstellern (OEM/Verwender) liegen, hat bereits die Rohstoffauswahl Einfluss auf die Kreislaufeignung. Um die Kreislaufeignung sicherzustellen, bedarf es deshalb einer engen Abstimmung zwischen den Akteuren, die das Produkt herstellen und auf den Markt bringen, sowie denjenigen, die die benötigten Roh- und Werkstoffe zur Verfügung stellen oder aufbereiten.
- Die **Kreislaufschließung** betrifft alle vier Segmente. Insbesondere bei den Segmenten Abfall, Rohstoff und Produkt gibt es Überlappungen: Wenn der Verwerter Kunststoffabfälle zu Rezyklaten aufbereitet, wird er selbst zum Rohstofflieferanten für die Verarbeiter, Komponenten- und Modulhersteller. Verwerter werden vor diesem Hintergrund zu einem wichtigen Partner im Innovationssystem, wenn es bspw. um Material- und Produktinnovationen geht.



- Bei der **Entsorgung** gibt es Überschneidungen zwischen den Segmenten Markt und Abfall: So ist die Qualität der Kunststoffabfälle teilweise auch von der Sortierkenntnis und dem Sortierwillen des Verbrauchers abhängig. Nicht alle Verpackungen und Abfälle lassen sich durch die Verbraucherinnen und Verbraucher trennen. Jedoch ist auch nicht gewährleistet, dass gut trennbare Produkte tatsächlich von den Verbraucherinnen und Verbrauchern korrekt getrennt werden. Mit Blick auf die Finanzierung, Vermarktung und Kommunikation spielt der Handel eine ebenso wichtige Rolle für die Entsorgung sowie denjenigen, die die benötigten Roh- und Werkstoffe zur Verfügung stellen oder aufbereiten.
- Als gemeinsame Kontaktstelle von der Rohstoffherstellung bis hin zur Rückführung des Produkts spielen **akteursübergreifende Informations- und Logistikstrukturen** eine entscheidende Rolle. Häufig fehlt der Zugriff auf notwendige Daten, z. B. über Werkstoffe, Konstruktion, Produktspezifika etc.

Aus den aufgezeigten Schnittstellen resultiert ein erhöhter Abstimmungs- und Informationsbedarf zwischen allen Kreislaufbeteiligten. Bislang stehen die Akteure in der Regel nur im direkten (wirtschaftlichen) Austausch mit der vor- und nachgelagerten Stufe.

Die Folge ist eine Fülle von Schwachstellen und Kreislaufücken. So kennen bspw. Verwerter häufig nicht die Zusammensetzung des Werkstoffs eines Kunststoffbauteils, obwohl das für die Möglichkeiten der Verwertung entscheidend ist. Einerseits gilt es, wo möglich, durch Standardisierung und Reduktion der Materialvielfalt diese Problematik strukturell anzugehen. Zudem müssten aber auch neben Material, Daten – z. B. in Form eines digitalen Zwillings oder von dem von der EU-Kommission vorgeschlagenen digitalen Produktpass – geliefert werden, um diese Lücke zu schließen. Material- und Produktdaten sind oft Träger von Firmen-Know-how und müssen entsprechend sensibel behandelt werden. Verfahren dazu müssen weiter- oder neuentwickelt und etabliert werden.



Herausforderungen

Zirkuläres Wirtschaften erfordert eine ganzheitliche und systemische Betrachtungsweise, die sich nicht nur auf die Produkt- oder Produktionsseite bezieht. Der Kunststoffkreislauf beginnt in dieser Gesamtperspektive bereits in der Grundstoffproduktion und damit in der chemischen Produktion und Kunststoffherzeugung und nicht erst beim OEM bzw. Verwender (siehe Kreislaufschema).

Die mit dieser veränderten Perspektive einhergehenden Aufgaben, Informationsbedarfe und neuen Schnittstellen machen neben der Schaffung eines gemeinsamen Bewusstseins für Zirkularität auch eine (Re-)Organisation der Kunststoffwirtschaft für den Kreislauf notwendig. Zwar gibt es zahlreiche NGOs und Initiativen, die die zirkuläre Wertschöpfung über alle Kreislaufstufen hinweg vorantreiben, es haben

sich auf der operativen Ebene aber noch keine kreislaufübergreifenden Kooperations- und Organisationsstrukturen etabliert. Einige Produktbereiche sind in der Umsetzung der zirkulären Wertschöpfung schon weiter fortgeschritten. So sind produktspezifische Kreisläufe und Sonderlösungen mit eigenen Pfandsystemen entstanden (z. B. PVC-Fensterprofile oder PET-Flaschen). Diese für sich genommen zielführenden Lösungen gilt es bei der Transformation der gesamten Kunststoffwirtschaft zu integrieren. Berücksichtigt werden muss auch, dass sich einige Akteure bereits auf den Weg gemacht haben und neue Geschäftsmodelle entwickeln. So sind einige Handelsunternehmen bereits im Recycling- und Entsorgungsgeschäft tätig und integrieren damit selbst mehrere Kreislaufsegmente.

Der Kunststoffkreislauf beginnt in dieser Gesamtperspektive bereits in der Grundstoffproduktion und damit in der chemischen Produktion und Kunststoffherzeugung und nicht erst beim OEM bzw. Verwender.

Bezogen auf die akteursübergreifende Informations- und Datenübertragung sind noch Hürden zu überwinden. Optimierungsbedarf liegt bspw. in der Automatisierung auslesbarer Informationen. Bislang sind vor allem Produkthersteller mit der Weitergabe ihrer Produktinformationen wegen des Know-how-Schutzes verhalten. Es fehlen Standards und Regelungen, welche Informationen an welchen Akteur weitergegeben und wie Informationen nach der Nutzungsphase für das Recycling bereitgestellt werden sollten.

Hinzu kommt eine komplexe Entsorgungslandschaft mit öffentlichen und privaten Akteuren, deren historisch gewachsenen oder politisch gewollten Geschäftsmodelle die Organisation eines Kunststoffkreislaufs erschweren. Unbedingt zu vermeiden ist der Export von Abfall.

Häufig wird der Abfallexport als kostengünstige Entsorgungsoption gesehen - de facto wird hierdurch aber die Kreislaufwirtschaft behindert.





Schlussfolgerungen

Um die Kunststoffwirtschaft auf die zirkuläre Wertschöpfung auszurichten, benötigen alle Kreislaufbeteiligten ein gemeinsames Bewusstsein und Rollenverständnis für Zirkularität. Rollen und Aufgaben werden sich im Zuge der Etablierung einer Circular Economy verändern und Kooperation wird eine noch größere Bedeutung einnehmen. Statt sich ausschließlich

auf die eigenen Elemente der Wertschöpfung zu fokussieren, werden Rohstoffproduzenten, Produktdesigner, der Handel, Konsumenten und abfallwirtschaftliche Akteure gemeinsam an optimierten Lösungen arbeiten. Das erfordert ein intelligent organisiertes Miteinander, auch mittels digitaler Unterstützung.

Klares Bekenntnis als gemeinsamer Beitrag aller Akteure

Ihren Beitrag zu einer auf den Kreislauf ausgerichteten Kunststoffwirtschaft können alle Akteure zunächst einmal leisten, indem sie sich offen zur Idee der zirkulären Wertschöpfung bekennen. Dieses Bekenntnis muss sich anschließend in der strategischen Entwicklung und in Investitionen der einzelnen Unterneh-

men wiederfinden, aber eben auch in der Zusammenarbeit sowie im Kommunikations- und Informationsfluss zwischen den verschiedenen Akteuren. Neue Projekte und Investitionen sollten immer auch im Hinblick auf eine zukünftige Kreislaufwirtschaft und die Einhaltung der Pariser Klimaziele geprüft werden.

Um die Kunststoffwirtschaft auf die zirkuläre Wertschöpfung auszurichten, benötigen alle Kreislaufbeteiligten ein gemeinsames Bewusstsein und Rollenverständnis für Zirkularität.

Komplexität der Organisationsstrukturen und Akteursbeziehungen als Hürde

Eine große Hürde bei der (Re-)Organisation der Kunststoffwirtschaft für den Kreislauf stellt zweifellos die Komplexität und Vielfalt der Organisationsstrukturen und Akteursbeziehungen dar. Es besteht die Gefahr, dass aufgrund unterschiedlicher Interessenslagen Zielkonflikte

zwischen den Akteuren aufkommen und Kreislaufücken entstehen oder nicht geschlossen werden. Da die Kooperation aber essenziell für die Umsetzung einer zirkulären Wirtschaft ist, müssen diese Interessenskonflikte überwunden werden.



Handlungsfeld 2

Kreislaufschließung zur Aufgabe aller Beteiligten machen

Die Transformation von der linearen zur zirkulären Wertschöpfung erfordert neben einem gemeinsamen Verständnis aller Beteiligten auch einen ganzheitlichen, systemischen Ansatz, der das Schließen des Kreislaufs zur Aufgabe aller beteiligten Akteure macht. Denn obwohl Aktivitäten und Maßnahmen einzelner Kreislaufpartner einen Beitrag leisten können und müssen, wird der Kunststoffkreislauf nur erfolgreich funktionieren, wenn das Gesamtsystem darauf ausgerichtet ist.

Das Schließen des Kreislaufs neu denken

Mit der zirkulären Wertschöpfung wird Ressourceneffizienz zu einem noch bedeutsameren wirtschaftlichen Prinzip. Durch die Kreislaufschließung wird Abfall zu einem Rohstoff, dem ein Wert zukommt. Diesen Wert müssen alle am Kreislauf beteiligten Akteure anerkennen, damit sich Angebot und Nachfrage für einen Rezyklatemarkt entwickeln können.

Ein wichtiger Baustein für die Rohstoffwende, wie sie im Zuge der Circular Economy angestrebt wird, ist die Substitution von erdölbasierter Kunststoffneeware durch Rezyklate.

Im notwendig großen Maßstab wird dies nur möglich sein, wenn die Kunststoffabfallverwertung als fester Partner im Kreislauf verstanden wird und entsprechende Mengen an Kunststoffabfällen zu Rezyklaten verwertet werden. Dass hier aktuell noch Kreislaufücken existieren, zeigt der geringe Anteil der Kunststoffrezyklate an der insgesamt verarbeiteten Kunststoffmenge: Dieser betrug in Deutschland im Jahr 2021 nur 12 %; der Anteil von Rezyklat aus Post-Consumer-Abfällen liegt bei nur ca. 9 % (vgl. Conversio 2022, S. 13 f.).



Potenziale und Herausforderungen

der Kreislaufschließung je Stufe

Im Folgenden werden die Potenziale und Herausforderungen der Kreislaufschließung aus der Perspektive der Akteure jeder der acht Stufen dargestellt und analysiert. Wie auch im Round Table-Dialogprozess des VDI erfolgt die Diskussion entlang des Kreislaufs für jede einzelne Kreislaufstufe im Detail. Erst das Verständnis der Handlungslogik jeder einzelnen Stufe und ihrer Akteure ermöglichen es, anschließend die Potenziale für die Optimierung des gesamten Kreislaufs klarer herauszuarbeiten, aber auch die Grenzen darzustellen.

Die Diskussion dieser Grenzen wird zeigen, dass alle Kreislaufpartner zusammen – auch bei Bewusstsein für die Notwendigkeit und die technischen Möglichkeiten zirkulärer Wertschöpfung des Kunststoffs – das Gesamtsystem nur begrenzt verändern können. Deshalb werden im Handlungsfeld 3 regulative Instrumente vorgestellt und diskutiert, die die Potenziale aller acht Kreislaufstufen besser ausschöpfen und ihre Grenzen überwinden helfen sollen.



Chemie

Potenzial zur Kreislaufschließung

Die chemische Industrie hat für die zirkuläre Wertschöpfung eine Schlüsselposition als Ausgangs- und Endpunkt der Kreislaufschließung. Häufig sind die beiden Wertschöpfungsstufen Chemie (Bereitstellung von Basischemikalien/Monomeren) und Kunststoffherzeugung vertikal integriert.

Das Potenzial der chemischen Industrie ergibt sich aus ihrer (möglichen) Entscheidungsoption, auf die Rohstoffe Öl und Gas zu verzichten und stattdessen sowohl rezyklierte als auch nachwachsende Rohstoffe zur Herstellung von

Kunststoffen einzusetzen. Es obliegt auch der chemischen Industrie, die Nachfrage in Qualität und Menge zu definieren und zu entwickeln, die die Verwerter und letztlich das Gesamtsystem dazu bringen kann, in großem Umfang in die Aufbereitung zu Rezyklaten zu investieren. Der Pull-Effekt auf die vorgelagerten Stufen wäre erheblich, aber ebenso der Push-Effekt auf die nachgelagerten Stufen, in dem Rezyklate in ausreichender Menge und Qualität zur Verfügung gestellt werden könnten und abgerufen werden müssten.

Chemisches Recycling könnte in Zukunft vor allem dort eine Rolle spielen, wo das mechanische Recycling trotz weitreichendem Design for Circularity an seine Grenzen stößt.

Weitergehendes Potenzial der chemischen Industrie liegt in der Entwicklung von Technologien zur Aufbereitung von Kunststoffabfällen, die bisher nicht oder nur mit Qualitätsverlusten verwertet werden können. Hierzu zählen chemische Recyclingverfahren (z. B. Solvolyse, Pyrolyse, Gasifizierung), die einen chemischen Abbau gebrauchter Kunststoffe in Pyrolyseöl oder die Monomere ermöglichen, die wieder als Rohstoff für Neukunststoffe oder andere Chemieprodukte verwendet werden können. Potenziale chemischer Recyclingverfahren werden derzeit intensiv und zum Teil auch kontrovers diskutiert (siehe Abschnitt „Herausforderungen“).



Chemisches Recycling könnte in Zukunft vor allem dort eine Rolle spielen, wo das mechanische Recycling trotz weitreichendem Design for Circularity (vgl. Handlungsfeld 4) an seine

Grenzen stößt. Eine wesentliche Chance liegt darin, dass Verbundmaterialien, kontaminierte und verschmutzte, gemischte Abfälle sowie nicht schmelzbare Kunststoffe rezykliert werden können, die bei mechanischen Recyclingverfahren mit vertretbarem Aufwand nicht zugänglich oder gar nicht rezyklierbar sind. Auch in Produktbereichen, in denen hohe Sicherheitsanforderungen eine besonders hochwertige Qualität der recycelten Rohstoffe erfordern, kann der Einsatz des chemischen Recyclings in Zukunft sinnvoll sein. Für andere Bereiche wie Leichtverpackungen könnte zukünftig die Kombination mechanischer und chemischer Recyclingverfahren eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Alternative sein (vgl. Stapf 2020). Mit einem solchen Verfahren würden in der Sortierung die mechanisch leicht abtrennbaren Kunststoffe sensorbasiert identifiziert und zu Rezyklat verarbeitet; die Reste, die nicht mechanisch recycelt werden können, könnten mittels chemischen Recyclings zu Neumaterial weiterverarbeitet werden.

Die chemische Industrie hat kommuniziert, gezielt in chemische Recyclinganlagen in Europa zu investieren. Der europäische Kunststoffverband Plastics Europe hat eine geplante Steigerung der Investments der Branche in innovative Recyclingverfahren von 2,6 Mrd. Euro in 2025 auf 7,2 Mrd. Euro in 2030 angekündigt. Gleichwohl ist für die Entwicklung der chemischen



Recyclingverfahren und vor allem auch für die Kombination von mechanischem und chemischem Recycling weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeit notwendig. Bisherige Studienergebnisse verdeutlichen sowohl das Potenzial chemischer Recyclingverfahren, offenbaren aber auch die technologisch, ökologisch und ökonomisch noch zu lösenden Herausforderungen. Dies gilt auch für die ebenfalls in Entwicklung befindlichen Carbon Capture and Utilization (CCU) Verfahren. CCU zielt darauf ab, aus der Verbrennung emittiertes Kohlenstoffdioxid aufzufangen und wirtschaftlich nutzbar zu machen. Um emittiertes CO₂ zu nutzen, muss dieses zunächst durch sogenannte Abscheidungs-technologien (capture technologies) entweder aus dem Verbrennungsabgas oder gar diffus aus der Atmosphäre aufgefangen werden (vgl. auch VDI 2020). Es sollten dazu unabhängige Life-Cycle-Assessments (LCA) in Pilotanlagen im industriellen Maßstab durchgeführt und

dabei die Umweltbilanz der verschiedenen Technologien erhoben werden. Nur wenn sich das chemische Recycling auch aus ökologischer Sicht und im Vergleich mit existierenden Technologien als vorteilhaft erweist, sollte es weiter ausgebaut werden. Daher sind neue Projekte und Investitionen immer auch im Hinblick auf eine zukünftige Kreislaufwirtschaft und die Einhaltung der Pariser Klimaziele zu prüfen (vgl. auch Handlungsfeld 1).

Da davon auszugehen ist, dass eine vollständige Zirkularität bis 2050 nicht erreichbar ist (u.a. wegen Materialverlust bei der Produktion, Nutzungszyklus, Recycling) ist auch zu prüfen, inwiefern alternative Rohstoffbasen (wie zertifizierte nachwachsende Rohstoffe, CO₂ in Verbindung mit CCU) diesen Materialverlust aus der Kreislaufführung klimaneutral ausgleichen können (vgl. auch SYSTEMIQ/Plastics Europe 2022).

Herausforderungen der Kreislaufschließung

Die chemische Industrie besitzt nicht nur einen großen Hebel für die erfolgreiche Transformation, sondern steht auch vor großen technischen, ökonomischen und ökologischen Herausforderungen:

Der Einsatz mechanisch rezyklierter Rohstoffe ist aufgrund der meist unzureichenden Qualität derzeit nur begrenzt möglich, was mitunter an der Vielfalt des Inputs in Recyclingsysteme liegt (vgl. Stufe „Entsorgung und Verwertung“).

Eine Herausforderung liegt darin, Rezyklat zu wettbewerbsfähigen Preisen zu beschaffen. Aufgrund des volatilen Rohölpreises sind Rezyklate gegenüber Neuware häufig nicht konkurrenzfähig. Schwankende Rohölpreise erschweren zudem die Planbarkeit. Herausforderungen gehen auch mit notwendigen Anpassungen von Verfahrenstechnologien und Produktionsprozessen einher, die die Prozesseffizienz erhöhen. Eine weitere Herausforderung ist es, die für viele Recyclingverfahren notwendigen

Massenbilanzansätze regulativ und am Markt zu etablieren. Hierzu existieren bereits einige Zertifizierungssysteme (ISCC+, RedCert).

Unabhängige, zertifizierte Massenbilanzansätze sind notwendig, um transparent den Anteil an defossilisierten Materialien im Endprodukt zu bestimmen, wenn etwa in den Großanlagen gleichzeitig fossile und recycelte Rohstoffe (wie Rezyklate) zum Einsatz kommen. Massenbilanzansätze wären ebenso für die oben skizzierte Kombination von mechanischen und chemischen Recyclingverfahren relevant.

Eine andere zentrale Hürde für die Abkehr von fossilen Rohstoffen betrifft die Investitionskosten: Es sind bereits enorme Investitionen in aufgebaute bzw. im Bau befindliche Produktions-

anlagen geflossen. Das Asset-Investment der chemischen Industrie in den letzten 20 Jahren wird weltweit auf mehr als USD 2,7 Billionen geschätzt (vgl. Ellen MacArthur Foundation 2019, S. 8). Die Anlagen sind auf die Verarbeitung von Vorprodukten auf Basis von Rohöl (Naphtha) ausgelegt und optimiert, können aber auch auf Basis von Kunststoffabfällen hergestellte chemische Rohstoffe (z. B. Pyrolyseöl) verarbeiten. Produktionsanlagen verschiedener Unternehmen sind zum Teil untereinander vernetzt und abhängig. Die vorliegende Infrastruktur für die Verarbeitung rezyklierter Rohstoffe anzupassen, ist mit erheblichen Kosten und Risiken verbunden. Daher sind Bestrebungen in der Chemie ersichtlich, alternatives Naphtha herzustellen, das in existierenden Produktionsanlagen eingesetzt werden kann.

Nur wenn sich das chemische Recycling auch aus ökologischer Sicht und im Vergleich mit existierenden Technologien als vorteilhaft erweist, sollte es weiter ausgebaut werden.

Die oben genannten technologischen Entwicklungen (chemisches Recycling, Kombination aus mechanischem und chemischem Recycling, CCU) haben noch keine Marktreife erlangt. Eine Herausforderung liegt heute noch darin, dass die Verfahren einen hohen Energieverbrauch haben und der Einsatz erneuerbarer Energien teuer ist, sodass die Wirtschaftlichkeit derzeit nicht gegeben ist. Es gibt Befürchtungen, dass sich bereits die Ankündigung der möglichen Alternative (chemisches Recycling) negativ auf die Weiterentwicklung des derzeit aus ökologischer Sicht vorteilhaften mechanischen Recyclings auswirken könnte – z. B. indem Investi-

tionen reduziert werden oder die Bedeutung des Produktdesigns (Design for Re-cycling) vernachlässigt wird (Rebound Effekt). Um die Circular Economy im Bereich der Kunststoffe tatsächlich voranzubringen, sollten die verschiedenen Recyclingverfahren nicht in Konkurrenz zueinander betrachtet werden. Vielmehr gilt es, anhand belastbarer Methoden zu ermitteln, welcher Stoffstrom durch welche Recyclingoption (mechanisch, chemisch, kombiniert) die ökologisch, ökonomisch und qualitativ besten Beiträge zur Klimaneutralität und Kreislaufwirtschaft liefert. Dabei können auch Ansätze der künstlichen Intelligenz unterstützen.

Schlussfolgerungen: Möglichkeiten und Grenzen

Der Hebel der chemischen Industrie für die Schließung des Kreislaufs ist erheblich, aber aufgrund des volatilen Rohölpreises, der internationalen Wettbewerbssituation, der bisher geleisteten Investitionen und der komplexen Produktions- und Liefersituation erscheint zum heutigen Zeitpunkt eine allein branchengetriebene Transformation im notwendigen Zeitraum ohne geeignete politische Rahmenbedingungen kaum realisierbar.

Lösungsansätze liegen in zunehmenden Kooperationen und gemeinsamen Projektinvestitionen, welche neben dem chemischen Recycling auch das Design for Recycling und werkstoffliche Recycling-Technologien in den Fokus nehmen.



Chemie

Kreislaufschließung aus der Perspektive der Chemie

Potenzial	Herausforderungen	Schlussfolgerungen
<ul style="list-style-type: none"> ■ Deckung des Rohstoffbedarfs durch Rezyklateinsatz unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit: ■ Potenzial des chemischen Recyclings erschließen ■ Potenzial der Nutzung von CO₂ (z. B. durch Carbon Capture and Utilization (CCU)) erschließen ■ Potenzial nachwachsender Rohstoffe (Bioökonomie) erschließen 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Entwicklung und Beschaffung von recycelten und nachwachsenden Rohstoffen ■ Modifizierung vorhandener Verfahren und Produktion ■ Komplexität der Verbundproduktion ■ Rückverfolgbarkeit und Dokumentation der genutzten Rohstoffe ■ Verfügbarkeit kostengünstiger erneuerbarer Energie ■ Investitionen in bereits aufgebaute oder im Bau befindliche Anlagen ■ Globale Wettbewerbsfähigkeit (Kosten, Qualität, Lieferfähigkeit) ■ Anpassung bestehender Geschäftsmodelle an die Kreislaufwirtschaft 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Schlüsselposition: Ausgangs- und Endpunkt der Kreislaufschließung ■ Wissenschaftlich-technische Grundlagen zur Kreislaufschließung vorhanden ■ Aber: hohes Risiko (für Pioniere), hoher finanzieller Aufwand und fehlende Planungssicherheit ■ Kreislaufübergreifende Kooperationen als Lösungsansatz

Tabelle 1



Kunststoffherzeuger

Potenzial zur Kreislaufschließung

Die Kunststoffherzeuger können ähnlich der Chemie als Ausgangs- und Endpunkt der Kreislaufschließung betrachtet werden. Sie sind diejenigen, die erheblich dazu beitragen können, dass rezyklierte Rohstoffe verstärkt Eingang in den Kreislauf finden, z. B. indem sie rezyklierte Rohstoffe weiterverarbeiten. Hierzu müssen Kunststoffherzeuger ihre Verfahrens- und Produktentwicklung anpassen. Mit Blick auf die notwendigen Eigenschaften von Kunststoffen, die sich je nach Verwendungszweck

unterscheiden, sind Kunststoffherzeuger gefordert, die notwendigen Eigenschaftsprofile zu entwickeln, z. B. durch Compoundierung und geschickte Mischung von mechanisch erzeugten Rezyklaten, chemischen Rezyklaten und Neuware. Sie können außerdem eine Schlüsselrolle im Wissensaufbau für verschiedene Verfahren einnehmen und so einen wesentlichen Einfluss auf gesamtökologisch sinnvolle Lösungen ausüben.

Herausforderungen der Kreislaufschließung

Die Kunststoffherzeuger stehen vor ökonomischen, technischen und regulatorischen Herausforderungen. Die für die chemische Industrie beschriebene Herausforderung, dass alternative Rohstoffe wie mechanisch erzeugte Rezyklate

nicht in ausreichender Menge, notwendiger Qualität und zu wettbewerbsfähigen Preisen verfügbar sind, trifft die Kunststoffherzeuger in gleichem Maße. Bezogen auf die Qualität erschwert die mangelnde Qualitätskonstanz die

Weiterverarbeitung und Nutzung von Rezyklaten aus dem mechanischen Recycling. Die Qualität der heutigen Rezyklate wird wesentlich von der Sortenreinheit der Ausgangsstoffe beeinflusst. Eine hohe Reinheit der Ausgangsstoffe ist für die Kunststoffhersteller Voraussetzung, um weiterhin die benötigten Materialvarianten an Kunden liefern zu können. Oftmals besteht

ein Spannungsfeld zwischen der Produkthanforderung und der Rezyklatqualität. Eine konstant hohe Rezyklatqualität sowie ausreichende Liefermengen liegen derzeit jedoch nicht vor. Auch vor diesem Hintergrund ist eine hohe Rezepturflexibilität notwendig, um die unterschiedlichen Rohstoffströme, die in die Anlagen einfließen, abbilden zu können.

Die Qualität der heutigen Rezyklate wird wesentlich von der Sortenreinheit der Ausgangsstoffe beeinflusst.

Bezogen auf das Design wird häufig eine Vereinheitlichung von Materialien und deren Zusammensetzung diskutiert, um höhere Recyclinganteile zu erzielen. In der Regel stehen jedoch Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften der Kunststoffe im Vordergrund und

weniger die Recyclingfähigkeit bzw. eine Materialgestaltung, die den Einsatz des Materials in mehreren Kreisläufen erlaubt. Dennoch hat das Design for Circularity bereits beim Kunststoffhersteller und den eingesetzten Materialien anzusetzen.

Schlussfolgerungen: Möglichkeiten und Grenzen

Ähnlich wie bei der chemischen Industrie ist das Potenzial der Kunststoffhersteller, zur Kreislaufschließung beizutragen, erheblich. Die Abhängigkeit von verfügbaren, qualitativ hochwertigen Rezyklaten aus mechanischen Prozessen ist allerdings heute ein erheblich hemmender Faktor. Es fehlen verlässliche und umfassende Qualitätsstandards und Normen für Rezyklate, z. B. auch Nachweisverfahren, aus welcher Quelle Rezyklate stammen. Da der Erfolg der Kunststoffe an der gegenseitigen Anpassung von Materialeigenschaften des jeweiligen Kunst-

stoffs und dem Design der Anwendung liegt (z. B. bei den OEMs im Auto), muss diese Schnittstelle als Treiber von Kunststoffinnovation für die Circular Economy aktiviert werden. Insofern ist der Informationsaustausch über Materialeigenschaften, Design, Anforderungen an Rezyklate und deren Merkmale zwischen Kunststoffherstellern, -verarbeitern und den OEM/Verwendern bezogen auf das Design for Circularity unbedingt zu verbessern.

Notwendig für eine funktionierende Kreislaufwirtschaft ist ein konsequent auf Kreislauffähigkeit ausgerichtetes Produktdesign, das beim Kunststoffhersteller beginnt, sowie umfassende Qualitätsstandards für die entstehenden Rezyklate, ohne die Kunststoffhersteller den Produkt- und Qualitätsanforderungen ihrer Kunden nicht gerecht werden können.

Produktsicherheitsrichtlinien und Zulassungen sind zu prüfen und so weiterzuentwickeln, dass die Kommerzialisierung neuer Materialien erleichtert wird (z. B. REACH-Verordnung).





Kunststoffherzeuger

Kreislaufschließung aus der Perspektive der Kunststoffherzeuger

Potenzial	Herausforderungen	Schlussfolgerungen
<ul style="list-style-type: none">■ Bereitstellen alternativer Kunststoffe, die recyclingfähig sind (z. B. Rezyklate oder Kunststoffe mit Rezyklatanteil, Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen)■ Sicherstellung der Qualität und Entwicklung der notwendigen Eigenschaftsprofile der alternativen Kunststoffe, durch optimierte Verfahrens- und Produktentwicklung	<ul style="list-style-type: none">■ Verfügbarkeit alternativer Kunststoffe, insbesondere Rezyklate■ Kosten der Rezyklate■ Mangelnde Qualitätskonstanz von Rezyklaten■ Massenbilanzierung: Rückverfolgbarkeit und Dokumentation der genutzten Rohstoffe■ Rezepturflexibilität■ Zulassung/Registrierung von Neuware aus alternativen Rohstoffen (REACH) Produkthanforderungen der OEM/Verwender	<ul style="list-style-type: none">■ Schlüsselposition: Ausgangs- und Endpunkt der Kreislaufschließung■ Schnittstelle zwischen Kunststoffherzeugern, -verarbeitern und den OEM/Verwendern als Treiber von Innovationen für die Circular Economy aktivieren■ Produktsicherheitsrichtlinien/ Zulassungsverfahren für neue Materialien sind zu prüfen und weiterzuentwickeln■ Notwendige Sicherstellung der Verfügbarkeit von Rezyklaten und der Qualitätskonstanz

Tabelle 2



Kunststoffverarbeiter

Potenzial zur Kreislaufschließung

Kunststoffverarbeiter – bei denen es sich häufig um kleine und mittelgroße Unternehmen (KMU) handelt – haben eine „Sandwich-Position“ zwischen den großen Kunststoffherzeugern und den Original Equipment Manufacturer (OEM). Sie bringen mit unterschiedlichen Verfahren (Spritzgießen, Extrudieren, Blasformen, Thermoformen usw.) Kunststoff-Granulate in Form und verarbeiten sie zu Komponenten und Verpackungen (z. B. zu Folien, Behältern), die sie an Systemlieferanten bzw. direkt zum OEM/Verwender liefern.



Kunststoffverarbeiter haben verschiedene Optionen, den Kunststoff im Kreislauf zu führen:

- 1) Der Verarbeiter setzt Neuware (basierend auf fossilen Rohstoffen) mit Rezyklatanteil ein, hierfür benötigt er eine Spezifikation bzw. ein Zertifikat des Lieferanten (Kunststoffherzeuger) und eventuell auch die Genehmigung des Kunden.
- 2) Der Verarbeiter setzt in Abstimmung mit dem Kunden ausschließlich Rezyklat ein, entweder
 - a. Rezyklat aus dem Markt (benötigt wird eine Spezifikation oder nach Neuwarestandard) oder
 - b. Rezyklat aus eigener Sammlung, Aufbereitung und Compounding.

Je nach Geschäftsmodell, Kundenanforderungen sowie der Verfügbarkeit von Rezyklaten, deren Qualität und Preis, kann der Kunststoffverarbeiter beide Optionen nutzen.

Der Einsatz von Rezyklaten in großem Maße (Option 2) würde wesentlich zur Kreislaufführung beitragen. Den kunststoffverarbeitenden Betrieben kommt hierbei eine wichtige Rolle zu, da sie die notwendigen Voraussetzungen für den Einsatz von Rezyklaten schaffen, indem sie die technische Eignung und Verarbeitbarkeit der Rezyklate sicherstellen sowie Produktanwendungen (unter Berücksichtigung der Qualitätsanforderungen) kundenorientiert

identifizieren. Kunststoffverarbeiter können zusammen mit ihren Kunden eine Nachfragestabilität für Erzeuger und Verwerter schaffen. Dabei sollte nicht vergessen werden, dass neben dem flächendeckenden Einsatz von Rezyklaten auch Einsparung und Vermeidung von Kunststoffen wichtige Hebel sind. Das bedeutet, dass sich das Gesamtkunststoffaufkommen im Rahmen einer Circular Economy reduzieren muss.

Kunststoffverarbeiter befinden sich in einer Sandwich-Position.

Herausforderungen der Kreislaufschließung

Kunststoffverarbeiter befinden sich aufgrund ihrer Sandwich-Position ganz besonders im Spannungsfeld zwischen Qualität, Verfügbarkeit und Kosten sowie regulatorischen Bedingungen und Normen. Kunststoffverarbeiter müssen Produkte liefern, die den Qualitätsanforderungen der Abnehmer (OEM und Verwender) gerecht werden. Diese haben in der Regel eine geringe Kompromissbereitschaft, wenn es um die Produktqualität geht; es wird eine mindestens gleichbleibende Qualität gefordert (vs. den Produkten aus fossilen Rohstoffen). Verarbeiter stehen also vor der Herausforderung, mit einem anderen Materialinput (Rezyklat) ein unverändertes Produkt zu schaffen. Das bedeutet unter Umständen einen erhöhten Aufwand in den Verarbeitungsprozessen (z. B. Zusatz von Additiven) und tendenziell verringerte Prozesseffizienz. Hinzu kommen erhöhte Einkaufspreise für das Rezyklat. Höhere Kosten werden von Abnehmern jedoch nicht übernommen (ein Preisaufschlag wird selten akzeptiert), es sei denn die gesetzlichen Anforderungen schreiben dies verpflichtend für alle Marktteilnehmer vor (z. B. PET, Einwegplastik-Richtlinie der EU).

Die Aufgabe des Design for Circularity setzt sich beim Verarbeiter fort, der das Design der Komponenten/Module mitkonzipiert und umsetzt. Auch hier stehen häufig Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften als wesentliche Treiber der Produktperformance im Vordergrund und weniger das kreislaufgerechte Design. Der Anteil an Materialverbänden ist weiterhin sehr hoch und müsste deutlich reduziert werden. Eine weitere Herausforderung liegt

für den Verarbeiter darin, dass er lernen muss mit Rezyklaten prozesssicher zu arbeiten. Eine 1:1-Substitution von Neuware ist zurzeit in den meisten Fällen nicht möglich, da Rezyklate in ihren Materialeigenschaften nicht nur technisch anders, sondern auch nicht immer gleich, das heißt schwankend hinsichtlich der Materialien, sind.



Mit Blick auf die Rollen der Akteure im Kreislauf muss der Kunststoffverarbeiter seiner Position zwischen Verwerter/Rohstoffhersteller und Kunden (OEM/Verwender) gerecht werden können: Er muss den Qualitätsanforderungen seiner Kunden gerecht werden und diese übersetzen bzw. zusammen mit den Verwertern nachhaltige (innovative) Lösungsoptionen identifizieren. Dies erfordert den Aufbau von Rezyklat-Know-how seitens des Verarbeiters sowie ein Verständnis über die Arbeitsprozesse und -anforderungen der Verwerter. Die Ungewissheit über die Verfügbarkeit von Rezyklaten erschwert dabei die Planungssicherheit der Verarbeiter.

Schlussfolgerungen: Möglichkeiten und Grenzen

Der Kunststoffverarbeiter spielt an der Schnittstelle zwischen Verwerter und Kunststoff-erzeuger und Produktentwicklung beim OEM und Verwender eine entscheidende Rolle. Er kann auf das Produktdesign einwirken sowie auf den Rezyklateinsatz. Dabei ist er jedoch in seinem Handlungsspielraum durch mangelnde

Verfügbarkeit von Rezyklaten (und schlechter Planbarkeit) sowie Kosten- und Qualitätsprobleme limitiert. Eine Option liegt darin, Nischenmärkte mit geringeren Qualitätsanforderungen zu identifizieren. Für eine Transformation des Gesamtsystems reicht dies aber nicht aus.



Kunststoffverarbeiter

Kreislaufschließung aus der Perspektive der Kunststoffverarbeiter

Potenzial	Herausforderungen	Schlussfolgerungen
<ul style="list-style-type: none"> ■ Design for Circularity (auf Komponenten-/Modulebene) ■ Sicherstellung der technischen Eignung und Verarbeitbarkeit von alternativen Kunststoffen ■ Produktanwendungen identifizieren, in denen Rezyklateinsatz möglich ist ■ Qualitätsanforderungen an Rezyklate formulieren ■ Nachfragestabilität für Erzeuger und Verwerter 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Qualitätsanforderungen der OEM und Verwender bei geringer Kompromissbereitschaft ■ Regulierung und Normen (u. a. EFSA) ■ Kosten für Rezyklat und Prozessanpassungen ■ Design for Circularity (Komponenten-/Modulebene) ■ Sandwich-Position zwischen Verwerter und Kunde: Umgang mit der Ungewissheit über die Verfügbarkeit von Rezyklaten ■ Recycling-Know-how: insbesondere an der Schnittstelle zum Verwerter 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Restriktionen des VerwerTERS bzgl. Verfügbarkeit, Qualität, Kosten ■ Regulierungen und Normen sind zu prüfen/weiterzuentwickeln ■ Es müssen Chancen im Markt identifiziert werden (häufig Nischen)

Tabelle 3



OEM/Verwender

Potenzial zur Kreislaufschließung

In der Rolle, Produkte für spezifische Endverbrauchermarkte zu konzipieren und anzubieten, haben OEM bzw. Verwender eine Schlüsselposition in der Kreislaufwirtschaft. Es obliegt ihnen, Nachfrage aus dem Markt aufzunehmen und auch zu gestalten (oder sogar zu generieren). Die Entscheidung über den Einsatz bestimmter Materialien trifft der OEM/Verwender in der Produktentwicklung.

Mit einem kreislaufgerechten Produktdesign kann der OEM/Verwender langfristig betrachtet nicht nur die Nachfrage nach Rezyklaten erhöhen, sondern auch die Menge an rezyklierfähigen Produktabfällen. Nachhaltigkeit entwickelt sich für OEM/Verwender immer mehr zu einem Wettbewerbsfaktor. Vor diesem Hintergrund entstehen neue Geschäftsmodelle, z. B. Subskriptions- oder Sharing-Modelle, die auch bei Verbraucherinnen und Verbrauchern zum Umdenken führen.

Auch hinsichtlich der Daten und Informationen nehmen OEM/Verwender im Kunststoffkreislauf eine wichtige Rolle ein: Mit der Verantwortung für Produktentwicklung und -konzeption verfügen OEM/Verwender über das Wissen, welche Eigenschaften und Qualität die eingesetzten Materialien benötigen. Für einige Produkte werden dabei zum Teil hunderte Kunststoffteile aus unterschiedlichen, zumeist thermoplastischen Kunststoffen eingesetzt.

Herausforderungen der Kreislaufschließung

Mit der Produktverantwortung einher geht die Verantwortung für die Produktqualität und -sicherheit sowie die Pflicht zur Reduktion von Abfällen und einer umweltgerechten Entsorgung. Für OEM/Verwender ist deshalb die konstante Verfügbarkeit von Rezyklaten in hoher Qualität von großer Wichtigkeit. Aktuell kann der Markt für Rezyklate diese Anforderungen nicht immer erfüllen, die Bereitschaft Qualitätsabstriche in Kauf zu nehmen ist eher gering. In vielen Branchen liegen zudem Normen bzw. gesetzliche Regelungen zum Einsatz, der Verarbeitung und Qualität von Produkten vor, die sich auch innerhalb der EU unterscheiden können. Diese Vorgaben behindern zum Teil den Einsatz von Rezyklaten und müssten entspre-

Die Weitergabe dieser Informationen – im Sinne eines Product-Life-Cycle-Managements – ist sowohl für die vorgelagerten Stufen hinsichtlich der benötigten Rohstoffe für Neuentwicklungen wie auch für die nachgelagerte Entsorgung und Verwertung der Kunststoffabfälle von entscheidender Bedeutung. Gleichzeitig ist aber auch der Schutz von vertraulichen, nicht öffentlichen Informationen und Know-how wichtig.

chend überprüft und angepasst werden (z. B. für Lebensmittel- oder Kosmetikverpackungen). Der Kosten- und Wettbewerbsdruck ist eine zentrale Herausforderung für OEM/Verwender, die höhere Produktkosten vor den Verbrauchern rechtfertigen müssen. Das erfordert neue Pricing-Strategien und neue Geschäftsmodelle. Hinzu kommen beim Einsatz von Rezyklaten erhöhte Kosten für Freigabeprozesse und Tests für Werkstoffe. Das wiederum hat Einfluss auf das Produktdesign: Solange die Unsicherheiten bezüglich des Preises und der Verfügbarkeit der Rezyklate nicht beseitigt sind, sind OEM/Verwender auch zögerlich in der Entwicklung neuer, nachhaltigerer Produktdesigns.

Schlussfolgerungen: Möglichkeiten und Grenzen

In einer Kreislaufwirtschaft muss das Produkt aus dem Blickwinkel der zirkulären Wertschöpfung konzipiert werden. Bereits hier werden die Weichen für die Kreislaufführung gestellt. Das erfordert ein Umdenken bei den OEM/Verwendern im Hinblick auf das Produktdesign (vgl. auch Handlungsfeld 4) sowie eine Bewertung von Optionen entlang des gesamten Produktlebenszyklus (z. B. in Form von Life Cycle Assessment (LCA) und Life Cycle Costing (LCC)). Gleichzeitig muss über alle Wertschöpfungsstufen hinweg sichergestellt werden, dass Qualitäts- und Sicherheitsanforderungen durch den Einsatz qualitativ hochwertiger Rezyklate weiterhin erfüllt werden können. Bezogen auf die Qualität sind aus Sicht der OEM/Verwender keine Abstriche möglich. Eine konstante Verfügbarkeit qualitativ hochwertiger Rezyklate ist eine Voraussetzung für eine langfristige Produktplanung (Mengenplanung), die den Verwertern und Erzeugern die notwendige Sicherheit in der Abnahme bringt.

Bezogen auf die Rückverfolgbarkeit von Produktdaten, den Rezyklat-Anteil und dessen Herkunft, ist eine digitale Lösung für zertifizierte Werkstoffinformationen notwendig, in der alle relevanten Daten aus Produktdatenblättern, Zertifikaten etc. gespeichert werden und ein zentraler Zugriff für die Kreislaufbeteiligten ermöglicht wird. Voraussetzung dafür ist nicht nur die Überprüfung technischer und rechtlicher Fragen, sondern auch der Wille der Unternehmen, die Daten zu teilen.

Wird die zirkuläre Wertschöpfung schon bei der Produktkonzeption konsequent mitgedacht, sichert das nicht nur die Nachfrage nach Rezyklaten, sondern eröffnet den deutschen Unternehmen auch die Möglichkeit, eine Pionierstellung im internationalen Wettbewerb einzunehmen.



OEM/Verwender

Kreislaufschließung aus der Perspektive der OEM/Verwender

Potenzial	Herausforderungen	Schlussfolgerungen
<ul style="list-style-type: none"> ■ Kreislaufgerechte Produkte konzipieren (Design for Circularity), entwickeln und im Markt etablieren ■ Qualitätsanforderungen formulieren ■ Transparenz der Lieferkette einfordern ■ Neue Geschäftsmodelle für die Kreislaufwirtschaft (z. B. Sharing Economy) ■ Akzeptanz bei Kundinnen und Kunden schaffen durch transparente Kommunikation 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Kosten- und Wettbewerbsdruck, Rezyklate im Vergleich zu ölbasierter Kunststoffneue-ware zu verwenden ■ Produktverantwortung führt zu hohen Qualitätsanforderungen ■ Konstante Verfügbarkeit (Lieferfähigkeit) nicht immer sichergestellt ■ Zugang zu Materialinformationen über den Rezyklat-Anteil ■ Gesetze und Normen erschweren Rezyklat-Einsatz 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Schlüsselfunktion durch Produktentwicklung und Nachfragemacht ■ Langfristige Produktplanung (Mengenplanung) ■ Abstriche bei der Qualität von Produkten nicht möglich ■ Digitale Lösung zur Zulassung von Werkstoffen notwendig (z. B. IMDS International Material Data System) ■ Positionierung deutscher Unternehmen im globalen Wettbewerb; Chance der Pionier-Stellung

Tabelle 4



Handel

Potenzial zur Kreislaufschließung

Als direkte Schnittstelle zum Endverbraucher (B2C) hat der Handel eine große Nachfragemacht gegenüber den Produktherstellern, insbesondere wenn das Produkt vom Hersteller ausschließlich über indirekte Kanäle (B2B) vertrieben wird. Auch Verbraucherinnen und Verbraucher werden in ihrer Kaufentscheidung maßgeblich durch den Handel beeinflusst, sei es durch die Angebots- und Sortimentsgestaltung, die Vermarktung oder die zur Verfügung stehenden Informationen zum Produkt. Besonders großen Stellenwert nimmt hier der Einsatz von Kunststoffverpackungen im Einzelhandel ein, den das Verpackungsgesetz (VerpackG) adressiert.

Mit rund 3,2 Mio. t (davon ca. zwei Drittel für den Einzelhandel und ca. ein Drittel für Industrie und Gewerbe) nehmen Verpackungen bezogen auf den Kunststoffverbrauch in Deutschland den zweiten Platz hinter dem Baubereich (3,4 Mio. t) ein. Aufgrund der Kurzlebigkeit der Verpackungen gehen aus diesem Bereich mit 59 % die höchsten Abfallmengen am Gesamtkunststoffabfallaufkommen pro Jahr hervor (vgl. Conversio 2022, S.17 f.).

Mit Blick auf die Kreislaufschließung kann der Handel als eine Art „Gatekeeper“ in Sachen kreislaufgerechter Produkt- und Verpackungsgestaltung Druck auf die Hersteller ausüben. Zudem haben Händler im Bereich der Handelsmarken direkten Einfluss auf die Herstellung und somit auch auf das Produktdesign. Auch im Hinblick auf die Distribution und Redistribution von Kunststoffprodukten kann der Handel weiteres Potenzial entfalten, in dem er z. B. weitere Rücknahme- und Pfandsysteme, Nachfüllstationen oder Lösungen für Tracing und Rückführung von Kunststoffbauteilen etabliert.

Dass Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft nicht nur für das Unternehmensimage wichtig sind, sondern auch neue Geschäftsmodelle ermöglichen, hat vor allem der Einzelhandel bereits erkannt. So investieren einige große Einzelhandelsketten in eigene Entsorgungs- und Recyclingstrukturen, um für die Eigenmarken alle Stufen des Kreislaufs selbst abzudecken.

Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft ermöglichen neue Geschäftsmodelle.

Herausforderungen der Kreislaufschißung

Mit der Entwicklung eigener Lösungen leistet der Handel wichtige Pionierarbeit. Um das Gesamtsystem in Richtung Kreislaufwirtschaft voranzutreiben, bedarf es jedoch umfassenderer Lösungen.

Aus Sicht des Käufers bzw. der Käuferin entscheidend am Ende häufig das Preis-Leistungs-Verhältnis über den Kauf. Bezogen auf die Leistung werden für Kunden ökologische Aspekte immer wichtiger. In der Folge werden zum Teil Produkte als kreislauffähig und nachhaltig deklariert, die es gar nicht sind.

Ein solches auch als „Greenwashing“ bezeichnetes Agieren erschwert den Wandel hin zur zirkulären Wertschöpfung und sollte deshalb kontrolliert und verboten werden. Der Handel muss in der Lage sein, belastbare Produktinformationen transparent zu kommunizieren. Werbung und kompetente Verbraucherberatung spielen hier eine große Rolle. Auch mit Labeln und Siegeln versuchen Handel und Produkthersteller über das Produkt selbst, aber auch über Entsorgung aufzuklären. Oft fehlt es im „Label-Dschungel“ aber an vergleichbaren Kriterien.

Schlussfolgerungen: Möglichkeiten und Grenzen

Als Schnittstelle zwischen Verbraucherinnen, Verbrauchern und Produktherstellern nimmt der Handel in Bezug auf die Produktnachfrage und das Setzen neuer Standards eine wichtige Position ein. Entwicklungen im Bereich der Akquisition und Beteiligung (Integration der Wertschöpfungsstufe der Entsorgung und Wiederaufbereitung) verdeutlichen nicht nur die finanzielle Stärke des Handels, sondern auch erste Ansätze zur Neuausrichtung von

Geschäftsmodellen. Der Handel insgesamt muss sich seiner bedeutenden Rolle im Kreislauf nicht nur bewusst werden, sondern dieser Verantwortung auch nachkommen. Was es braucht, ist eine transparente, verständliche Kommunikation zu den Verbraucherinnen und Verbrauchern und eine deutliche Positionierung des Handels (Vorbildfunktion) zur Kreislaufwirtschaft, auch im Hinblick auf andere Akteure entlang der Lieferkette.





Handel

Kreislaufschließung aus der Perspektive des Handels

Potenzial	Herausforderungen	Schlussfolgerungen
<ul style="list-style-type: none"> ■ Recyclingfähigkeit und Rezyklateinsatz in Eigenmarken fördern ■ Kreislaufgerechte Produkte im Sortiment aufnehmen, Vermarktung am Point-of-Sale ■ Infrastruktur bereitstellen, wenn sinnvoll (z. B. Sortier- und Sammelstellen), Platz für Re-Use Modelle (z. B. Wiederbefüllstationen), Tracing-Lösungen ■ Transparente Kommunikation zu den Verbraucherinnen und Verbrauchern 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Anpassung von Beschaffungsprozessen und der Bedingungen am Point-of-Sale (z. B. Lagerhaltung, alternative Verpackungskonzepte) ■ Von Insellösungen und Nischenprodukten zu umfassenden Lösungen in Bezug auf das Gesamtsystem ■ Qualitätsanforderungen bzgl. Transport, Lagerung, Haltbarkeit von Produkten ■ Transparente, ehrliche Kommunikation vs. Greenwashing ■ Verbraucherberatung (qualifiziertes Personal, Kommunikation im Web etc.) ■ Transparente Preispolitik; ggf. Mehrkosten bei Lieferanten nachhaltigerer Produkte 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Schlüsselfunktion an der Schnittstelle zu Konsumenten, zum Markt sowie zur Logistik und Entsorgung; Nachfrage- und Verteilungsmacht ■ Setzen neuer Standards möglich, z. B. Prägung von Konsummustern/Einkaufsverhalten ■ Deutlichere Positionierung des Handels zum Thema Verbraucherberatung (Mitarbeitende, Marketing)

Tabelle 5



Verbraucher*innen

Potenzial zur Kreislaufschließung

Das Verhalten von Millionen von Verbraucherinnen und Verbrauchern kann die Kreislaufwirtschaft in erheblichem Maße befördern oder behindern. Das betrifft einerseits Produktherstellung und -design, auf die Verbraucherinnen und Verbraucher durch ihre Kauf- und Konsumentscheidung einwirken können. Andererseits geht es aber auch um die Verwertung von Produkten in deren Nachgebrauchsphase, deren Qualität auch von der Abfallreduktion, -trennung und -bereitstellung der Verbraucherinnen und Verbraucher beeinflusst wird.

Nachhaltigkeitsaspekte werden für Verbraucherinnen und Verbraucher immer wichtiger. Diese Entwicklung gilt es zu nutzen, um Verbraucherinnen und Verbraucher für die täglichen Konsummuster und Kaufentscheidungen zu sensibilisieren und für die Kreislaufwirtschaft zu mobilisieren. Wenn Verbraucherinnen und Verbraucher sich ihrer Rolle im Kreislauf bewusst sind und entsprechend zu handeln wissen, dann können sie einen aktiven Beitrag zur Kreislaufschließung leisten.

Herausforderungen der Kreislaufschließung

Tatsächlich stimmen Selbstbild und Verbraucherrealität aber oft nicht überein: Nach eigenen Bekundungen sind Verbraucherinnen und Verbraucher zwar für Umwelt- und Nachhaltigkeitsthemen sensibilisiert (vgl. Bovensiepen et al.

2018, S. 21ff.), ihre Kaufentscheidungen werden aber weiterhin vor allem durch den Preisfaktor bestimmt. Solange Produkte aus Rezyklat teurer sind als Produkte aus Neuware, kann das ein Hemmnis bei der Kaufentscheidung darstellen.

Darüber hinaus verhindern auch Informationsdefizite, dass sich Verbraucherinnen und Verbraucher vermehrt für kreislauffähige Produkte entscheiden können. Selbst wenn Verbraucherinnen und Verbraucher ein hohes Problembewusstsein entwickelt haben, fehlt es ihnen an verständlichen, vergleichbaren, leicht zugänglichen und auch glaubwürdigen Informationen. Hier sind Handel und Produkthersteller gefragt,

den Verbraucherinnen und Verbrauchern mit geeigneter Werbung und verlässlicher Information aufzuklären. Abhilfe könnte auch die Einführung des digitalen Produktpasses schaffen. Dieser soll Informationen enthalten, wie hoch der Anteil an Recyclingmaterial am Gesamtmaterialeinsatz ist, wie es um die Recyclingfähigkeit des Produkts steht und wie der richtige Verwertungsweg aussieht.

Solange Produkte aus Rezyklat teurer sind als Produkte aus Neuware, kann das ein Hemmnis bei der Kaufentscheidung darstellen.

Auch der Umgang mit Kunststoffabfällen ist für die Verbraucherinnen und Verbraucher eine Herausforderung. Sei es aufgrund mangelnder Bereitschaft, Unwissen oder schwer trennbaren Materialien der Produktabfälle, bei der Trennung und Entsorgung passieren häufig Fehler, die die anschließende Sortierung, Aufbereitung und das Recycling beeinträchtigen.

Damit Verbraucherinnen und Verbraucher den Wert der eingesetzten Materialien auch in der Nachgebrauchsphase erkennen, sind auch hier die kontinuierliche Bereitstellung von Information und Aufklärung notwendig. Dabei gilt es das Gleichgewicht zwischen notwendigem Detailwissen und Überforderung der Verbraucherinnen und Verbraucher zu wahren.

Schlussfolgerungen: Möglichkeiten und Grenzen

Ohne die Verbraucherinnen und Verbraucher wird die Transformation der Kunststoffwirtschaft hin zur zirkulären Wertschöpfung nicht gelingen, insbesondere im Hinblick auf den damit einhergehenden gesellschaftlichen Wandel. Daher muss es Ziel sein, das öffentliche Bewusstsein dafür zu stärken, dass Abfälle einen wertvollen Rohstoff im neuen System darstellen. Verbraucherinnen und Verbraucher sind als relevante Akteure innerhalb der Wertschöpfungskette zu betrachten, die Informatio-

nen von der Vorproduktion bis hin zum Konsum und zur Entsorgung des Produkts benötigen, um die Konsequenzen ihrer Kaufentscheidungen bewerten und berücksichtigen zu können. Der Zugang zu diesen verlässlichen und leicht verständlichen Informationen muss verbindlich vorgeschrieben und kontrolliert werden, denn nur durch eine zielgruppengerechte Aufklärung können Verbraucherinnen und Verbraucher zur Kreislaufwirtschaft befähigt werden.





Verbraucher*innen

Kreislaufschließung aus der Perspektive der Verbraucher*innen

Potenzial	Herausforderungen	Schlussfolgerungen
<ul style="list-style-type: none"> ■ Kaufentscheidung: Produkte aus Rezyklat bevorzugen; Verpackungen vermeiden, die nicht unbedingt benötigt werden; Bereitschaft neue Reuse-Modelle auszuprobieren ■ Entsorgungsentscheidung: <ul style="list-style-type: none"> - Abfallreduktion - Abfalltrennung - Abfallbereitstellung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Informationsbeschaffung ■ Verantwortungsbewusstsein ■ Einkaufsentscheidungen ■ Kostenbewusstsein ■ Überforderung bei Bewertung (Kennzeichnung, Zertifikat etc.) ■ Meinungsbildung durch den öffentlichen Diskurs 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Abfall als Rohstoff braucht neues Bewusstsein ■ Bewusstsein für einen verantwortungsvollen Umgang mit Produkten (Reparierfähigkeit, Upgrading etc.) weiter schärfen ■ Befähigung des Verbrauchers nachhaltige Produktentscheidungen richtig zu treffen

Table 6



Logistik/Entsorgung

Potenzial zur Kreislaufschließung

Ohne Logistik und Entsorgung kann der Kunststoffkreislauf nicht realisiert werden, denn diese Branche sammelt, transportiert und sortiert die Kunststoffabfälle, die nach der Verwertung und Aufbereitung wieder als Rezyklate im Kreislauf geführt werden sollen. In Deutschland gibt es eine gut organisierte Abfallwirtschaft mit einer differenzierten Sammelstruktur, die international in vielen Bereichen als Vorbild gilt. Charakterisierend für die deutsche Abfallwirtschaft sind zwei konkurrierende Säulen – die kommunalen Eigenbetriebe bzw. rechtlich

selbstständigen Gesellschaften der Städte und Landkreise sowie die privaten Entsorger. Eine Besonderheit in Deutschland sind die dualen Systeme, die bundesweit die Sammlung, Sortierung und Verwertung gebrauchter Verkaufsverpackungen organisieren und verantwortlich dafür sind, dass die vom Gesetzgeber nach Verpackungsgesetz vorgeschriebenen Recyclingquoten erreicht werden. Finanziert werden die dualen Systeme durch Lizenzentgelt, die Hersteller und Handel nach dem Verursacherprinzip auf Verkaufsverpackungen bezahlen.

Wenngleich das deutsche Abfallsystem in vielen Bereichen als internationales Vorbild gilt, ist das System vor allem auf die Entsorgungssicherheit und nicht auf die zirkuläre Wertschöpfung ausgelegt.

Im Bereich der Entsorgung liegt das größte Potenzial in der Optimierung der Sammel- und Sortiersysteme, z. B. indem technische Innovationen größere Volumina, geringere Verschmutzungsgrade und Sortenreinheit der Kunststoffabfälle ermöglichen. So kann durch

den Einsatz von künstlicher Intelligenz oder Machine Learning die Sortierung der Abfallströme verbessert werden. Einen weiteren Beitrag kann die Entsorgung mit der Aufklärung der Verbraucher leisten, um diese zur korrekten Abfalltrennung zu befähigen.

Herausforderungen der Kreislaufschließung

Wenngleich das deutsche Abfallsystem in vielen Bereichen als internationales Vorbild gilt, ist das System vor allem auf die Entsorgungssicherheit und nicht auf die zirkuläre Wertschöpfung ausgelegt. Zwar sind die Verwertungsquoten in Deutschland vergleichsweise hoch, aber nur ein geringer Teil wird für die Herstellung neuer Produkte verwendet. Das Potenzial ist deutlich größer, aber der Wettbewerb der dualen Systeme wird vor allem durch den Preis bestimmt und nicht über die ökologisch sinnvollste Lösung. Produkthersteller und Handel sind nach der Novelle des Verpackungsgesetzes verpflichtet, sich mit ihren Verpackungsmengen an einem dualen System zu beteiligen und ihre Daten sowohl an das gewählte duale System wie an die neu geschaffene Zentrale Stelle Verpackungsregister zu melden. Hierdurch sollen ein elektronischer

Datenabgleich und damit eine Kontrolle möglich sein. In einigen Bereichen haben sich aus Eigeninitiative oder aufgrund von Gesetzespflichten Branchenlösungen etabliert, z. B. in der Elektroindustrie infolge des Elektro- und Elektronikgerätegesetzes (ElektroG). Auch hier sind die Kosten der entscheidende Faktor. Unternehmen suchen in der Regel nach dem kostengünstigsten Weg, um den Abfall zu entsorgen. Es fehlt an Anreizen, mehr als die vorgegebene Quote zu erfüllen.

Sowohl Logistik als auch Entsorgung sind für die Kreislaufführung von Kunststoffen unabdingbar.



Schlussfolgerungen: Möglichkeiten und Grenzen

Sowohl Logistik als auch Entsorgung sind für die Kreislaufführung von Kunststoffen unabdingbar. Für beide Bereiche gibt es großes Potenzial, insbesondere im Hinblick auf technische Innovationen (Sortieranlagen, Sammelsysteme, Informationsweitergabe). Gleichzeitig fehlt es aber auch an Anreizen, zirkuläre Wertschöpfung zur Priorität zu machen. Die zahlreichen Regulierungen, wie das Verpackungsgesetz (VerpackG) oder das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) setzen bei den Abfallströmen an, nicht bei der zirkulären Wertschöpfung.

Für einen funktionierenden Kunststoffkreislauf ist eine engere Rückkopplung von Logistik, Entsorgung und Verwertern mit der produzierenden Industrie notwendig. Dazu muss das Abfall- und Entsorgungssystem mitsamt Logistik stärker auf die Kreislaufführung ausgerichtet werden und sich auch im Wettbewerb mit neuen Marktteilnehmern behaupten (siehe Handel).



Logistik/Entsorgung

Kreislaufschließung aus der Perspektive der Logistik und Entsorgung

Potenzial	Herausforderungen	Schlussfolgerungen
<ul style="list-style-type: none"> ■ Optimierung der Sammel- und Sortiersysteme: große Volumina ermöglichen, geringen Verschmutzungsgrad, höhere Sortenreinheit ■ Sicherstellung der Informationsflüsse im Kreislauf (Logistik als Kontaktpunkt über den gesamten Kreislauf) ■ Neue Geschäftsmöglichkeiten und -modelle für Logistiker (z. B. individuelle Lösungen in der Kleinmengenlogistik wie Altprodukte und Ersatzteilversorgung) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Gebühren-/Kostenstrukturen ■ Abfallwirtschaft – privat/öffentlich ■ Preis- und Qualitätswettbewerb ■ Zielkonflikte öffentlicher Entsorger bei der Verwertung ■ Duale Systeme Unübersichtlichkeit und Komplexität erschwert Kontrolle 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Wichtige Position als Schnittstelle im gesamten Kreislauf ■ Mehr Möglichkeiten als zurzeit wahrgenommen werden ■ Anreize schaffen, um Zirkularität zur Priorität zu machen ■ Stärkere Rückkopplung von Logistik, Entsorgung und Verwertern mit der produzierenden Industrie notwendig

Tabelle 7



Verwerter/Recycler

Potenzial zur Kreislaufschließung

Für die zirkuläre Wertschöpfung sind die Kunststoffrecycler von großer Bedeutung, denn sie verwerten und bereiten die Kunststoffabfälle auf und sind damit für das aktuelle Angebot an Rezyklaten in der benötigten Qualität und Menge zuständig.

Im Kreislauf werden Kunststoffrecycler selbst zum Rohstofflieferanten, der den Kunststoffverarbeiter im Normalfall direkt mit Rezyklaten beliefert. Zirkuläre Wertschöpfung bedeutet unter anderem, dass in der gesamten Kunststoffwirtschaft mehr Rezyklate eingesetzt werden müssen. Das eröffnet den Verwertern die Chance, deutlich mehr Rezyklate herzustellen und ihren Absatz zu steigern. Werden die entsprechenden Anreize gesetzt, hat das Geschäft mit Rezyklaten demzufolge großes ökologisches, aber auch ökonomisches Potenzial.

Um Kunststoffneuware substituieren zu können, braucht es qualitativ gleichwertige Rezyklate. Investitionen in die Weiterentwicklung von Sortieranlagen, mechanische Recyclingverfahren und -technologien können zur Verbesserung der Rezyklatqualität und -konstanz beitragen. Darüber hinaus bietet die Neu- und Weiterentwicklung von Technologien im Bereich des

mechanischen und chemischen Recyclings Innovationspotenzial. Bislang war die chemische Industrie und Kunststoffherzeugung kaum in das Geschäft mit Rezyklaten eingebunden, da die Verwerter in der Regel direkt an die Verarbeiter liefern. Viele Kunststoffherzeuger haben heute jedoch entsprechende Tochtergesellschaften, die Recycling betreiben. Wertstiftend werden zunehmend Kooperationen sein, wenn Recycler und Unternehmen der chemischen Industrie gemeinsam Recyclingware zu neuen Rohstoffen für hochwertige Anwendungen verarbeiten.



Im Kreislauf werden Kunststoffrecycler selbst zum Rohstofflieferanten, der den Kunststoffverarbeiter im Normalfall direkt mit Rezyklaten beliefert.

Herausforderungen der Kreislaufschließung

Die Volatilität der Ölpreise zeigt die Grenzen eines Geschäftsmodells mit Rezyklaten, das in direkter Konkurrenz zur Neuware steht. Aufgrund der volatilen Preise für Neuware kann zumindest in einigen Bereichen ein stabiler Absatzmarkt für Rezyklate nur schwer entstehen. Dort fehlt es an Investitionssicherheit, um die Produktion auszuweiten und den Rezyklatenpreis, z. B. durch Skaleneffekte, zu verringern. In anderen Bereichen (z. B. PET und PP) haben sich die Rezyklatenpreise aufgrund der hohen Nachfrage – bspw. durch gesetzliche Vorgaben – bereits von den Preisen der Neuware entkoppelt und es existiert ein relativ stabiler Markt.

Darüber hinaus gibt es noch eine Reihe an Herausforderungen, die die Verwertung an sich betreffen und großen Einfluss auf die Qualität der Rezyklate haben: Die mangelnde Kreislaufeignung vieler Produkte aus Kunststoffen (oft im Materialmix mit anderen Materialien), eine unzureichende Datenlage über die Zusammensetzung des Materials und hohe Beschaffungs-

preise erschweren die Verwertung. Auch die Eingangsmengen, der Verschmutzungsgrad und die Sortenreinheit sind von den Betreibern der Recyclinganlagen nicht beeinflussbar (Schnittstelle Verbraucher und Industrieanwender). Die geringe Kapitalausstattung vieler dieser oft mittelständischen Unternehmen hemmt zudem Technologieentwicklung und Investitionen, obwohl diese zur Steigerung der Rezyklatenqualität zwingend notwendig sind.

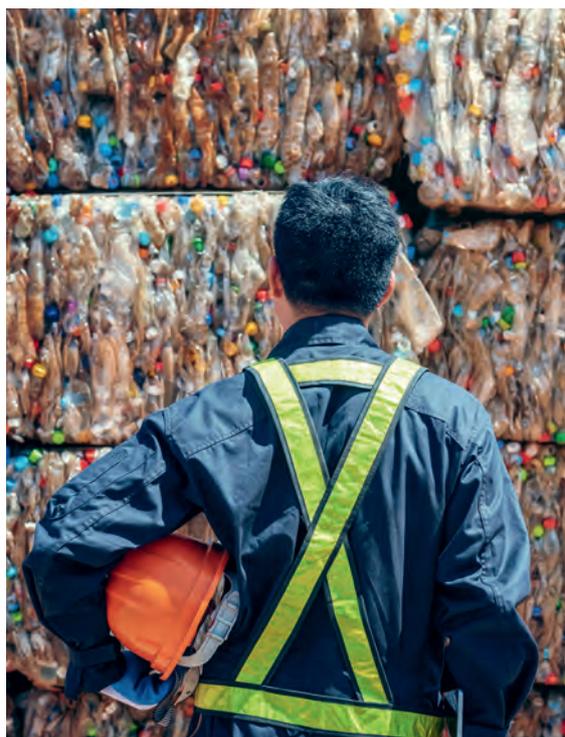
Es ist deshalb fraglich, ob die Recycler ohne Kooperation mit Chemie und Kunststoffherstellern überhaupt in der Lage wären, den Markt für hochwertige Rezyklatenwendungen in wachsendem Maße zu bedienen. Daher ist der Lückenschluss zwischen Entsorgern, Aufbereitern und Verwertern als Lieferanten für Rezyklate auf der einen Seite und den Kunststoffherstellern auf der anderen Seite eine der größten Herausforderungen, aber gleichzeitig auch eine Chance, wenn es um die Transformation hin zu einer Circular Economy geht.

Schlussfolgerungen: Möglichkeiten und Grenzen

Das Verhältnis, die Rollenaufteilung und Aufgabenverteilung zwischen Entsorgern und Verwertern auf der einen Seite und der chemischen Industrie und den Kunststoffherstellern auf der anderen Seite ist im Hinblick auf den Einsatz von rezyklierten Rohstoffen eine der Schlüsselfragen für die zirkuläre Wertschöpfung der Kunststoffwirtschaft.

Solange die Preise für Kunststoffneuware und Rezyklate derart volatil sind, wird sich die Nachfrage nach Rezyklaten aus wirtschaftlichen Gründen nicht im entscheidenden und erforderlichen Umfang erhöhen.

Um fossile Rohstoffe zunehmend substituieren zu können, muss die Qualität und Quantität der derzeit gewonnenen und eingesetzten Rezyklate gesteigert werden. Für die Verwertung selbst gilt es deshalb, mit einer Qualitätsoffensive Rezyklate attraktiver zu machen und damit den Wert des Kunststoffabfalls zu erhöhen.





Verwerter/Recycler

Kreislaufschließung aus der Perspektive der Verwertung/des Recyclings

Potenzial	Herausforderungen	Schlussfolgerungen
<ul style="list-style-type: none"> ■ Eingangsmengen und Sortenreinheit erhöhen ■ Erzeugung und Bereitstellung von Rezyklaten in steigenden Mengen und Qualitäten 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Volatilität der Ölpreise (Preise der Kunststoff-Neuware) ■ Mangelnde Rezyklierbarkeit vieler Kunststoffabfälle ■ Hohe Qualitätsanforderungen für Rezyklate derzeit schwer erfüllbar ■ Unzureichende Datenlage über Zusammensetzung des Materials ■ Zersplitterung der Branche häufig geringe Kapitalausstattung der Akteure 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Schlüsselrolle für die Kreislaufwirtschaft als neuer Rohstofflieferant ■ Akzeptanz der Verwerter als Kreislaufpartner durch die anderen Akteure im Kreislauf notwendig ■ Wert des Abfalls muss erhöht, Nachfrage gesichert werden ■ Akteursübergreifende Informationsstrukturen notwendig

Tabelle 8



Schlussfolgerungen

für den gesamten Kreislauf

Alle Akteure können und müssen ihren individuellen Beitrag leisten, um das Schließen von Kunststoffkreisläufen zu ermöglichen. Gleichzeitig müssen alle Beteiligten Herausforderungen überwinden. Einige Potenziale und Herausforderungen sind spezifisch für die jeweilige Kreislaufstufe, andere wiederum betreffen den gesamten Kreislauf:

Informations- und Datenfluss im Kreislauf:

So fehlen an vielen Stellen im Kreislauf notwendige Informationen, z. B. über Material-, Produkt- und vor allem Rezyklateigenschaften. Diese Informationen müssen allen Akteuren während der gesamten Wertschöpfung der Kunststoffe zugänglich gemacht werden (vgl. auch RESAG 2022). Dabei sind insbesondere die Rückverfolgbarkeit und Dokumentation der genutzten Rohstoffe sicherzustellen. Ähnlich wie für die Neuware sind (digitale) Datenblätter



notwendig, anhand derer die Qualität der Rezyklate beurteilt werden kann. Qualitätsstandards für Rezyklate könnten die Kundenakzeptanz fördern und dabei helfen, den Einsatz der Rezyklate zu erhöhen. Dafür braucht es technische Informationen und Qualitätsanforderungen, die Verarbeiter und Hersteller festlegen. Recycler und Kunststoffhersteller müssten dann wiederum den Qualitätsnachweis für die Rezyklate liefern.

Anpassung von technischen Regeln und Vorgaben:

Ein wichtiges Instrument zur Abstimmung der acht Kreislaufstufen ist die technische Gesetzgebung. Durch Normung und Standardsetzung kann der Informations- und Datenfluss optimal

den unterschiedlichen Anforderungen der Beteiligten und deren Schnittstellen angepasst werden. Aktuell wird in Deutschland die Normungsroadmap „Circular Economy“ gemeinsam

von DIN, DKE und VDI ausgearbeitet. „Kunststoffe“ und „Verpackungen“ sind dort neben anderen Hauptthemen bearbeitet worden und sollen im Januar 2023 in einem Abschlussbericht der Öffentlichkeit vorgestellt werden.

Eine wichtige nationale Richtlinie erarbeitet derzeit der VDI. Die VDI 4095 „Bewertung von Kunststoffen in der Kreislaufwirtschaft“ wird voraussichtlich im September 2023 veröffentlicht. Die Kreislaufführung von Kunststoffen wird zudem verstärkt auf europäischer als auch auf internationaler Ebene in der technischen Regelsetzung betrachtet. Auf CEN/CENELEC-Ebene arbeitet beispielsweise die Arbeitsgruppe 11 des technischen Komitees 249 „Plastics recycling“ unter anderem an der Charakterisierung von Abfallströmen und Rezyklaten. Neben der Arbeitsgruppe 11 sind weitere relevante Produktbereiche in einen umfassenden Normenauftrag der EU-Kommission involviert, welcher zum Ziel hat, über 100 europäische

Infrastruktur für Rücknahmesysteme aufbauen:

Eine effiziente Rücknahme muss entlang des gesamten Kunststoffkreislaufs organisiert und etabliert werden. Hierzu müssen neue Rücknahmesysteme aufgebaut und in den Prozes-

sen alle Kreislaufbeteiligten involviert werden. Dies ist ein Schlüssel zur Sicherstellung geeigneter Rezyklatqualitäten.

Normen bis Mitte 2025 zu erarbeiten oder zu aktualisieren.

Auf ISO-Ebene arbeitet das Sub Committee ISO/TC 61/SC 14 „Plastics – Environmental aspects“ an Normungsaktivitäten im Bereich Umwelt- und Nachhaltigkeitsaspekte von Kunststoffen, einschließlich Recycling. Übergreifend beschäftigt sich das ISO/TC 323 „Circular Economy“ mit der Standardisierung im Bereich der Implementierung der Circular Economy.

Darüber hinaus erschweren bestehende Vorgaben und Regelungen zur Produktsicherheit sowie Zulassungsverfahren für neue Materialien derzeit den Einsatz von recycelten Rohstoffen. So ist aktuell z. B. das Polyethylenterephthalat (PET) das einzige der europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) zugelassene Rezyklat für Lebensmittelverpackungen.

Verschiedene Recyclingverfahren sind nicht in Konkurrenz zueinander, sondern zielführend und gemeinsam zu betrachten.

Weiterentwicklung von Recyclingtechnologien:

Aus technologischer Sicht ist das Potenzial des mechanischen Recyclings noch nicht ausgeschöpft und daher in der Entwicklung weiter voranzutreiben. Grenzen sind dennoch, auch bei weitreichendem Design for Circularity (vgl. Handlungsfeld 4), erkennbar. Um den Anteil der im Kreislauf geführten Rezyklate erheblich zu erhöhen, ist das Potenzial des chemischen Recyclings zu erschließen.

Das chemische Recycling bietet die Chance, dort beizutragen, wo das mechanische Recycling an Grenzen stößt (z. B. komplexe Produktverbunde, verschmutzte, gemischte Abfälle, nicht schmelzbare Kunststoffe, Produktbereiche

mit hohen Qualitätsanforderungen aufgrund von Sicherheitsanforderungen). Auch die Kombination von mechanischem und chemischem Recycling kann in bestimmten Produktbereichen eine sinnvolle Lösung sein.

Daher sind die verschiedenen Recyclingverfahren nicht in Konkurrenz zueinander zu betrachten, sondern zielführend und gemeinsam, d.h. in Zusammenarbeit zwischen den Kreislaufbeteiligten zu erforschen und weiterzuentwickeln. Bei der Bewertung der Technologieoptionen sollte ein ganzheitlicher Blick auf ökologische, ökonomische und soziale Auswirkungen gerichtet werden (vgl. auch Fraunhofer CCPE 2021).

Weiterbildung und Qualifikation der Mitarbeitenden:

Mit der Etablierung einer Circular Economy verändern sich auch die Anforderungen und das benötigte Know-how der Mitarbeitenden. Weiterbildungs- und Qualifizierungsmaßnahmen werden über alle Stufen hinweg eine Rolle spielen.

Produktdesign:

Auch das Produktdesign, das zwar in erster Linie von den Herstellern konzipiert wird, nimmt für die Kreislaufschließung eine übergeordnete und bedeutsame Rolle ein (vgl. Handlungsfeld 4). Sein volles Potenzial kann es derzeit jedoch aufgrund fehlender Qualität, Verfügbarkeit von Recyclingrohstoffen und dem Preis der Rezyklate nicht entfalten.

Trotz zahlreicher Aktivitäten und Selbstverpflichtungen verschiedener Akteure in allen Stufen des Kreislaufs, die den Willen zur Veränderung in Richtung einer Kreislaufwirtschaft zeigen, gelingt es nach wie vor nicht, eine umfassende Kreislaufführung der Kunststoffe und ihrer Rohstoffe umzusetzen. Viele Einzelbeispiele zeigen zwar die grundsätzliche Möglichkeit, z. B. 100 % Rezyklate für Kunststoffverpackungen einzusetzen und diese auch wieder im Kreislauf zu führen, doch sind diese Beispiele nur möglich, weil für diese Verpackungen Rezyklate zur Verfügung stehen und zumindest anfangs sich gegebenenfalls ein höherer Preis der Produkte im Markt rechtfertigen lässt, wenn ein Alleinstellungsmerkmal gegeben ist.



Wenn ein erheblich größerer Anteil des Markts Rezyklate verwenden würde, wäre kein Alleinstellungsmerkmal zur Produktdifferenzierung mehr möglich und zum anderen wäre bei einem Nachfragesog ein ausreichendes Angebot an Rezyklaten sicherzustellen.

Die Grenzen des Geschäftsmodells der Herstellung von Rezyklaten in Konkurrenz zur Neuware stellt sich dabei als einer der wesentlichen Hemmnisfaktoren für alle Akteure dar. Dieser im Dialogprozess des VDI bestätigte Befund führt zur Diskussion und Bewertung von Lenkungsinstrumenten für den Gesamtmarkt, die diese Defizite ausgleichen sollen (vgl. Handlungsfeld 3).



Handlungsfeld 3

Regulatorische Anreize für eine zirkuläre Kunststoffwirtschaft schaffen

Das Ziel einer vollständigen Unabhängigkeit vom Rohöl bei der Kunststoffproduktion bis 2050 macht eine gewaltige Transformation einer ganzen Branche und zugleich der Nutzung und Entsorgung von Kunststoffen in nahezu allen Lebensbereichen erforderlich. Obwohl dieser Transformationsprozess einer Fülle technologisch anspruchsvoller Innovationen auf den unterschiedlichsten Ebenen bedarf – ob in der chemischen Zusammensetzung (Compoundierung) und Produktperformance, des innovativen Designs bei der Substitution anderer Materialien, der innovativen Sortiertechnik mit polymerspezifischen Analysemethoden, neuer Geschäftsmodelle oder innovativer Methoden des mechanischen und chemischen Recyclings –, ist der „gordische Knoten der Kreislaufführung“ hiermit nicht durchzuschlagen. Ohne regulative Rahmenbedingungen, die einen Wettbewerb zwischen der Kunststoffneuware aus Rohöl und hochwertigen Rezyklaten ermöglichen (Level-Playing-Field), wird dieses Ziel nicht erreichbar sein.

Notwendigkeit regulatorischer Anreize

Solange Rezyklate mit der entsprechenden Qualität nicht konkurrenzfähig mit der Neuware auf fossiler Basis sind, wird die Nachfrage nicht in durchschlagendem Maß steigen. Und je geringer wiederum die Mengen an produzierten Rezyklaten, desto höher ist auch der Preis für die Rezyklate. Zirkuläre Geschäftsmodelle, die recycelte Rohstoffe fördern oder gar Abfälle vermeiden, sind deshalb derzeit nur selten ökonomisch konkurrenzfähig mit denen der Primärrohstoffhersteller.



Etablierte Instrumente der Abfall- und Kreislaufwirtschaft sind allein nicht in der Lage, die gewünschten Effekte zu erzielen. Auch die bloße Adressierung der OEM/Verwender schafft weder die benötigten Mengen noch den Absatz für Rezyklate. Ohne Frage haben sich Kunststoffrezyklate in einigen Teilmärkten bereits durchgesetzt, machen jedoch nur einen geringen Teil der insgesamt produzierten Kunststoffmengen aus. Zwar ist eine sukzessive Steigerung der Rezyklatanteile zu beobachten, aber nicht mit der Geschwindigkeit, die aus ökologischer Sicht erforderlich wäre.

Auf dem Markt besteht – vor allem wegen der vorgelagerten Stufen der Kunststoffproduktion und des hierfür relevanten Ölpreises – weder das Angebot an benötigten hochwertigen Rezyklaten durch die Recycler noch die Nachfrage nach Rezyklaten durch die OEM/Verwender, da vorhandene Rezyklate die hohen Qualitätsanforderungen bislang kaum erfüllen. Die geforderte Qualität, der Preis für hochwertige Rezyklate und die mangelnde Verfügbarkeit führen dazu, dass Angebot und Nachfrage nicht zusammenpassen. Ein solches typisches

„Henne- Ei-Problem“ lässt sich in vielen anderen Wirtschaftsbereichen ebenfalls feststellen, z. B. bei der Elektromobilität mit Wasserstoff (Brennstoffzelle): Aufgrund fehlender Endnutzer fehlt es an Anreizen für den Ausbau einer Wasserstoffinfrastruktur, der wiederum die Voraussetzung für neue Nachfrage durch den Endnutzer ist. Marktkräfte allein werden deshalb nicht ausreichen, die notwendige Trans-

formation im Bereich der Kunststoffe im erforderlichen Maße anzustoßen. Angesichts der individuellen Potenziale und Herausforderungen, unterschiedlicher Interessen und Erwartungen der einzelnen Kreislaufstufen wird – wie in Handlungsfeld 2 dargestellt – deutlich, dass es Mechanismen bedarf, die das Gesamtsystem stimulieren und optimieren.

Aktuell vorhandene Rezyklate können die hohen Qualitätsanforderungen bislang kaum erfüllen.

In der Debatte um die „Circular Plastics Economy“ werden sowohl in der fachlichen als auch in der politischen Debatte – vor allem auf EU-Ebene – zum einen das Instrument von Mindestein-

satzquoten von Rezyklaten und zum anderen ökonomische Instrumente der Bepreisung diskutiert (vgl. z. B. AGVU/IK 2021, GVK 2021, UBA 2019a, acatech 2021a und 2021b, CEAP 2020).

Lenkungsinstrumente

In diesem Papier werden Lenkungsinstrumente diskutiert, die den vermehrten Einsatz von Post-Consumer-Rezyklaten (PCR) fördern sollen.

Lenkungsinstrumente sind im europäischen Kontext anzudenken, da es einer EU-weiten Regulierung bedarf. Nationale Lösungen innerhalb der EU schränken den freien Warenverkehr ein und sind nicht zielführend. Dennoch kann und sollte Deutschland die Rolle einnehmen,

Konzepte vorzudenken, zu testen/pilotieren und innerhalb der europäischen Politik voranzutreiben. Aus dieser Perspektive wurden die Chancen und Herausforderungen der Lenkungsinstrumente aus Sicht der verschiedenen Akteure im Kreislauf sowie mit Blick auf das Gesamtsystem herausgearbeitet.

Die folgenden drei Lenkungsinstrumente werden in diesem Papier betrachtet:



Lenkungsinstrument 1

Produktspezifische Rezyklat-Einsatzquoten

Mit diesem Modell werden Inverkehrbringer bestimmter Produkte zum Einsatz einer gesetzlich festgelegten Mindestmenge an Rezyklaten verpflichtet. Das hier diskutierte Modell betrifft einen festzulegenden Mindestanteil an eingesetztem Post-Consumer-Recyclingkunststoff (PCR). Ein solcher Ansatz wird z. B. mit der EU-Einwegkunststoff-Richtlinie (Richtlinie 2019/904, „Single-Use Plastics (SUP) Directive“) verfolgt, die für PET-Getränkeflaschen ab dem Jahr 2025 einen Mindestanteil von 25 % Rezyklat vorschreibt; ab 2030 wird dieser Mindestanteil auf 30 % für alle Einweggetränkeflaschen aus Kunststoff angehoben. Die Umsetzung einer solchen Mindestquote kann variieren

und z. B. als Durchschnittswert der Branche, als Durchschnittswert des einzelnen Inverkehrbringers oder als Verpflichtung für jedes einzelne Produkt angesetzt werden (vgl. AGVU/IK 2021). Auf diese Weise kann ein Pull-Effekt ausgelöst werden, da eine Nachfragegarantie für Rezyklatanbieter geschaffen wird und damit auch eine Investitionssicherheit in der Entsorgungs- und Recyclingwirtschaft. Die produktspezifische Rezyklat-Einsatzquote ist bzgl. der Recyclingverfahren (mechanisches oder chemisches Recycling) grundlegend technologieoffen anzusetzen. Je nach Anwendungsfall wäre die Nachhaltigkeit der Lösung kriteriengeleitet zu bewerten.



Lenkungsinstrument 2

Polymerspezifische Substitutionsquoten

Dieses Modell setzt unabhängig vom Produkt beim Material, das heißt der Kunststoffherzeugung an. Mit einer material- oder polymerspezifischen Substitutionsquote werden Kunststoffherzeuger verpflichtet, einen bestimmten Mindestanteil ihrer am Markt abgesetzten Kunststoffe aus nicht fossilen Rohstoffen, wie Rezyklaten, zu generieren. Eine solche Regulierung zielt darauf ab, preisbezogene Wettbewerbsnachteile von Rezyklaten zu reduzieren. Ziel ist, dass die nachgelagerten Wertschöpfungsketten mit ausreichenden und qualitativ angemessenen (den Bedarfen entsprechenden) Mengen an Kunststoffen mit Rezyklatanteil versorgt werden (Push-Effekt).

Neuware könnte dann nach und nach weitestgehend substituiert werden. Gleichzeitig stimuliert diese Quote Investitionen in das Recyclinggeschäft sowohl bei der Entsorgungs- und Recyclingwirtschaft als auch bei der Chemie und den Kunststoffherzeugern. Durch den steigenden

Bedarf an hochwertigen zirkulären Rohstoffen werden sich die Wertschöpfungsketten von den OEM/Verwendern über den Handel bis zur Verwertung auf Rezyklierbarkeit ihrer Produkte ausrichten (Pull-Effekt).

Die Umsetzung der polymerspezifischen Substitutionsquote kann variieren, z. B. könnten Substitutionsquoten allgemein für den Werkstoff Kunststoff umgesetzt werden oder sich auf einzelne Polymerarten beziehen (z. B. PE, PP, PET, PS). Es gibt jedoch keine produktbezogenen Vorgaben; der Markt würde selbst regulieren, in welchen Produktanwendungen die Rezyklate eingesetzt werden, um die Vorgaben zu erfüllen. Die polymerspezifische Substitutionsquote ist bezüglich der Recyclingverfahren (mechanisches oder chemisches Recycling) vergleichbar der produktspezifischen Rezyklat-Einsatzquote technologieoffen anzusetzen. Es wäre fallbezogen zu bewerten, inwiefern die technologische Umsetzung nachhaltig ist.



Lenkungsinstrument 3

Ökonomische Lenkungsinstrumente

Die Ausgestaltungsmöglichkeiten ökonomischer Lenkungsinstrumente sind vielfältig. Grundsätzlich zielt diese Art von Steuerung darauf ab, Aktivitäten zur Kreislaufschließung und dem Rezyklateinsatz im Markt einen Vorteil zu verschaffen. Ökonomische Lenkungsinstrumente setzen in der Regel bei den Preisen an und folgen der Logik, dass eine Verteuerung bestimmter Ressourcen die Nutzung dieser Ressourcen reduziert. Umgekehrt würde eine finanzielle Besserstellung deren Einsatz steigern. Beispiele dafür sind Lenkungsabgaben, wie die CO₂-Bepreisung bzw. die Einbindung

der Kunststoff- und Recyclingindustrie in den Emissionshandel oder eine zusätzliche Besteuerung bzw. Neuware-Bepreisung von einzelnen Produkten aus fossilen Rohstoffen. Durch den unmittelbar entstehenden Druck der höheren Preise auf die Marktteilnehmer dienen solche Preisinstrumente darüber hinaus dem Zweck politische Vorhaben zu beschleunigen. Im Folgenden werden verschiedene ökonomische Lenkungsinstrumente skizziert, die aktuell auch im fachlichen und politischen Diskurs thematisiert werden.

Kriterien zur Diskussion der Lenkungsinstrumente

Vorschläge für staatliche Markteingriffe bedürfen einer intensiven Diskussion über die Vor- und Nachteile für unterschiedliche Akteure sowie deren Effektivität zur Zielerreichung. Eine für den faktenbasierten Diskurs nützliche Methode liegt in der Formulierung und Diskussion von Kriterien für die Bewertung. Ein solches Vorgehen, mit objektiv zu definierenden und

in späteren Phasen zu überprüfenden Kriterien zu arbeiten, hat sich in vielen zunächst kontroversen Debatten bewährt.

Das Portfolio von Beurteilungskriterien wurde entwickelt, um einerseits einen fundierten zielgerichteten Diskurs zwischen unterschiedlichen Perspektiven und Interessen zu ermöglichen

und andererseits die Chancen und Herausforderungen der jeweiligen Instrumente präziser benennen zu können. Zugleich soll dieses Portfolio von Beurteilungskriterien aber auch für die öffentliche und politische Debatte von Nutzen sein, wenn diese Instrumente weiter diskutiert und die Vor- und Nachteile gegeneinander abgewogen werden. Der VDI möchte mit diesem Vorschlag den faktenbasierten Diskurs unter-

stützen, um die Transparenz zu steigern und letztlich einen möglichst breiten Konsens aller Akteure des Kreislaufs herzustellen. Für die Diskussion der **Lenkungsinstrumente** zur Transformation des Gesamtsystems Kunststoffwirtschaft in Richtung Circular Economy wurden **vier unterschiedliche Arten von Kriterien mit jeweils zwei bis drei Unterkriterien** unterschieden:



Materialspezifische und technische Kriterien

- **Kreislaufeignung:**
Führt das Lenkungsinstrument zu Anreizen bei allen Akteuren der Wertschöpfungskette, die Kreislaufeignung von Produktentwicklung, Produktion, Distribution, Nutzung und Entsorgung zu steigern? (vgl. Handlungsfeld 1 und 4)
- **Rezyklateigenschaften:**
Führt das Lenkungsinstrument dazu, die Qualität und Verfügbarkeit von Rezyklaten im Gesamtmarkt zu steigern (z. B. durch Innovationen)? (vgl. Handlungsfeld 2)
- **Verwertungstechnologien:**
Führt das Lenkungsinstrument dazu, alle Verwertungsoptionen von Kunststoffabfällen (mechanisches, chemisches Recycling etc.) effektiv im Sinne des Angebots an Rezyklaten im Markt zu nutzen? (vgl. Handlungsfeld 2)



Ökologische Kriterien

- **Umweltverbrauch und -belastung:**
Führt das Lenkungsinstrument dazu, den Verbrauch bzw. die lineare Nutzung von Umweltgütern (z. B. Rohstoffe, Boden, Wasser, Luft) im Hinblick auf den Gesamtmarkt der Kunststoffe signifikant zu reduzieren? Führt es dazu, Kreislaufverluste durch Downcycling und Abfallverbrennung zu reduzieren und Einträge von Abfall in der Umwelt zu vermeiden? Führt es dazu, die Umweltbelastung zu senken (z. B. Vermeidung von Schadstoffen)? (vgl. Einleitung)
- **Defossilisierung:**
Führt das Lenkungsinstrument dazu, den Einsatz fossiler Rohstoffe bis 2050 massiv zu reduzieren/überflüssig zu machen und einen Beitrag zur Klimaneutralität durch Kreislaufführung zu leisten? (vgl. Einleitung und Handlungsfeld 2)



Wirtschaftliche Kriterien

- **Rezyklatmärkte:**
Führt das Lenkungsinstrument dazu, Rezyklatmärkte durch Schaffung von Angebot und Nachfrage auf- und auszubauen? (vgl. Einleitung)
- **Marktmechanismen:**
Führt das Lenkungsinstrument dazu, die Vorteile von Marktmechanismen (Wettbewerb, Preis, Nachfrage etc.) in der zirkulären Wertschöpfung zu etablieren und in einer Balance mit dem Ordnungsrahmen zu nutzen? (vgl. Handlungsfeld 1 und 2)
- **Wettbewerbsfähigkeit:**
Führt das Lenkungsinstrument dazu, dass die Wettbewerbsfähigkeit der (dt.) Unternehmen im europäischen Binnenmarkt und international gewährleistet bzw. gestärkt wird? Wird die Anpassungsgeschwindigkeit der Märkte und der Unternehmen berücksichtigt, um wirtschaftliche Schäden zu vermeiden? (vgl. Einleitung und Handlungsfeld 2)



Regulative Kriterien

- **Systemoptimierung:**
Führt das Lenkungsinstrument dazu, dass das gesamte System des Kunststoffkreislaufs im Hinblick auf Kreislaufführung von Kunststoffen optimiert wird und nicht viele Einzeleingriffe der Politik einen „Flickenteppich“ produzieren? (vgl. Handlungsfeld 1 und 2)
- **Vollzugsfähigkeit:**
Ist das Lenkungsinstrument geeignet, die Überprüfung staatlicher Vorgaben effizient zu ermöglichen und so Vollzugsdefizite zu vermeiden?
- **Verlässlichkeit:**
Ist das Lenkungsinstrument geeignet, allen Akteuren eine verlässliche langfristige Anpassungsstrategie zu vermitteln und so Investitionen und Eigeninitiative erst möglich zu machen? (vgl. Handlungsfeld 2)



Lenkungsinstrumente

Zusammenfassung der Kriterien

■ Kreislaufeignung:

Führt das Lenkungsinstrument zu Anreizen bei allen Akteuren der Wertschöpfungskette, die Kreislaufeignung bei Produktentwicklung, Produktion, Distribution, Nutzung und Entsorgung zu steigern?

■ Rezyklat-Eigenschaften:

Führt das Lenkungsinstrument dazu, Qualitäten und Verfügbarkeiten von Rezyklaten im Gesamtmarkt zu steigern?

■ Verwertungstechnologien:

Führt das Lenkungsinstrument dazu, alle Verwertungsoptionen von Kunststoffabfällen (mechanisches, chemisches Recycling etc.) effektiv im Sinne des Gesamtmarkts an Rezyklaten zu nutzen?

■ Umweltverbrauch und -belastung:

Führt das Lenkungsinstrument dazu, den Verbrauch von Umweltgütern (z. B. Rohstoffe, Boden, Wasser, Luft) im Hinblick auf den Gesamtmarkt der Kunststoffe signifikant zu reduzieren?

Führt es dazu, die Kreislaufverluste durch Downcycling, Abfallverbrennung und Abfall in der Umwelt zu reduzieren?

Führt es dazu, die Umweltbelastung zu senken (z. B. Vermeidung von Schadstoffen)?

■ Defossilisierung:

Führt das Lenkungsinstrument dazu, den Einsatz fossiler Rohstoffe (Öl) bis 2050 massiv zu reduzieren/überflüssig zu machen?

Materialspezifische &
technische Kriterien



Ökologische Kriterien

Wirtschaftliche Kriterien



Regulative Kriterien

■ Rezyklat-Märkte:

Führt das Lenkungsinstrument dazu, Rezyklat-Märkte durch Schaffung von Angebot und Nachfrage auf- und auszubauen?

■ Marktmechanismen:

Führt das Lenkungsinstrument dazu, die Vorteile von Marktmechanismen (Wettbewerb etc.) in der zirkulären Wertschöpfung zu etablieren und in Balance mit dem Ordnungsrahmen zu nutzen?

■ Wettbewerbsfähigkeit:

Führt das Lenkungsinstrument dazu, dass die Wettbewerbsfähigkeit der (dt.) Unternehmen im europäischen Binnenmarkt und international gewährleistet bzw. gestärkt wird? Wird die Anpassungsgeschwindigkeit der Märkte und der Unternehmen berücksichtigt, um wirtschaftliche Schäden zu vermeiden?

■ Systemoptimierung:

Führt das Lenkungsinstrument dazu, dass das gesamte System des Kunststoffkreislaufs im Hinblick auf Kreislaufführung von Kunststoffen optimiert wird? (Vermeidung von „Flickenteppichen“, lokalen Optima)

■ Vollzugsfähigkeit:

Ist das Lenkungsinstrument geeignet, die Überprüfung staatlicher Vorgaben effizient zu ermöglichen und deren Umgehung sowie die Überforderung der Verwaltung und der Unternehmen zu vermeiden?

■ Verlässlichkeit:

Ist das Lenkungsinstrument geeignet, dass alle Akteure verlässliche, langfristige Anpassungsstrategien entwickeln und so Eigeninitiative und Investitionen zu stimulieren?

Abbildung 3



Chancen und Herausforderungen

der Lenkungsinstrumente

Die wichtigsten in der Fachöffentlichkeit und der Politik diskutierten politischen Lenkungsinstrumente werden im Folgenden nach ihren Chancen und Herausforderungen bewertet. Die genannten Kriterien werden dabei sowohl auf die produktspezifische Rezyklat-Einsatzquote

als auch auf die polymerspezifische Substitutionsquote angewendet. Im Anschluss werden als ökonomische Lenkungsinstrumente die CO₂- und die Neuware-Bepreisung als auch der Lösungsansatz eines zweckgebundenen Fonds dargestellt.



Lenkungsinstrument 1

Produktspezifische Rezyklat-Einsatzquoten



Materialspezifische und technische Kriterien

Technisch ist eine Vorgabe in Form einer produktspezifischen Rezyklat-Einsatzquote für die Kreislaufeignung und den Rezyklateinsatz auf Produktebene zunächst sinnvoll, da sie dem OEM/Verwender eine konkrete Orientierung für sein Produkt bietet und sich der jeweilige Markt an dieser Vorgabe ausrichten muss. Dies hätte sicherlich auch Vorteile für Distribution, Nutzung und Entsorgung. In Summe würden alle Akteure der Branche motiviert werden, Produkte kreislauffähig zu konzipieren, zu produzieren und zu vermarkten sowie die Infrastruktur zur Sammlung, Sortierung und Aufbereitung der Produktabfälle darauf auszurichten. Es entstünden materialspezifisch klar definierte Rezyklatmärkte mit gegebenenfalls geschlos-

senen Produktkreisläufen, genannt sei hier das Beispiel der PET-Getränkeflaschen. Eine produktspezifische Einsatzquote würde zu Rezyklaten mit klar definierten Eigenschaften führen. Eine Standardisierung der eingesetzten Kunststoffe und des Produktdesigns würde auch für andere Märkte und Anwendungen eine Richtung angeben können. Kritisch sind darüber hinaus mögliche Einschränkungen im Produktdesign der OEM/Verwender zu bewerten, denn je höher die Qualitäts- und Sicherheitsanforderungen eines Produkts, desto schwieriger ist es eine Quote zu formulieren. Viele technische Anforderungen müssten hier über Normierung und andere Vorgaben erst geklärt werden.



Ökologische Kriterien

Mittels produktspezifischer Einsatzquoten von Rezyklaten kann branchen- und produktnah eine Vermeidung von fossilen Primärrohstoffen stimuliert werden. Der zu erzielende ökologische Effekt kann sehr präzise auf den Produktbereich abgestimmt werden. Zudem kann auf sehr spezifische ökologische Anforderungen reagiert werden. In der Umsetzung sollte darauf geachtet werden, dass Umlenkungseffekte vermieden werden. Denn die Quotenvorgabe könnte dazu führen, dass Rezyklate lediglich aus bestehenden Anwendungen in solche mit Quote umgelenkt werden. Das wäre weder ökologisch noch ökonomisch sinnvoll, wenn dann bspw. auch weitere Aufbereitungsschritte notwendig wären. Um diesem Effekt entgegenzuwirken, müsste es mehrere Quoten in unterschiedlichen

Produkt- bzw. Anwendungsbereichen geben, die möglichst aufeinander abgestimmt werden. Anzustreben wären geschlossene Produktkreisläufe, bei denen der Kunststoff für dieselbe Anwendung wieder zur Verfügung gestellt wird.

Öffentliche Diskussionen, bspw. um die Verschmutzung der Meere mit Mikroplastik (Marine Litter), zeigen zugleich Vor- und Nachteile der produktbezogenen Sichtweise: Die ökologische Wirkung von bestimmten Produkten gerät zwar ins öffentliche Bewusstsein und der politischen Regulierung, sie folgt aber auch nicht selten einer öffentlichen Debatte, die die Regulierung bestimmter Produktgruppen erzwingt, während andere von gegebenenfalls höherer ökologischer Relevanz außen vorbleiben. Vor diesem

Hintergrund wäre von einer unabhängigen Instanz abzuwägen, welche Produktgruppen nach welchen Kriterien ausgewählt werden.

Die produktspezifische Rezyklat-Einsatzquote kann schnell erste ökologische Effekte erzielen, garantiert allerdings nicht, dass der Rezyklat-einsatz auch im Gesamtmarkt effektiv gesteigert wird. Die angestrebte Ressourcenschonung



Wirtschaftliche Kriterien

Das wichtigste Kriterium für dieses Quotenmodell aus gesamtwirtschaftlicher Sicht ist, ob es zur Entstehung von Rezyklatmärkten führt. Denn nur wenn auch Rezyklate in ausreichender Menge und Qualität am Markt zur Verfügung stehen, sind OEM/Verwender in der Lage, den Quoten auch gerecht zu werden. Allerdings ist dabei zu beachten, dass Quoten nur dann eine Lenkungswirkung erzielen und dadurch Planungs- und Investitionssicherheit für die zukünftige Marktentwicklung schaffen, wenn sie eine über die Zeit ansteigende Vorgabe machen.

In geschlossenen Produktkreisläufen würden somit durch den klar definierten ansteigenden Bedarf und die damit verbundene Planungssicherheit Investitionen in Recyclingtechnologien initiiert. Zugleich würde in diesen definierten Märkten eine Nachfragegarantie mit Investitionssicherheiten für die Verwerter entstehen. Die Kreisläufe wären aufgrund der Produktspezifika überschaubar und weniger komplex, was eine schnelle Umsetzung erleichtern würde. Allerdings sind die oben beschriebenen Umlenkungseffekte zu bedenken, indem Rezyklate aus zuvor bestehenden Produktkreisläufen oder Anwendungen in solche mit einer produktspezifischen Einsatzquote geleitet werden könnten. Zudem stünde insbesondere für die in der Verantwortung stehenden OEM/Verwender – zumindest anfangs – ein höherer Entwicklungs- und auch Beschaffungsaufwand an, der sich kostensteigernd auswirken kann. Anfangs wäre

hängt davon ab, ob dieser Quotentyp signifikante Wirkung erzielen könnte. Das zentrale Ziel der Defossilisierung – der Abkehr vom Erdöl – ist von der Menge des durch solche Quoten im Gesamtmarkt erfassbaren Kunststoffes abhängig. Insofern sind ökologische Bewertungskriterien nicht nur auf das Einzelprodukt, sondern auf den Gesamtmarkt anzuwenden.



das Risiko hoch, dass es zu stark steigenden Preisen für Rezyklate in den benötigten Qualitäten kommt, solange das Angebot noch nicht in den ausreichenden Mengen und Qualitäten sichergestellt werden kann (Ramp-up-Phase). Ähnlich ist dies derzeit im R-PET-Markt zu beobachten, in dem aufgrund der EU-Einwegkunststoff-Richtlinie (Richtlinie 2019/904) und den Selbstverpflichtungen großer Konzerne die Nachfrage bei begrenzter Verfügbarkeit von Recycling PET aus Flaschenware stark gestiegen ist. Erfolgskritisch ist die Frage nach der Höhe der Quote; bei einer zu hohen Quote drohen Qualitätsrisiken bis hin zur Gefährdung der Produktsicherheit und der Rohstoffversorgung. Eine zu geringe Quote allerdings würde keine Anreizwirkung erzeugen. Da die Anpassungsgeschwindigkeit der Unternehmen bei der Quotenvorgabe je nach Markt und Produktbereich unterschiedlich sein wird, sind für diesen Quotentyp auch Probleme der Wettbewerbsgleichheit erwartbar.

Das wichtigste Kriterium für die Bewertung dieses Quotentyps in der Breite ist letztlich die effektive Steigerung des Rezyklateinsatzes in Bezug auf das gesamte Volumen der abgesetzten Kunststoffe im Markt.

Zusammenfassend ist zu bewerten, ob der Einsatz einer produktspezifischen Quote als Regulierungsinstrument den Rezyklateinsatz im Kunststoffmarkt effektiv steigern kann. Das wichtigste Kriterium für die Bewertung dieses Quotentyps in der Breite ist letztlich die effektive Steigerung des Rezyklateinsatzes in Bezug auf das gesamte Volumen der abgesetzten Kunststoffe im Markt. Denn es wären erhebliche

Anpassungsmaßnahmen einzelner Unternehmen in deren Produktbereichen erforderlich, die ökologische Wirkung könnte sich aber produktübergreifend, mit Blick auf den gesamten Kunststoffmarkt, in Grenzen halten. Die Wirkung ist letztlich abhängig davon, wie viele Produktkreisläufe, wie schnell und mit welcher Wirkung (abhängig von der Höhe der Quote) geschlossen werden können.



Regulative Kriterien

Die Umsetzung von produktspezifischen Rezyklateinsatzquoten würde an den Circular Economy Action Plan (CEAP) der EU anknüpfen. Der CEAP verfolgt verschiedene Maßnahmen zur Förderung einer Circular Economy auf EU-Ebene und wurde seit 2015 mehrfach angepasst bzw. erweitert. Die Anpassung vom März 2020 hat die Prüfung regulativer Maßnahmen für die Einführung gesetzlicher Mindest-Einsatzquoten von Rezyklaten angestoßen (vgl. CEAP 2020). Maßnahmen, die im März 2022 verkündet wurden, schlagen Rechtsvorschriften für einzelne Produkte bzw. Produktgruppen vor (Textil, Bauwesen, vgl. CEAP 2022).

Nur eine transparent nachvollziehbare und effektiv staatlicherseits kontrollierte Quote wird ihren Zweck erfüllen, sodass regulative Kriterien wegen der großen Zahl produktspezifischer Vorgaben für die Bewertung dieser Quote von besonderer Bedeutung sind. Die schiere Anzahl Zehntausen-

der von Produkten aus oder mit Kunststoff macht eine sinnvolle und leistbare Überwachung durch Behörden allerdings schwierig. Gleichzeitig sind die ökologischen Effekte aber nicht nur von der Quotenhöhe, sondern auch von der Menge des durch solche Quoten erfassbaren Kunststoffs abhängig. Neben der Überwachung kommt ein weiteres regulatives Problem hinzu: Jede Quote bedeutet einen Eingriff in die Produktmärkte, in die wirtschaftliche Situation von Unternehmen und bedürfte in jedem Einzelfall einer aufwendig zu führenden Begründung, die – wie auch der Immissionschutz zeigt – zu einer größeren regulativen Dichte führen könnte.

Die Verlässlichkeit der Quotierung ist für jeden wirtschaftlich handelnden Akteur ein wesentliches Kriterium für Investitionen in technische Innovationen oder tiefgreifende Änderungen des Produktdesigns.





Chancen und Herausforderungen

Produktspezifische Rezyklat-Einsatzquoten

	Chancen	Herausforderungen
materialspez. / technisch	<ul style="list-style-type: none"> ■ Konkrete Orientierung für OEM/Verwender und die gesamte Branche; fördert die Planbarkeit ■ Fördert den Bedarf an materialspezifisch sehr klar definierten Rezyklaten ■ Hohe Motivation zur kreislaufgeeigneten Produktauslegung, -produktion und -vermarktung in der entsprechenden Branche (Design for Circularity) ■ Anwendungsbezogene Optimierung der Kreislaufplanung und Kreislaufführung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Je nach Produkt evtl. Einschränkung im Produktdesign und notwendige Anpassung ■ Rezyklatqualitäten und -angebot sind derzeit nicht auf eine Vielzahl an Kunststoffprodukten ausgelegt ■ Bedarf an technischer Spezifikation
ökologisch	<ul style="list-style-type: none"> ■ Schnelle und nachweisbare Lösung für einzelne Produkte/Produktgruppen ■ Kleine Kreisläufe ermöglichen schnell auf wandelnde/ausdifferenzierende ökologische Produkthanforderungen zu reagieren 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Umweltwirkungen des Instruments müssen je Produkt bewertet werden ■ Beitrag zur Defossilisierung hängt von der Anzahl und Art der Produktkreisläufe ab ■ Ggf. Umlenkungseffekte: wenn Rezyklate aus bestehenden Anwendungen in solche mit Quote umgelenkt werden (kein ökologischer und ökonomischer Mehrwert)
wirtschaftlich	<ul style="list-style-type: none"> ■ Entstehung definierter Rezyklat-Märkte mit Nachfragegarantie und Investitionssicherheit für Abfallwirtschaft und Recycler ■ Überschaubare Kreisläufe, niedriger Komplexität mit niedriger Einstiegshürde; schnelle Umsetzung möglich ■ Hohe Anpassungsgeschwindigkeit der Quotenvorgabe je nach Markt und Produktbereich 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Entwicklungs- und Beschaffungsaufwand unklar, wirkt ggf. kostensteigernd ■ Das richtige „Maß“ finden: je nach Höhe der Quote Risiken bezogen auf die Qualität, Produktsicherheit, Rohstoffversorgung, Preissteigerung
regulativ	<ul style="list-style-type: none"> ■ Umsetzung des Circular Economy Action Plan der EU 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Vielfalt an Produktgruppen – Aufwand und Komplexität in der Regulierung ■ Vollzug der Regelung bei Vielzahl von Produkten und zu kontrollierenden Verarbeitern praktisch unmöglich; damit auch keine fairen Wettbewerbsbedingungen ■ Derzeit kein EU-weites Monitoring-/Überwachungs-/Clearingsystem ■ Notwendigkeit der Schaffung eines Systems (siehe Rezyklateinsatzquoten für PET-Flaschen)

Tabelle 9



Lenkungsinstrument 2

Polymerspezifische Substitutionsquoten



Materialspezifische und technische Kriterien

Die polymerspezifischen Substitutionsquoten setzen beim Kunststoffhersteller an. Sie verpflichten ihn, einen bestimmten Mindestanteil der am Markt abgesetzten Kunststoffe aus nicht fossilen Rohstoffen, wie Rezyklaten, zu generieren. Zunächst zielt eine solche Substitutionsquote darauf ab, preisbezogene Wettbewerbsnachteile von Rezyklaten zu reduzieren. Um ausreichende und qualitativ angemessene Mengen an Kunststoffen mit Rezyklatanteil auf dem Markt verfügbar zu haben, wären alle Kunststoffhersteller gleichermaßen verpflichtet, eine bestimmte Quote an Rezyklaten bzw. Rezyklatanteilen ihrer Kunststoffe anzubieten.

Um mit einer solchen Quote am Markt bestehen zu können, müssten Kunststoffhersteller in Recyclingtechnologien investieren und auch in die Entwicklung alternativer Kunststoffe. Gefördert würde hierbei gegebenenfalls auch die Entwicklung von Neuware, die sich aus der Kombination von fossilen und nicht fossilen Rohstoffen zusammensetzt (Konversionsprodukte). Der Anteil der recycelten Rohstoffe muss über einen geeigneten Massenbilanzansatz ermittelt und gewährleistet werden. Der Kunde könnte die relevanten Informationen hierzu über die Produktspezifikation erhalten. Die Eigenschaften der vom Kunststoffhersteller zu beschaffenden Rohstoffe sind für dieses Vorgehen von entscheidender Bedeutung. Es wäre zu erwarten, dass die entstehende Nachfrage nach diesem Material eine Investitions- und Qualitätsoffensive auf der Seite der Verwerter in Gang setzen wird. Der hierfür nötigen Entwicklungszeit müsste über anfänglich noch niedrige Quoten Rechnung getragen werden. Entscheidend für die Wirkung dieses Quotenmodells wäre ein mit Weitsicht geplanter und festgelegter Anstieg der Quotenvorgabe. Denn auch hier könnten Quoten nur dann eine signifikante Lenkungswirkung erzielen, wenn sie eine über die Zeit ansteigende Vorgabe machen und erst dadurch Planungs- und Investitionssicherheit für die zukünftige Entwicklung schaffen. Dieser Quotentyp würde im Hinblick auf die geforderte Geschwindigkeit an die Trans-

formation und Technikentwicklung nicht nur der Chemie und den Kunststoffherstellern, sondern allen Akteuren des Kunststoffkreislaufs langfristige Orientierung für ihre Investitionsentscheidungen und Technologieentwicklung bieten.

Technologieoffenheit für die Verwertung von Kunststoffabfällen wäre zudem eine zentrale Voraussetzung für das Gelingen dieses Ansatzes. Alle verfügbaren Verfahren sind vonnöten, um Qualitäts- und Quantitätsanforderungen zu erfüllen. Mechanisches ebenso wie chemisches Recycling sind mit Hochdruck weiterzuentwickeln, um dies auch bei steigender Quotierung zu gewährleisten.

In dem Maße, in dem der Abfall an Wert gewinnt, dürfte der Druck auf die Kreislaufbeteiligten ebenso wie ihre Motivation steigen, ihre jeweiligen Produkte kreislauffähig auszuliefern, zu produzieren und zu vermarkten sowie in die benötigte Infrastruktur zu investieren. Dies wird sich positiv auf die Abfallverwertung, die Qualität und die Quantität ihrer Produkte sowie der Rezyklate auswirken. Insofern ist davon auszugehen, dass dieses Lenkungsinstrument zu Anreizen bei allen Akteuren der Wertschöpfungskette führen würde, die Kreislauffähigkeit und Kreislaufführung zu steigern. Sollten diese Anreize für die nachgelagerten Stufen nicht ausreichen, sind weitere Steuerungsinstrumente in der entsprechenden Kreislaufstufe anzudenken, wie bspw. Vorgaben zum Design for Circularity. Für die Umsetzung wäre zudem eine bessere Rückverfolgbarkeit der eingesetzten Kunststoffe wichtig, sodass nachvollziehbar ist, in welchen Produkten die verarbeiteten Kunststoffe Anwendung finden.

Da es sich hierbei um einen erheblichen Eingriff in die bisherige Kunststoffherstellung handeln würde, ist es notwendig, Standards und Normen im Hinblick auf die Qualitätsanforderungen an unterschiedliche Polymerarten zu erarbeiten.



Ökologische Kriterien

Das Quotenmodell einer schrittweise ansteigenden polymerspezifischen Substitution könnte im Hinblick auf das bis 2050 zu erreichende Ziel einer vollkommenen Defossilisierung der chemischen und kunststofferzeugenden Industrie ein wichtiger klimapolitischer Beitrag sein. Die Kreislaufführung von Kunststoffen kann im Mix der verschiedenen Verwertungstechnologien auch zur Reduktion der Umweltbelastungen führen – durch Verringerung des Eintrags fester Kunststoffabfälle in die Umwelt (Deponierung) oder als CO₂ in die Atmosphäre.

Das Einsparpotenzial an klimaschädlichen Treibhausgasemissionen durch den Einsatz hochwertiger Recyclingkunststoffe im Vergleich zur Verwendung von Neugranulat aus Rohöl variiert, insbesondere je nach Energieeinsatz. Es kann heute bereits bei über 50 % liegen (vgl. Fraunhofer UMSICHT 2022). Je höher die Quote ansetzen würde und je geringer der Stromverbrauch bzw. höher der Anteil an erneuerbaren Energien, desto größer wäre entsprechend das Einsparpotenzial.

Das Quotenmodell einer schrittweise ansteigenden polymerspezifischen Substitution könnte im Hinblick auf das bis 2050 zu erreichende Ziel einer vollkommenen Defossilisierung der chemischen und kunststofferzeugenden Industrie ein wichtiger klimapolitischer Beitrag sein.

Um jedoch eine verlässliche Aussage über das tatsächliche Verbesserungspotenzial treffen zu können, bedarf es einer transparenten, nachvollziehbaren und vergleichbaren Methode zur Berechnung der CO₂-Bilanz für die recycelten Rohstoffe. Diese kann je nach Recyclingverfahren oder auch Kombination verschiedener Ver-

fahren ganz unterschiedlich ausfallen. Aus ökologischer Perspektive wäre mit einer solchen Quote, bei einer entsprechenden Quotenhöhe, die größte Hebelwirkung zu erwarten. Diese wäre jedoch in wissenschaftlichen Studien und weiteren Dialogen zwischen den maßgeblichen Akteuren eingehender zu prüfen.



Wirtschaftliche Kriterien

Eine polymerspezifische Substitutionsquote wäre zwar ein starker Eingriff in den Markt, setzt aber gleichzeitig ökonomische Anreize, um im Gesamtsystem die Verwendung von Kunststoffzyklen während des gesamten Lebenszyklus attraktiv zu gestalten. Durch die schrittweise Quotenerhöhung bei der Kunststoffherzeugung behielte der Kunststoff auch in der Post-Consumer-Phase einen Wert, da Kunststoffabfälle für die Abfall- und Verwertungswirtschaft von hoher wirtschaftlicher Bedeutung sind.

Die mit der Substitutionsquote stimulierte Nachfrage nach Rezyklaten würde – im Sinne des Kreislaufschemas – sowohl in der jeweils vorgelagerten Stufe Entwicklung und Investitionen in Erfassung, Sortierung und Aufbereitung von Kunststoffabfällen induzieren als auch

die Umsetzung eines Design for Circularity in den nachgelagerten Stufen (OEM/Verwender) erleichtern (z. B. aufgrund der erhöhten und sicherzustellenden Verfügbarkeit von Rezyklaten). Eine solche Quote würde somit aus Sicht der Kunststoffherzeuger sowohl das Angebot von Rezyklaten für die nachgelagerten Kreislaufstufen als auch die Nachfrage nach Rezyklaten in Richtung der vorgelagerten Stufen (Abfallwirtschaft) stimulieren. Eine polymerspezifische Quote für die Kunststoffherzeuger würde also in beide Richtungen des Kreislaufs beträchtliche Hebelwirkungen entfalten können. Das bisher vorliegende oben ausgeführte „Henne-Ei-Problem“ wäre so zu beseitigen. Bei einer langfristig ausgerichteten, langsam und verlässlich steigenden Quotenentwicklung wäre auch eine Planungssicherheit für die jeweiligen Akteure gewährleistet.

Dieses Quotenmodell hätte zugleich signifikante Auswirkungen auf die Unternehmen: Die kunststofferzeugende Industrie würde motiviert, in Entwicklung, Ankauf oder eigene Produktion von mechanisch und chemisch erzeugten Rezyklaten zu investieren. Langfristig würde eine Mindesteinsatzquote, die sich auf einem gewissen Niveau etabliert hat, zu einer relativen Verknappung von Kunststoffneuware am Markt führen. Dies würde Rezyklate im Vergleich zur Neuware wettbewerbsfähiger machen. Ein finanzieller Anreiz zur Nutzung von Rezyklaten wäre dann gegeben. Skaleneffekte würden zusätzlich dazu führen, dass Rezyklate günstiger werden.

Ein schrittweiser Anstieg der Substitutionsquote in einem regionalen Markt kann dennoch vorübergehend zu erheblichen Wettbewerbsnachteilen gegenüber anderen – „quotenfreien“ – Wirtschaftsräumen führen. Die Kunststoffindustrie und insbesondere die kunststofferzeugende Industrie ist international aufgestellt, sodass die Folgen für die Anlagenauslastung und die einzelwirtschaftliche Konsequenz von hoher Relevanz sind. Ähnlich der Energiewirtschaft bedarf es auch hier der Entwicklung einer Transformationsstrategie und einer zugehörigen Roadmap, um die Erfordernisse des

gesamten Markts mit den unternehmerischen Geschäftsmodellen sinnvoll zusammenzuführen. Dies kann und muss auf Ebene der Europäischen Union und mit von dieser gesetzten regulativen Rahmenbedingungen erfolgen, um faire Wettbewerbsbedingungen in einem ausreichend großen und bedeutenden Markt zu schaffen.

Eine große Herausforderung stellt die Durchsetzbarkeit im globalen Markt dar: EU-Grenzausgleichsmechanismen wären bei Importen notwendig. Wettbewerbsnachteile gegenüber anderen „quotenfreien“ Wirtschaftsräumen wären durch geeignete WTO-konforme Grenzausgleichsmechanismen im Fall von Granulatimporten noch verhältnismäßig einfach zu verhindern, die viel größere Herausforderung liegt beim Import von fertigen Produkten (z. B. Autos). Beim Import von solchen Kunststoffprodukten, die einen geringeren Rezyklatanteil als der Durchschnitt der EU-Produkte aufweisen, wären dann WTO-konforme Ausgleichsregeln zu finden, wenn die Rezyklatkosten über denen für Neuware auf dem Weltmarkt liegen. Um die Versorgungssicherheit in der Anlaufphase sicherzustellen, wäre die Quote zu Beginn relativ niedrig zu setzen und sukzessive zu erhöhen.



Regulative Kriterien

Die Begrenzung einer regulativen Maßnahme auf wenige Akteure mit großen Marktanteilen hat aus Perspektive des Regulators hohe Attraktivität. Kommunikation, Nachvollziehbarkeit und Überwachung sind für wenige große Akteure mit etablierten Compliance-Systemen einfacher zu leisten. Für den Regulator ist die Ansprache einiger weniger juristischer Personen vergleichsweise leicht, die Adressierung einer Vielzahl von Produkten teilweise hoher Komplexität, entsprechender Märkte und Lieferketten würde hier entfallen. Ein großer Markteingriff – wie es die polymerspezifische Substitution bedeuten würde – erhöht die Steuerungsmöglichkeiten des Gesetzgebers für wenige Akteure. Jedoch ist eine solche Quotierung nur im europäischen Maßstab sinnvoll umsetzbar, sie braucht den großen europäischen Binnenmarkt. Eine Selbstverpflichtung in Deutschland tätiger Unternehmen oder eine Pilotierung in Deutschland wäre zu prüfen, um das Instrument auf europäischer Ebene platzieren zu können.

Letztlich ist die Verlässlichkeit und Berechenbarkeit der künftigen Strategie für den Transformationsprozess der Kunststoffwirtschaft von entscheidender Bedeutung. Ähnlich wie bei anderen Transformationsprozessen, wie in der Energiewirtschaft, bedarf es politischen Willens und Flexibilität bei der Umsetzung. Diese Balance wäre in Deutschland wegen der günstigen Aufstellung aller Akteure in hohem Maße gegeben.





Chancen und Herausforderungen

Polymerspezifische Substitutionsquoten

	Chancen	Herausforderungen
 materialspez. / technisch	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ansatz beim Kunststoffhersteller mit chemischer und technischer Kompetenz stimuliert Investitionen ■ Fördert Investitions- und Qualitäts-offensive auf der Seite der Verwerter und Erzeuger ■ Hohe Motivation zur kreislauff geeigneten Produktauslegung, -produktion und -vermarktung in der gesamten Kunststoffindustrie durch Verknappung der fossilen Neuware 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Standardisierung der Qualitätsanforderungen für unterschiedliche Polymerarten notwendig ■ Rückverfolgbarkeit der eingesetzten Polymere in Richtung OEM/Verwender
 ökologisch	<ul style="list-style-type: none"> ■ Signifikante Einsparung von Ressourcen und Emissionen möglich – Potenzial für eine große Hebelwirkung ■ Rückführung von Molekülen und Materialien eröffnet Flexibilität, ökologisch effektive Kreisläufe zu finden 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Umweltwirkungen müssen fallspezifisch berechnet und bewertet werden
 wirtschaftlich	<ul style="list-style-type: none"> ■ Anreize, um im Gesamtsystem die Verwendung von Kunststoffzyklen während des gesamten Lebenszyklus attraktiv zu gestalten ■ Stimuliert das Angebot von Rezyklaten für die nachgelagerten Kreislaufstufen und die Nachfrage nach Rezyklaten in Richtung der vorgelagerten Stufen ■ Motivation der kunststoffherstellenden Industrie: Ankauf von Rezyklaten oder Mengenzertifikaten sowie Investition in eigene Produktion von mechanisch und v. a. chemisch erzeugten Rezyklaten ■ Langfristige Planungssicherheit, bei langfristiger Quotenvorgabe ■ Recycler könnten durch den Verkauf von Mengenzertifikaten an Erzeuger zusätzliche Einnahmen generieren; Investitionen in größere Anlagen möglich ■ Mögliche Relativierung der derzeit vorliegenden Wettbewerbsungleichheiten zwischen Rezyklat und Neuware 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Durchsetzbarkeit im globalen Markt schwer, EU-Grenzausgleichsmechanismen bei Importen notwendig ■ Wettbewerbsnachteile gegenüber anderen „quotenfreien“ Wirtschaftsräumen durch geeignete WTO-konforme Grenzausgleichsmechanismen verhindern ■ Versorgungssicherheit in der Anlaufphase gewährleisten
 regulativ	<ul style="list-style-type: none"> ■ Begrenzung auf wenige Akteure mit großen Marktanteilen und großer Hebelwirkung ■ Monitoring im Vergleich zur produktspezifischen Quote einfacher 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Auseinandersetzung mit großen internationalen Unternehmen über Eingriff in unternehmerische Entscheidungen notwendig ■ Regelung auf EU-Ebene notwendig ■ EU-Grenzausgleichsregelungen ggf. erforderlich ■ D-EU-Globale Umsetzung (WTO) anstreben

Tabelle 10



Lenkungsinstrument 3

Ökonomische Lenkungsinstrumente

Ökonomische Lenkungsinstrumente setzen Anreize über Preise, um die Transformation zur Circular Economy zu fördern und den Rezyklateinsatz zu steigern. Die Ausgestaltungsmöglichkeiten sind dabei ebenso vielfältig wie deren Wirkungsrichtungen. In diesem Papier sollen deshalb nur beispielhaft einige Ausgestaltungsmöglichkeiten dieser ökonomischen Lenkungsinstrumente genannt werden. Bei diesen handelt es sich um häufig bzw. aktuell diskutierte Maßnahmen, wie die CO₂-Bepreisung und eine Neuware-Bepreisung, die auf eine Preisanpassung beim Einsatz von fossilen Rohstoffen setzt. Grundsätzlich zielen diese Lenkungsinstrumente darauf ab, Kunststoffrezyklate im Vergleich zur Neuware, die auf fossilen Rohstoffen basiert, besser am Markt zu positionieren.

CO₂-Bepreisung

Die CO₂-Bepreisung (alternativ auch CO₂-Abgabe oder CO₂-Steuer) ist ein weitverbreitetes Instrument, um dem Ausstoß von Emissionen einen Preis zu geben und verursachergerecht zu übertragen. In Deutschland wird eine CO₂-Bepreisung bereits in Bereichen wie Verkehr und Gebäude/Wärme eingesetzt. Eingebettet ist diese Bepreisung meist in einen Zertifikatehandel, bei dem Verursacher mit einem hohen Ausstoß von CO₂ vermehrt Zertifikate einkaufen müssen, wobei effizientere Unternehmen einen ökonomischen Vorteil erwirtschaften. Angewendet wird dieses Emissionshandelssystem auf europäischer Ebene beim EU-ETS und auf nationaler Ebene beim nEHS.

Chancen

Bei der CO₂-Bepreisung würden Kunststoffe, die auf Basis von Rezyklaten hergestellt werden, einen Vorteil erhalten, weil Recyclingprozesse in der Regel mit weniger CO₂-Emissionen verbunden sind als die Nutzung von Primärrohstoffen. Dies wäre ein klarer Treiber, in das Recycling zu investieren und den Einsatz fossiler Rohstoffe zu minimieren, da diese sich durch die CO₂-Kosten verteuern, was zu Nachteilen im Wettbewerb mit anderen Anbietern führen kann. Eine Bepreisung fossiler Rohstoffe kann unabhängig davon erfolgen, ob sie als Input für die industrielle Produktion von Kunststoffen direkt eingesetzt wird oder wenn Kunststoffabfälle als Brennstoff für die Energiegewinnung genutzt

Preissignale sollen dabei auch externe Kosten internalisieren, z. B. durch die Schädigung von Umwelt und Klima entstehen, die jedoch bislang nicht Gegenstand der Preisgestaltung auf dem Markt sind. Sie haben zudem den Vorteil eine Vielzahl von Marktteilnehmern zu erreichen und eine Verhaltensänderung durch einen Kostenvorteil anzureizen. Dies wird beispielsweise bei den Handelssystemen für Emissionszertifikate mit anfänglich gesetzten Preisen eingesetzt. Gleichzeitig sollen die finanziellen Anreize einen Wettbewerb um Innovationen befördern und zu einer beschleunigten Umsetzung bei Marktteilnehmern führen, so dass politische Ziele oder Vorgaben wirksam und meist bürokratieärmer umgesetzt werden können.



werden. Die Adressierung des Verursachers kann somit direkt bei den Herstellern oder bei den Verwertern von Kunststoffen gelegt werden. Neben einer direkten Besteuerung des gewählten Emissionsverursachers wirkt das Instrument auch indirekt auf die weiteren Stufen durch die Weitergabe der höheren Kosten entlang der Wertschöpfungskette. Bei einer Besteuerung des thermischen Verwertens von Kunststoff wird beispielsweise die aufwendigere Sortierung attraktiver und kann somit zu einem höheren Angebot an hochwertigem Rezyklat führen. Damit soll der Anreiz auch für die Verarbeiter steigen, Rezyklate zu verwenden und so Preissteigerungen zu entgehen. Dieses Instrument würde einen finanziellen Anreiz für alle Kreislaufstufen bieten, um Produkte und Prozesse ressourcenschonender und energieeffizienter (und damit CO₂-ärmer) zu gestalten.

Herausforderungen

Um eine Wirksamkeit zu erzielen, müssten CO₂-Preise hoch genug sein, sodass die Unternehmen, die die Themen Kreislaufwirtschaft und effizientes Energiemanagement gut umsetzen, tatsächlich auch einen monetären Wettbewerbsvorteil haben. Eine weitere Voraussetzung für den Erfolg dieses Steuerungsansatzes ist, dass es faire Wettbewerbsbedingungen

gibt. Hierzu zählt, dass eine materialunabhängige CO₂-Bepreisung einzuführen wäre, die die Gesamtheit aller Anbieter unterschiedslos erfasst. Der Zielmarkt müsste ausreichend groß sein (mindestens der europäische Binnenmarkt) und die beabsichtigte industrielle Transformation in einem ausreichend großen Zeitfenster stattfinden.

Neuware-Bepreisung

Das Instrument der Neuware-Bepreisung soll den Einsatz von fossilen Rohstoffen verteuern und somit den preislichen Vorteil gegenüber dem Einsatz von Rezyklat bereinigen. Ziel ist es Bedingungen zu schaffen, dass der Einsatz von Rezyklat günstiger wird.

Unter dem Instrument der Neuware-Bepreisung fallen eine Vielzahl von Ausgestaltungsmöglichkeiten, die mit direkter oder indirekter

Besteuerung bei den Kreislaufstufen zu Beginn in der Rohstoffherstellung oder Kunststoffherzeugung sowie am Ende des Kreislaufs bei Recycling und Verwertung ansetzen können. Sie könnten beispielsweise als Kunststoffsteuer abgeführt oder in Form einer Sonderabgabe erfasst und zweckgebunden eingesetzt werden. Meist zielen sie auf Verpackungen ab, sind jedoch auch auf andere Kunststoffprodukte übertragbar.

Als mögliche Adressaten der Neuware-Bepreisung lassen sich entweder die Kunststoffhersteller identifizieren, die Inverkehrbringer von Kunststoffprodukten oder die dualen Systeme.

Chancen

Als mögliche Adressaten der Neuware-Bepreisung lassen sich entweder die Kunststoffhersteller identifizieren, die aus fossilen Rohstoffen Kunststoffe erstellen, die Inverkehrbringer von Kunststoffprodukten oder die dualen Systeme. Voraussetzung für das Instrument wäre die Erfassung des Neuwareanteils bzw. des verwendeten fossilen Rohstoffs, oder bei den dualen Systemen der Anteil der nicht recycelten Materialien, die thermisch verwertet werden. Dies würde den Aufbau einer umfassenden Datenerfassung erforderlich machen, bei dem auch der Ersatz durch Rezyklate ersichtlich wird, beispielsweise durch einen einheitlichen Produktpass.

Herausforderungen

Insgesamt können durch eine Neuware-Bepreisung höhere Preise für Kunststoffe entstehen, da neben der Vertauung von Kunststoffen aus fossiler Neuware auch für Rezyklate in der Anfangsphase nicht automatisch die Preise sinken. Die Folgen könnten ein Ausweichverhalten auf ökologisch nachteiligere Materialien sein oder, wenn das Instrument rein national angelegt ist, auf Kunststoffimporte. Um diesem Ausweichverhalten entgegenzuwirken, müsste beispielsweise ein verpflichtendes Aufzeigen der Ursprungsrohstoffe auch bei importierten Gütern notwendig sein.

Zweckgebundene Fonds

Die Möglichkeit über Sonderabgaben einen zweckgebundenen Fonds auszustatten und die Effektivität der Anreizsetzung für Recyclingfähigkeit und Rezyklateinsatz auf Seiten der Inverkehrbringer zu erhöhen, steht ebenfalls in der Diskussion. In einem Forschungsprojekt des Umweltbundesamts wurde die Wirksamkeit von § 21 VerpackG überprüft und Vorschläge zur rechtlichen Weiterentwicklung erarbeitet (vgl. UBA 2022). Die Idee liegt darin, einen zweckgebundenen Fonds einzurichten, in den Inverkehrbringer von Verpackungen verpflichtend einzahlen und Rückzahlungen erhalten, wenn sie hochgradig recyclingfähige Verpackungen oder solche mit Rezyklatanteil in den Verkehr bringen.

Im Rahmen der Studie wurden fünf Varianten eines Fondsmodells durchdacht, die die Förderung der Recyclingfähigkeit intendieren oder die Förderung des Rezyklateinsatzes (vgl. UBA 2022, S. 163 f.). Entscheidend ist die Frage, wie die Beteiligungspflicht bestimmt wird. Die Studie empfiehlt für das Fondsmodell zur Förderung der Recyclingfähigkeit eine Beteiligungspflicht für alle Materialarten von nicht-hochgradig recyclingfähigen Verpackungen. So kann (im Vergleich zu anderen Ausgestaltungsoptionen) das Fondsvolumen auf das Maß begrenzt werden, das für die Lenkung notwendig ist und Ausweicheffekte zu ökologisch nachteiligen Materialarten können vermieden werden. Die Beitragshöhe soll der Empfehlung zufolge unabhängig von der Materialart gelten. Um die Einstufung für die Beteiligungspflichtigen zu ermöglichen, wäre ein Positivkatalog über hochgradig recyclingfähige Verpackungen bzw. Verpackungsgruppen notwendig.

Ein mögliches zusätzliches Fondsmodell zur Förderung des Rezyklateinsatzes könnte nach der Studie des UBA wie folgt aussehen: für alle beteiligungspflichtigen Kunststoffverpackungen besteht eine Einzahlungspflicht in einen Fonds, wenn diese weniger als einen (noch zu beziffernden) Mindestrezyklatanteil enthalten. Die Beitragshöhe kann sich stufenweise, je nach Höhe des Rezyklatanteils ausrichten, wobei die Anteile an systemstämmigen Post-Consumer-Rezyklaten maßgeblich sein sollten. Zusätzlich sollte eine hochgradige Recyclingfähigkeit eine grundlegende Voraussetzung für eine Bonifizierung des Rezyklateinsatzes sein. Die Studie weist darauf hin, dass dieses Modell nur funktioniert, wenn die Kontrolle des Einsatzes

von Rezyklaten ausreichend sicher gewährleistet werden kann, und sieht dies aktuell als nicht gegeben (vgl. UBA 2022, S. 182). Im Ergebnis spricht sich die Studie für die Umsetzung des oben beschriebenen Fonds zur Förderung der Recyclingfähigkeit aus.

Chancen

Das beschriebene Forschungsprojekt des Umweltbundesamtes bezieht sich ausschließlich auf Verpackungen. Die Ideen zur Ausgestaltung eines Fonds ließen sich jedoch über den Bereich der Verpackungen hinaus übertragen und wären als solche weiter zu untersuchen. Die Chance liegt darin, Inverkehrbringer zu motivieren, mehr Rezyklate einzusetzen und ein Design for Circularity konsequent umzusetzen. Je nach Fondsausgestaltung kann das hochwertige Recycling wie auch die Produktion bzw. der Einsatz hochwertiger Rezyklate gefördert werden.

Herausforderungen

Eine wichtige Frage bei der Ausgestaltung von Fondsmodellen (auch über den Verpackungsbereich hinaus) liegt darin, unter welchen Bedingungen eine Ausschüttung aus dem Fonds erfolgt. Im Anschluss an den Bemessungszeitraum müssten Hersteller die Erfüllung bestimmter Kriterien mit geeigneten Nachweisen belegen. Dabei ist die Frage, welche Kriterien für die Rückerstattung angesetzt werden. Recyclingfähigkeit und Rezyklatgehalt wären wichtige Kriterien für die Zielsetzung der Kreislaufführung. Zudem sollte auch die Wiederverwendbarkeit berücksichtigt werden, da Ressourcenschonung und Abfallvermeidung ebenfalls Ziele der Circular Economy darstellen. Bezogen auf ein mögliches Fondsmodell zur Förderung des Rezyklatgehalts ist zu durchdenken, wie der Einsatz von Rezyklaten nachgewiesen werden kann. Die Rückverfolgbarkeit ist häufig erschwert. Notwendige Prüfmethode sind zu diskutieren und je nach Anwendungsbereich zu erarbeiten.





Schlussfolgerungen der Bewertung der Lenkungsinstrumente

Die oben dargestellten Diskussionspunkte zu den Chancen und Herausforderungen der Lenkungsinstrumente verdeutlichen, dass jedes Instrument seine Vor- und Nachteile mit sich bringt.

Produktspezifische Rezyklat-Einsatzquoten bieten das Potenzial, relative schnell „kleine“, produktbezogene Kreisläufe einzuführen und damit den Bedarf an materialspezifisch, klar definierten Rezyklaten zu erhöhen. In den jeweiligen Produktbereichen können ökologische Signale gesetzt und Innovationen angeregt werden. Dabei kommen solche Segmente für den Einsatz infrage, in denen die Wirtschaft sicherstellen kann, dass Rezyklate in ausreichender Menge und Qualität am Markt zur Verfügung gestellt werden können. Die Höhe der Quote sollte dabei sukzessive erhöht werden und anfangs berücksichtigen, dass das Einsatzpotenzial heutiger Rezyklatqualitäten begrenzt ist.

Vor dem Hintergrund der regulativen Herausforderungen (Kriterium der Systemoptimierung) stoßen produktspezifische Rezyklat-Einsatzquoten für die Transformation des Gesamtsystems zur zirkulären Kunststoffwirtschaft jedoch auch an Grenzen. Es wäre eine Vielzahl an Produktgruppen zu regulieren, infrastrukturelle Bedingungen zu schaffen und ein EU-weites Monitoring-System einzuführen. Die Produktvielfalt führt zu einer enormen Komplexität in der Umsetzung.

Um die Stärken der produktspezifischen Rezyklat-Einsatzquoten nutzen zu können, ist eine Analyse von Produktgruppen aus ökologischer, wirtschaftlicher und regulatorischer Sicht notwendig. Im Ergebnis sollten Produktgruppen identifiziert werden, die einen hohen ökologischen Impact haben und die in einem ersten Schritt angegangen werden könnten. Bei diesen könnte es sich um Produktgruppen handeln, die ein hohes Marktvolumen haben und homogene Qualitätsanforderungen.

Vor dem Hintergrund der regulativen Herausforderungen stoßen produktspezifische Rezyklat-Einsatzquoten für die Transformation des Gesamtsystems zur zirkulären Kunststoffwirtschaft jedoch auch an Grenzen.

Die Stärke der polymerspezifischen Substitutionsquoten liegt in ihrer möglichen Gesamtwirkung auf den Markt, unabhängig von einzelnen (kleinen) Produktkreisläufen. Dies bringt Vorteile in der operativen, insbesondere auch regulativen Umsetzung mit sich. Letztlich ist der Impact bezüglich der Transformation des Gesamtsystems der Kunststoffindustrie hin zu einer Kreislaufwirtschaft hoch, wenn eine entsprechende Quotenhöhe erreicht ist.

Bei der Einführung wäre die Höhe der gesetzlichen Vorgabe kritisch. Wird sie zu hoch gewählt, wären Versorgungsgpässe und Preissteigerungen zu befürchten. Die polymerspezifische Substitutionsquote wäre insbesondere auch hinsichtlich der ökologischen Wirksamkeit in Studien und Pilotprojekten weiter zu testen. Eine Herausforderung betrifft auch die Rück-

verfolgbarkeit der eingesetzten Rezyklate. Derzeit ist es häufig schwer nachvollziehbar, welche Rezyklate in welchen Produkten Anwendung finden. Zudem wären auf EU-Ebene Grenzausgleichsmechanismen bei Importen einzuführen, um die globale Wettbewerbsfähigkeit sicherzustellen.

Ökonomische Lenkungsinstrumente können insbesondere in Ergänzung zu regulativen Instrumenten flexiblere Handlungsmöglichkeiten für die Akteure im Kreislauf darstellen, um die vorgegebenen Ziele zur Circular Economy zu erreichen und die durch regulative Maßnahmen gegebenenfalls entstehenden Kosten zu senken. Gleichzeitig werden damit ökonomische Anreize für Unternehmen geschaffen, um in Innovationen zu investieren, die für eine Transformation notwendig sind.

Ökonomische Lenkungsinstrumente sind im Kontext der Transformation der Kreislaufführung von Kunststoffen jedoch nur dort sinnvoll, wo es gelingt, die Inanspruchnahme einer knappen Ressource direkt zu bepreisen und wenn die resultierenden Einnahmen zielorientiert (mehr Zirkularität) verwendet werden. Sie verpuffen dort, wo sie an nicht zuzuord-

nende, komplexe Sachverhalte geknüpft und zweckgebunden verwendet werden. Die oben skizzierten Ausgestaltungsmöglichkeiten der ökonomischen Lenkungsinstrumente verdeutlichen deren vielfältige Wirkungsweise. Mögliche Rebound- und Umlenkungseffekte gilt es bei der Umsetzung durch eine genaue Prüfung und kriteriengeleitete Bewertung zu vermeiden.

Kombination verschiedener Lenkungsinstrumente

Da die Lenkungsinstrumente unterschiedliche Stärken und Schwächen mit sich bringen und sie sich nicht gegenseitig ausschließen, wird ihre Kombination als sinnvoller Lösungsansatz gesehen. Das genaue Vorgehen für eine solche Kombination wäre zu analysieren und bspw. in Szenarien auch hinsichtlich der Auswirkungen zu durchdenken.

Ebenso zu überprüfen wäre, welche Recyclingverfahren zur Erfüllung der Quoten zugelassen würden und wie die Nutzung nachwachsender Rohstoffe integriert wird. Für die Bewertung der Recyclingverfahren bzw. einzusetzender nicht fossilen Kunststoffe ist es notwendig, Nachhaltigkeitskriterien fallbezogen zu reflektieren und Maßstäbe für einen ökologisch sinn-

vollen Material- und Technologiemitmix abzuleiten. Forschungserkenntnisse hierzu sind dringend notwendig und müssen bei der Umsetzung von Regularien berücksichtigt sowie stets am Stand der Technik überprüft werden.

Für die Umsetzung eines Mix an Lenkungsinstrumenten wäre eine Roadmap für die Planung notwendig, die die Synchronisation der Maßnahmen sowie die sukzessive Einführung der Instrumente bis hin zum Zielzustand skizziert.

Die in diesem Papier vorgeschlagene Plattform (siehe Handlungsempfehlung 1) ist daher eine wesentliche Voraussetzung für die erforderliche Justierung und Koordinierung des Kreislaufs vor dem Hintergrund entsprechender Regulierungen.



Handlungsfeld 4

Produkte für den Kreislauf konzipieren

Für eine funktionierende Circular Economy braucht es neben Mehrwegprodukten und -systemen auch recyclingfähige Produkte. Die Produktkonzeption und das -design sind deshalb ein Schlüsselwerkzeug, wenn es um geschlossene Kunststoffkreisläufe geht. Schon lange existieren unterschiedlichste Konzepte und Standards zum recyclinggerechten Konstruieren und Designen (vgl. z. B. Richtlinie VDI 2243 oder die EU-Ökodesign-Richtlinie (Richtlinie 2009/125/EG)), doch die konsequente Ausrichtung an Nachhaltigkeitskriterien ist erst in den letzten Jahren in den Fokus gerückt.

Eindimensionale Recyclingfähigkeit reicht für den Kreislauf nicht aus

Im Mittelpunkt der Diskussion steht dabei oft die Frage, wie Produkte recyclinggerecht gestaltet werden können. Für eine zirkuläre Wertschöpfung, bei der Kunststoffe nicht nur einmal, sondern mehrfach in Form von Rezyklaten wiederverwertet und -verwendet werden sollen, reicht die Forderung nach einem eindimensionalen recyclinggerechten Produktdesign aber nicht aus. Legt man § 3 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) zugrunde, wird Recycling definiert als alle „Verwertungsverfahren“, die Abfälle zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen

Zweck oder für andere Zwecke aufbereiten (vgl. § 3 Absatz 25 KrWG). Das bedeutet, nur weil ein Produkt recycelbar ist, muss es demnach nicht automatisch auch für die Aufbereitung zu qualitativ hochwertigen Rezyklaten geeignet sein oder in der Praxis auch recycelt werden. Schwer ablösbare Klebstoffe, Materialvariationen oder dunkle Druckfarben erlauben beispielsweise heute noch maximal ein Downcycling, bei dem aus dem Rezyklat z. B. nur Parkbänke oder Rohre für Straßenschilder gegossen werden können. Stoffliche Trennbarkeit spielt dabei auch eine große Rolle.

Rezyklierbarkeit als unabdingbare Eigenschaft von Kunststoffprodukten

Ein Ziel der Circular Economy ist es, Kunststoffe tatsächlich im Kreislauf zu führen. Ein recyclinggerechtes Produktdesign ist deshalb eine notwendige Voraussetzung für kreislauffähige Produkte, bei dem der Kunststoff am Ende der Gebrauchsphase mit möglichst wenig Verlusten wieder als Rezyklat eingesetzt werden kann und dadurch erdölbasierte Neuware in einem äquivalenten Markt ersetzt. Nur wenn jeder

Wertschöpfungspartner des Produkts und dessen Materialien sein Potenzial zur Erreichung einer Rezyklierbarkeit hebt, entstehen effizient erneuerbare (reparierbare), wiederverwendbare, und schließlich auch rezyklierbare Produkte. Materialspezifische Anforderungen spielen dabei ebenso eine wichtige Rolle, z. B. die Demontage und Trennbarkeit.

Nur weil ein Produkt recycelbar ist, muss es nicht automatisch auch für die Aufbereitung zu qualitativ hochwertigen Rezyklaten geeignet sein.

Neuer ganzheitlicher Design-Ansatz notwendig

Schon ganz am Anfang bei der Konzeption des Produkts muss der Wertstoffkreislauf von Anfang bis Ende gedacht und der gesamte Produktlebenszyklus mitberücksichtigt werden. Der Wandel hin zu einer Circular Economy erfordert einen Design-Ansatz, der ein Umdenken bei den Produktherstellern, aber auch bei allen anderen Kreislaufpartnern bedingt. Notwendig ist eine ganzheitliche Sichtweise, bei der die Herkunft, Eigenschaften und Einsatzmöglich-

keiten des Materials genauso berücksichtigt werden wie Information und Sensibilisierung des Konsumenten bis hin zu den Verwertungsmöglichkeiten nach dem Stand der Technik (im industriellen Maßstab). Dabei reicht es nicht, nur seinen Teil des Kreises zu betrachten. Es gilt, in Materialströmen zu denken, statt in einzelnen Lösungen. Auch hier ist der Schlüssel für eine erfolgreiche Umsetzung die Kooperation über den gesamten Wertstoffkreislauf.

Es gilt, in Materialströmen zu denken, statt in einzelnen Lösungen.

Verpackungen und andere Kunststoffprodukte müssen konsequent so gestaltet sein, dass sie wieder verwertbar und auf ein zirkuläres System ausgerichtet sind. Um den Kunststoff möglichst lange und hochwertig im Kreislauf zu halten, müssen Produkte und Verpackungen aber auch so beschaffen sein, dass sie überwiegend aus Rezyklaten hergestellt werden können. Aktuell hakt es sowohl an der Qualität als auch an der Verfügbarkeit der wiederverwerteten Kunststoffe (vgl. Handlungsfeld 2). Der notwendige Wandel wird aber nicht vorangetrieben, wenn ein Großteil der Hersteller den Einsatz von recycelten Materialien deshalb scheut und stattdessen auf das perfekt passende Rezyklat wartet. Vielmehr sollten Hersteller und Verarbeiter lernen, mit den aktuellen Möglichkeiten umzugehen, Anpassungen im Produktdesign vorzunehmen und Rezyklate dort einzusetzen, wo das sinnvoll und möglich ist.

Auch das erfordert eine Umstellung: Bislang hat sich das Material vorwiegend nach der Anwendung gerichtet. Um zirkuläre Wertschöpfung erfolgreich umzusetzen, wird es mitunter notwendig sein, sich direkt zu Beginn das zur Verfügung stehende Material zu betrachten und dann das Produkt oder die Verpackung mit

möglichst nachhaltigen Materialien zu konzipieren, ohne die Qualität oder Produkteigenschaften zu vernachlässigen. Die Herausforderung wird sein, dass Qualität, Produkteigenschaften und -funktion weiterhin den Ansprüchen der Kunden genügen. Best-Practice-Beispiele wie Verpackungen für Waschmittel oder Reinigungsmittel zeigen, dass dieser Balanceakt in bestimmten Produktbereichen gelingen kann.



Wirksamkeit des Design for Circularity steigern

Neben der Verfügbarkeit von Rezyklaten gibt es noch einige andere Hebel, um den Wirkungsgrad eines auf den Kunststoffkreislauf optimierten Designs zu erhöhen:

Digitaler Material- oder Produktpass:

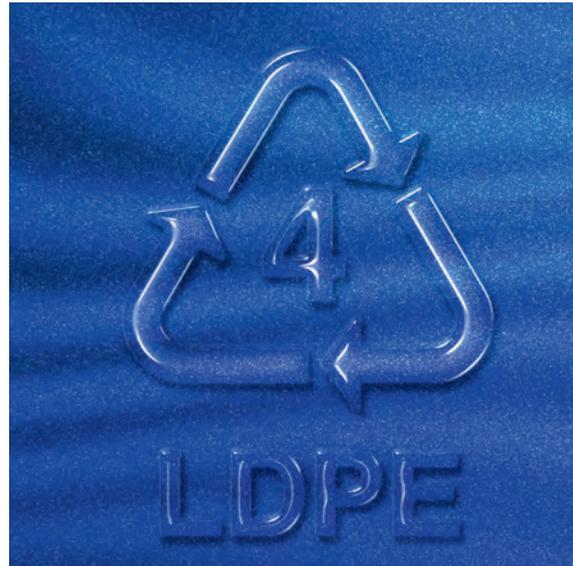
Insbesondere Verarbeiter, Produkt- und Verpackungshersteller sowie Recycler benötigen für ein kreislauffähiges Produktdesign Informationen über die genaue Materialzusammensetzung und das Herstellungsverfahren. Die Stärken des digitalen Material- oder Produktpasses kommen dann zum Tragen, wenn dieser zur Kommunikation und Interaktion im gesamten Kreislauf beiträgt und unterstützt, Entscheidungen aus einer systemischen Perspektive heraus zu treffen. Dies betrifft Design-Entscheidungen ebenso wie Entscheidungen über Recyclingtechnologien oder auch Bewertungen in Form von Ökobilanzen (deren Qualität sich durch die Daten des Materialpasses verbessern kann). Mit der zügigen Umsetzung eines digitalen Material- oder Produktpasses, wie auf europäischer und deutscher Ebene bereits diskutiert, könnte dieser Beitrag realisiert werden.

Design im Kontext des gesamten Kreislaufs betrachten:

Ein kreislaufgeeignetes Produktdesign allein reicht noch nicht aus, denn ob der Abfall am Ende wieder zu Rezyklaten verarbeitet werden kann, hängt auch maßgeblich von der Leistungsfähigkeit der Sammel- und Sortiersysteme ab. Deshalb ist es sinnvoll, das Design immer auch mit dem Blick zu entwerfen, wie hinterher der Abfall gesammelt und getrennt wird etc.

Kriterien und Standards:

Es braucht Kriterien und gültige Standards, die definieren, wann ein Produkt als kreislaufoptimiert gilt und wie ein Produkt- oder Verpackungsdesign gestaltet sein muss, damit es die mehrfache Integration der erzeugten Rezyklate in den Kreislauf erlaubt. Diese Kriterien und Standards müssen sich am Stand der Technik orientieren und dürfen sich nicht auf Qualität und Funktionalität auswirken.



Regelmäßige Überprüfung am Stand der Technik:

Die intensive Innovation und Entwicklung im Bereich der Abfall- und Recyclingtechnik kann und wird auch dazu führen, dass für heute nicht rezyklierfähige Produkte neue Kreislaufösungen entwickelt werden. Deshalb ist es wichtig, die Kriterien und Standards regelmäßig zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen.

Überprüfen von bestehenden Regelungen und Vorgaben:

Es gilt die regulatorischen Hürden zu überwinden, die den Rezyklateinsatz im Produkt- und Verpackungsdesign erschweren. So führen z. B. die Bestimmungen der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) dazu, dass – unter Einsatz der als geeignet bewerteten Aufbereitungsverfahren – für Lebensmittelverpackungen derzeit nur Rezyklat aus dem geschlossenen Pfandflaschenstrom genutzt werden darf. Sinnvoll wäre in diesem Zusammenhang die Entwicklung von Sicherheitsanforderungen und Qualitätsstandards für Rezyklate bestimmter Produktgruppen.



Schlussfolgerungen

für das Design for Circularity

Ein Produkt für den Kreislauf zu konzipieren, bedeutet nicht, dies nur recyclingfähig zu gestalten, sondern auch gezielt Rezyklate bei der Produktherstellung einzusetzen. Hersteller weisen auch in diesem Kontext immer wieder auf die Abhängigkeit von der Verfügbarkeit der Rezyklate. Solange kein qualitativ hochwertiges Material kontinuierlich zur Verfügung stehe, könne das auch nicht im Produkt- und Verpackungsdesign berücksichtigt werden.

Ein Produkt für den Kreislauf zu konzipieren, bedeutet nicht, dies nur recyclingfähig zu gestalten, sondern auch gezielt Rezyklate bei der Produktherstellung einzusetzen.

Damit das Design for Circularity sein richtiges Potenzial entfalten kann, sind zwei Entwicklungspfade denkbar, die sich nicht ausschließen, sondern eher gegenseitig verstärken:

- Wenn der Wandel, wie in den vorherigen Handlungsfeldern beschrieben, erfolgreich angestoßen und ein zirkuläres System etabliert wird, werden sich auch kreislauffähige Produktdesigns in breiter Masse durchsetzen. Zumindest sofern es dann einen Markt mit qualitativ hochwertigen, kontinuierlich verfügbaren und preislich konkurrenzfähigen Rezyklaten gibt.
- Wenn einige große Akteure im Markt bei ihren Produkten auf ein kreislauffähiges Design umstellen, wird der Markt sich daran voraussichtlich schnell orientieren und den genannten Entwicklungen im System folgen. Entscheidend ist hierfür allerdings, dass sich das Design for Circularity in genügend Produktgruppen durchgesetzt hat und sich die Kreislaufführung als ökologisches Ziel und wirtschaftliches Prinzip bei allen Akteuren der Wirtschaftskette etabliert hat.



Handlungsempfehlungen

Um die Ziele der Treibhausgasneutralität und eine Unabhängigkeit von fossilen Ressourcen zu erreichen, ist eine Transformation der gesamten deutschen bzw. europäischen und letztlich globalen Kunststoffwirtschaft erforderlich. Dieser Wandel wird nur durch erhebliche Anstrengungen in allen vier genannten Handlungsfeldern gelingen. Der Anspruch, Kunststoffe im Kreislauf zu führen, ist für einzelne Akteure oder Initiativen aufgrund komplexer Wertschöpfungsprozesse allerdings kaum allein zu erfüllen. Von besonderer Bedeutung sind deshalb nach Auffassung des VDI-Round Table vor allem übergreifende Maßnahmen, die einen systemischen Wandel vorantreiben. Den hier formulierten Handlungsempfehlungen liegen deshalb eine ganzheitliche und systemische Betrachtung zugrunde. Sie zielen nicht darauf ab, vorrangig einzelne Akteure zu adressieren, sondern Empfehlungen mit Blick auf Veränderungen des Gesamtsystems zu formulieren.



Handlungsempfehlung 1

Gemeinsame Plattform zur Gestaltung der Transformation einer Circular Economy für Kunststoffe

Der Paradigmenwechsel zur zirkulären Wertschöpfung, die Veränderung von Geschäftsmodellen und die Transformation ganzer Wirtschaftsbereiche erfordern nicht nur ein klares Bekenntnis aller Kreislaufbeteiligten, sondern auch ein ganz neues Ausmaß an Kooperation (vgl. Handlungsfeld 2). Klassischerweise sind die meisten Kreislaufstufen in eigenen Verbänden organisiert, die entsprechend das Interesse dieser Stufe vertreten. Zwar gibt es zahlreiche NGOs und Initiativen, die die zirkuläre Wertschöpfung über alle Kreislaufstufen hinweg vorantreiben, es haben sich auf der operativen Ebene aktuell aber noch keine kreislaufübergreifenden Kooperations- und Organisationsstrukturen für die Praxis etabliert. Hierfür bedarf es aus Sicht des VDI-Round Tables einer gemeinsamen Plattform, auf der alle Kreislaufstufen zusammen einen Transformationspfad für den Paradigmenwechsel der Kunststoffwirtschaft entwickeln. Neben einer gemeinsamen Zielformulierung sollte eine derartige Plattform aufeinander abgestimmte Maßnahmen und Kooperationsmodelle prüfen

und koordinieren sowie den Erfolg in der Umsetzung messen und bilanzieren. Welche Rolle eine Plattform hinsichtlich weiterer Aufgaben, z. B. bei der Politikberatung hinsichtlich der Lenkungsinstrumente (vgl. Handlungsfeld 3), bei gemeinsamen Kommunikationsaktivitäten, der Anforderungen an Daten im Kreislauf oder der Koordinierung kreislaufbezogener Standardisierung übernehmen kann, sollte in einem nächsten Schritt diskutiert werden.

Eine wesentliche Voraussetzung für den Betrieb der Plattform ist, dass sie über eine genügende Unabhängigkeit sowohl von den wirtschaftlichen Akteuren als auch von der Politik und den NGOs verfügt. Plattformen sind dann besonders erfolgreich, wenn die fachliche Expertise von größerer Bedeutung ist als die Vertretung unterschiedlicher Interessen. Bei der Ausgestaltung einer solchen Plattform sollten bereits etablierte, praktizierende Organisationsstrukturen zur ökologischen Transformation von Industrien auf Übertragbarkeit untersucht werden.



Handlungsempfehlung 2

Strukturen für die Kooperation von Verwertung, Rohstoffherstellung, Kunststoffherzeugung und OEM schaffen

Alle Kreislaufbeteiligten sind gehalten, zukunfts-fähige geschlossene Stoffkreisläufe zu generieren, ohne schädliche Einträge in die Umwelt zu erzeugen und unter Einsatz regenerativer Energien den Kreislauf zu schließen. Jeder Akteur kann und sollte innerhalb seiner Stufe Prozesse entsprechend optimieren, Forschung und Entwicklung vorantreiben und neue Technologien für die Implementierung der Kreislaufwirtschaft entwickeln (vgl. Handlungsfeld 2). Technologie-offenheit sollte dabei grundsätzlich das leitende Prinzip sein, jedoch unter Berücksichtigung und Offenlegung ökologischer Bewertungsmaßstäbe. Wichtig ist auch hier, dass Optimierungen innerhalb einer Stufe im Kontext des Gesamtsystems vorgenommen werden, damit keine gegenläu-

figen Entwicklungen und Lösungen entstehen. Neben dem Beitrag einzelner Stufen für die Kreislaufschließung ist für die Optimierung des Gesamtsystems vor allem die Zusammenarbeit zwischen Recycling, Rohstoffherstellung und Kunststoffherzeugung sowie Kunststoffverarbeitung und Hersteller der Endprodukte von zentraler Bedeutung (vgl. Handlungsfeld 2, Verwerter/Recycler). Die Substitution der Kunststoffneuware durch Rezyklate bringt neue Rollen, Aufgaben und Anforderungen an die Akteure hervor. Um Kreislaufücken zu vermeiden, sind diese Kreislaufstufen deshalb aufgefördert, Kooperationsmodelle zu entwickeln und gemeinsame Lösungen für alle kreislauf-relevanten Fragen zu finden.



Handlungsempfehlung 3

Intelligenten Mix aus ordnungspolitischen und ökonomischen Lenkungsinstrumenten prüfen und einführen

Der Markt allein wird nicht in der Lage sein, die Transformation der Kunststoffwirtschaft in der Intensität und Dringlichkeit voranzutreiben, die für eine Rohstoffwende erforderlich sind. Die Politik ist gefragt, hier einen ganzheitlichen Rahmen zu schaffen, der diesen Wandel durch regulatorische Vorgaben und ökonomische Anreize unterstützt und beschleunigt. Die im Kasten aufgeführten Handlungsfelder sollten durch verschiedene ordnungspolitische und ökonomische Lenkungsinstrumente adressiert werden.

Die in diesem Papier vorgestellten Lenkungs-instrumente und deren kriteriengeleitete Bewertung stellen einen Beitrag zur Debatte über mögliche Maßnahmen in Politik und Wirtschaft dar (vgl. Handlungsfeld 3, Kriterien). Der VDI-Round Table empfiehlt, hieran anzuknüpfen und die verschiedenen Ausgestaltungsmöglichkeiten genauer zu analysieren und zu überprüfen. Der Paradigmenwechsel wird sich nicht durch eine einzelne regulatorische Maßnahme vollziehen, sondern kann nur durch einen intelligenten Instrumentenmix erreicht werden, der alle oben genannten Handlungsfelder berücksichtigt.

Handlungsfelder:

- abfallvermeidende und kreislauf-fördernde Produktpolitik
- Level-Playing-Field für den Einsatz von hochwertigen Rezyklaten
- Prüfung und Anpassung kreislauf-hemmender Rechtsnormen sowie Entwicklung neuer Normen und Standards
- Förderung von Forschung und Entwicklung neuer Technologien
- Aus- und Weiterbildung der Kreislaufbeteiligten
- Befähigung der Verbraucherinnen und Verbraucher
- umweltfreundliche öffentliche Beschaffung

Die größte Lenkungswirkung wird durch die Einführung verbindlicher Einsatz- oder Substitutionsquoten erwartet, die ein Level-Playing-Field für Rezyklatmärkte schaffen. Die aktuelle politische Debatte in Deutschland fokussiert sich dabei sehr stark auf produktspezifische Rezyklat-Einsatzquoten. Auch die EU hat produktspezifische Quoten für verschiedene Produktbereiche im Zuge ihrer Klima- und Ressourcenschutzstrategie und des Aktionsplans für die Kreislaufwirtschaft ins Spiel gebracht. Wenig diskutiert wird bislang dagegen der Vorschlag einer polymerspezifischen Substi-

tutionsquote, obwohl diese Quote nach einer ersten kriteriengeleiteten Bewertung großes Potenzial entfalten könnte (vgl. Handlungsfeld 3, Lenkungsinstrumente). De facto würde diese Art von Quote den Einsatz von Kunststoffen aus fossilen Rohstoffen limitieren und wäre damit ein echter Umbruch. Der VDI-Round Table spricht sich deshalb dafür aus, die Wirkung einer Kombination verschiedener Substitutionsquoten und ökonomischer Lenkungsinstrumente anhand von Studien zu überprüfen und eine mögliche Ausgestaltung im Dialog mit allen Kreislaufbeteiligten zu diskutieren.



Handlungsempfehlung 4

Produkte durch einen ganzheitlichen Design-Ansatz konsequent für den Kreislauf konzipieren

Das Produktdesign wird seine volle Wirkung entfalten, sobald ein Level-Playing-Field für den Einsatz von Rezyklaten entstanden ist. Aus Sicht des VDI-Round Table gehört das Produktdesign dann zu den Schlüsselwerkzeugen, um den Kunststoffkreislauf zu schließen. Aus diesem Grund empfiehlt der VDI-Round Table, durch einen ganzheitlichen Design-Ansatz die Kreislauffähigkeit schon bei der Produktkonzeption mitzudenken. Dieser ganzheitliche Ansatz geht über die reine Recyclingfähigkeit hinaus, sodass Produkte mit dem Ziel entwickelt werden, Kreisläufe zu schließen (vgl. Handlungsfeld 4). Dieser Ansatz muss sich entsprechend auch in den Normen, Standards, der Aus- und Weiterbildung sowie im politischen Rahmen wiederfinden. Hier kommt außerdem dem OEM eine wichtige Rolle zu, da die Entscheidung für

den Einsatz von Rezyklaten bzw. Neuware insbesondere in der Konzeption und dem Design von Endprodukten getroffen wird. Auch die Rezyklierbarkeit hängt vom Produktdesign und den genutzten Materialien ab. Der VDI-Round Table unterstützt in Bezug auf das Produktdesign die Forderung nach einem europäischen Produktpass sowie die Überarbeitung der Ökodesign-Richtlinie, um nicht nur die Effizienz, sondern auch die Nachhaltigkeit der Produkte zu steigern. Ein ganzheitlicher Design-Ansatz fokussiert auch die absolute Verringerung der Inanspruchnahme von Ressourcen durch ihre effiziente Nutzung, aber auch Vermeidungsstrategien sowie die Verlängerung von Lebenszyklen durch z. B. Wiederverwendung oder Reparierbarkeit. Es muss ebenso das Ziel sein, Abfälle und Emissionen zu vermeiden.



Handlungsempfehlung 5

Ausbau und Stärkung der Forschung im Bereich eines ganzheitlichen Ansatzes

Der Weg zu einer zirkulären Kunststoffwirtschaft ist mit zahlreichen wissenschaftlichen, technischen und gesellschaftlichen Herausforderungen gepflastert. Der VDI-Round Table spricht sich dafür aus, den ganzheitlichen Ansatz und die Transformation des Gesamtsystems auch im Bereich der Forschung und Entwicklung stärker zu verfolgen, um datenbasierte Entscheidungshilfen für Politik und Wirtschaft zu erarbeiten. Als Forschungsgebiete seien beispielhaft genannt: Material- und Prozessinnovationen zur Steigerung der

Qualität von Rezyklaten, der Leistungsfähigkeit von Sortierprozessen, digitale Technologien zur Rückverfolgbarkeit von Produkten und Materialien im Kreislauf oder kreislauforientierte Geschäftsmodelle oder Produktinnovationen. Diese und weitere Themen sind Schritt für Schritt in der Forschung aufzugreifen und anschließend in die Curricula der Aus- und Weiterbildung in den Ingenieurwissenschaften, Naturwissenschaften, Betriebs- und Volkswirtschaften und vielen anderen Disziplinen einzubauen.

Quellenverzeichnis

- **acatech (2021a):** Kunststoffverpackungen im geschlossenen Kreislauf. Potenziale, Bedingungen, Herausforderungen. acatech/Circular Economy Initiative Deutschland/SYSTEMIQ (Hrsg.). <https://www.acatech.de/publikation/kunststoffverpackungen-im-geschlossenen-kreislauf-potenziale-bedingungen-herausforderungen/>
Zugegriffen am: 25.10.2022
- **acatech (2021b):** Circular Economy Roadmap für Deutschland. acatech/Circular Economy Initiative Deutschland/SYSTEMIQ (Hrsg.). <https://www.circular-economy-initiative.de/circular-economy-roadmap-fr-deutschland>
Zugegriffen am: 31.10.2022
- **AGVU/IK (2021):** Instrumente zur Steigerung des Rezyklatanteils in Kunststoffverpackungen. Arbeitsgemeinschaft Verpackung und Umwelt, IK Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e.V. (Hrsg.), Juni 2021. <https://www.agvu.de/de/instrumente-zur-steigerung-des-rezyklatanteils-in-kunststoffverpackungen-2627/>
Zugegriffen am: 25.10.2022
- **Bovensieben, G.; Fink, H.; Schnüch, P.; Rumpff, S.; Raimund, S. (2018):** Verpackungen im Fokus. Die Rolle von Circular Economy auf dem Weg zu mehr Nachhaltigkeit. PricewaterhouseCoopers GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft. <https://www.pwc.de/de/handel-und-konsumguter/pwc-studie-verpackungen-im-fokus-februar-2018-final.pdf>
Zugegriffen am: 25.10.2022
- **CEAP (2020):** Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft. Für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa. Brüssel, 11.3.2021. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-1aa75ed71a1.0016.02/DOC_1&format=PDF
Zugegriffen am: 25.10.2022
- **CEAP (2022):** Green Deal: New proposals to make sustainable products the norm and boost Europe's resource independence. Brüssel, 20.3.2022 https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en
Zugegriffen am: 31.10.2022
- **Conversio (2022):** Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland (2021). Kurzfassung der Studie, erstellt durch Conversio Market & Strategy GmbH. https://www.bkv-gmbh.de/files/bkv-neu/studien/Kurzfassung_Stoffstrombild_2021_13102022_1%20.pdf
Zugegriffen am: 25.10.2022
- **Ellen MacArthur Foundation (2019):** Enabling a circular economy for chemicals with the mass balance approach. <https://emf.thirdlight.com/link/f1photo-pemqs36-8xgjzx/%40/preview/1?o>
Zugegriffen am: 25.10.2022
- **Fraunhofer CCPE (2021):** Fraunhofer-Cluster of Excellence Circular Plastics Economy (CCPE): Recycling-Technologien für Kunststoffe https://www.ccpe.fraunhofer.de/content/dam/ccpe/de/dokumente/Fraunhofer_CCPE_Positionspapier_Recyclingtechnologien_DE.pdf
Zugegriffen am: 26.10.2022
- **Fraunhofer UMSICHT (2022):** Resources SAVED by recycling. Studie erstellt im Auftrag der ALBA Group. https://www.interzero.de/fileadmin/Nachhaltigkeit/Studien-und-Zertifikate/221019_Interzero_resources_SAVED_DE_Ansicht.pdf
Zugegriffen am: 25.10.2022
- **GKV (2021):** GKV mit VDMA, PlasticsEurope, BDE und bvse: Kunststoffe für Kreislaufwirtschaft und Klimaschutz <https://newsroom.kunststoffverpackungen.de/2021/10/28/positionspapier-kunststoffe-kreislaufwirtschaft-und-klimaschutz/>
Zugegriffen am: 26.10.2022

- **Hiebel, M.; Bertling, J.; Nühlen, J.; Pflaum, H.; Somborn-Schulz, A.; Franke, M.; Reh, K.; Kroop, S. (2017):** Circular Economy im Hinblick auf die chemische Industrie. Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Studie im Auftrag des Verbands der Chemischen Industrie e.V., Landesverband NRW.
<https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/publikationen/2017/zirkulaere-wirtschaft-fuer-chemische-industrie-kurzfassung.pdf>
Zugegriffen am: 25.10.2022
- **Kaza, S., Yao, L.C., Bhada-Tata, P., Van Woerden, F. (2018):** What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development. Weltbank.
<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>
Zugegriffen am: 25.10.2022
- **Orth, P., Bruder, J., Rink, M. (2022):** Kunststoffe im Kreislauf. Vom Recycling zur Rohstoffwende. Springer Vieweg.
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-37814-1>
Zugegriffen am: 25.10.2022
- **PlasticsEurope (2022):** Plastics – the Facts 2022: An analysis of European plastics production, demand and waste data. PlasticsEurope. Association of Plastics Manufacturers.
<https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022/>
Zugegriffen am: 25.10.2022
- **RESAG (2022):** UMK-Sonderarbeitsgruppe "Rezyklateinsatz stärken" (RESAG). Bericht an die Umweltministerkonferenz (UMK), Januar 2022
<https://mluk.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/RESAG-Bericht%202022-01-28.pdf>
Zugegriffen am 26.10.2022
- **Stapf, D. (2020):** Technical Assessment of Combined Mechanical and Chemical Recycling. Vortrag auf dem Dialog Forum Chemical Recycling (2020), Online, 13.10.2020.
<https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000124804>
Zugegriffen am: 25.10.2022
- **SYSTEMIQ/ PlasticsEurope (2022):** ReShaping Plastics: Pathways to a Circular, Climate Neutral Plastics System in Europe. April 2022.
<https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2022/04/SYSTEMIQ-ReShapingPlastics-April2022.pdf>
Zugegriffen am: 25.10.2022
- **UBA (2019):** Substitutionsquote. Ein realistischer Erfolgsmaßstab für die Kreislaufwirtschaft! Position der Ressourcenkommission am Umweltbundesamt (KRU). Juli 2019.
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/substitutionsquote-ein-realistischer>
Zugegriffen am: 25.10.2022
- **UBA (2022):** Überprüfung der Wirksamkeit des § 21 VerpackG und Entwicklung von Vorschlägen zur rechtlichen Weiterentwicklung Endbericht. Oktober 2022.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_118-2022_ueberpruefung_der_wirksamkeit_des_ss_21_verpackg_und_entwicklung_von_vorschlaegen_zur_rechtlichen_weiterentwicklung.pdf
Zugegriffen am: 10.11.2022
- **VCI (2020):** Branchenstrategie zirkuläre Wirtschaft. Branchenstrategie zur zirkulären Wirtschaft der deutschen chemischen Industrie, 11. März 2020. Verband der chemischen Industrie e.V.
<https://www.vci.de/ergaenzende-downloads/2020-03-11-branchenstrategie-zirkulaere-wirtschaft-vci.pdf>
Zugegriffen am: 25.10.2022
- **VDI (2020):** Kunststoffe und deren Verwertung – einige Aspekte. VDI-Statusreport.
<https://www.vdi.de/ueber-uns/presse/publikationen/details/vdi-statusreport-kunststoffe-und-deren-verwertung-einige-aspekte>
Zugegriffen am: 25.10.2022
- **WWF (2021):** WWF mit SYSTEMIQ: Verpackungswende jetzt! So gelingt der Wandel zu einer Kreislaufwirtschaft für Kunststoffe in Deutschland.
<https://www.wwf.de/themen-projekte/plastik/verpackungswende-jetzt>
Zugegriffen am: 25.10.2022

Glossar

■ **Circular Economy (Kreislaufwirtschaft):**

Die Circular Economy zielt darauf ab, Material- und Energiekreisläufe zu optimieren und Stoffe soweit wie ökologisch sinnvoll in Kreisläufen zu führen. Dadurch sollen nicht nur Ressourcen geschont und effizienter genutzt, sondern auch der Ausstoß von Treibhausgasen reduziert werden. Das bedeutet u. a., dass Materialien nach der Nutzung gesammelt, aufbereitet und als Rohstoffe wieder in die Produktion zurückgeführt werden sollen. Circular Economy und Kreislaufwirtschaft werden in diesem Papier synonym verwendet.

■ **Design for Circularity:**

Das Design for Circularity ist ein ganzheitlicher Design-Ansatz, der darauf abzielt, Produkte so zu gestalten, dass sie im Kreislauf geführt werden können. Materialien und Produkte müssen demnach nicht nur recycelbar, sondern auch rezyklierbar sein. Das Design for Circularity berücksichtigt den gesamten Lebenszyklus von Produkten, die konkreten Verwertungsmöglichkeiten nach Stand der Technik sowie die Einsatzmöglichkeiten des wiederverwerteten Materials. Mögliche Design-for-Circularity-Prinzipien umfassen u. a.: Rethink (Überdenken), Reduce (Vermeidung), Reuse (Wiederverwendung), Repair (Reparierbarkeit) und Recycle (Wiederverwertung).

■ **Design for Recycling:**

Das Design for Recycling zielt darauf ab, die Rückgewinnung der Materialien für eine weitere Nutzung zu unterstützen. Das bedeutet, schon bei der Konzeption und Herstellung wird die Recyclingfähigkeit des eingesetzten Materials berücksichtigt. Verschiedene Kriterien wie eingesetzte Materialien, Farben oder Zusatzstoffe wie Klebstoffe und Haftvermittler beeinflussen die Recyclingfähigkeit von Produkten.

■ **Downcycling:**

Downcycling bezeichnet die Wiederaufbereitung von Materialien, wobei jedoch nicht die ursprüngliche Qualität erhalten bleibt. Im Fall von Rezyklaten bedeutet Downcycling, dass die entstandenen Rezyklate in Anwendungen mit geringeren Anforderungen, z. B. Parkbänke, fließen. Trotzdem werden auch beim

Downcycling Rohstoffe auf fossiler Basis durch Rezyklate ersetzt. Es kann auch beim Downcycling ein weiterer Kreislauf möglich sein.

■ **End-of-Life:**

End-of-Life beschreibt die letzte Phase im Produktzyklus, wenn das Produkt nach der Nutzung und dem Gebrauch entsorgt wird. In einer linearen Wirtschaft endet die End-of-Life-Phase, wenn das Produkt als Abfall in die Natur entlassen wird. Bei einer zirkulären Wirtschaftsweise dagegen endet diese Phase, wenn der Abfall wiederverwertet wird und damit in den Lebenszyklus eines anderen Produkts übergeht.

■ **Fossiler Rohstoff:**

Rohstoffe, die aus einer primären Gewinnung bzw. Förderung stammen und zu den fossilen Kohlenstoffquellen gehören (Erdöl, Erdgas, Kohle).

■ **Grundstoff:**

Rohstoffe bzw. Rohmaterialien, die unbearbeitet oder nur wenig bearbeitet als Ausgangsmaterial für die Weiterverarbeitung oder als Endprodukt für den Verbrauch verwendet werden.

■ **Kunststoffneuware:**

Kunststoffprodukte, die dem Kunststoffverarbeiter qualitätsgesichert bereitgestellt werden, heute in der Regel auf Basis von fossilen Rohstoffen.

■ **Kunststoffwirtschaft:**

Gesamtheit aller Akteure entlang der Wertschöpfungskette, die Kunststoffe herstellen, verarbeiten oder Dienstleistungen zu Kunststoff(-produkten) anbieten. Im Zuge der Circular Economy umfasst das Gesamtsystem der Kunststoffwirtschaft Chemie und Kunststoffherzeuger, Kunststoffverarbeiter, OEM und Verwender, Handel, Verbraucherinnen und Verbraucher, Logistikunternehmen und Entsorgungsunternehmen sowie die Verwerter.

■ **Massenbilanzansatz:**

Verfahren, um den Anteil an defossilisierten Materialien im Endprodukt zu bestimmen.

- **Nachwachsende Rohstoffe:**
Organische Rohstoffe, die nicht als Nahrungs- oder Futtermittel Verwendung finden, sondern stofflich oder zur Erzeugung von Wärme, Strom oder Kraftstoffen zum Einsatz kommen.
- **Post Industrial Rezyklate (PIR):**
PIR oder auch Pre Consumer Rezyklate entstammen aus Produktionsrückständen industrieller Prozesse und fallen bei der Herstellung von Kunststoffprodukten an. Sie entstammen keiner Endprodukte.
- **Post Consumer Rezyklate (PCR):**
PCR sind Rezyklate, die aus Abfällen nach Gebrauch von Endprodukten privater Haushalte sowie gewerblicher und industrieller Verwendung stammen.
- **Recycelte Rohstoffe:**
Der Begriff recycelte Rohstoffe umfasst in diesem Papier alle Rohstoffe, die den Prozess der Wiederaufbereitung durchlaufen haben. Das umfasst mechanische Recyclingprozesse ebenso wie chemische Recyclingverfahren.
- **Recyclingfähigkeit:**
Fähigkeit eines Produkts bzw. seiner Bestandteile eine Wiederverwertung nach Sammlung, Sortierung und Trennung der Produktmaterialien zu ermöglichen. Zu den Eigenschaften, die eine hohe Recyclingfähigkeit gewährleisten, gehören z. B. Sortenreinheit oder leichte Trennbarkeit der eingesetzten Materialien.
- **Rezyklat:**
Rezyklate sind Rohstoffe, die als Ergebnis von Recyclingprozessen entstehen, mit dem Zweck fossile Ressourcen zu ersetzen.
- **Rezyklierbarkeit:**
Ein Produkt besitzt alle notwendigen Eigenschaften, um seine Bestandteile im Kreislauf zu führen. Die Recyclingfähigkeit ist dazu eine notwendige Voraussetzung. Der Begriff der Rezyklierbarkeit betont die Zielsetzung, Rezyklate aufzubereiten, die den Qualitätsanforderungen für die Substitution von Neuware gerecht werden, um Kreisläufe tatsächlich zu schließen.
- **Rohstoffwende:**
Die Rohstoffwende meint den Übergang von einer linearen hauptsächlich auf fossilen Rohstoffen basierenden Wirtschaftsweise zu einer Wirtschaftsweise, in der Stoffkreisläufe geschlossen und Rohstoffe eingespart bzw. durch nachwachsende Rohstoffe ersetzt werden. Ziel dabei ist es, z. B. den emissionsrelevanten Kohlenstoff und seine Verbindungen soweit wie möglich im Kreislauf zu führen, um langfristig den Einsatz fossiler Rohstoffe zu beenden.
- **Zirkularität:**
Eigenschaft von Produkten, dass alle in einem Produkt verwendeten Materialien mehrfach wiederverwertet und soweit wie möglich in nahezu geschlossenen Kreisläufen geführt werden können.
- **Zirkuläre Wertschöpfung:**
Die zirkuläre Wertschöpfung stellt ein wirtschaftliches System dar, das restaurativ und regenerativ arbeitet. Es ersetzt das End-of-Life-Konzept durch geschlossene Kreisläufe und vermeidet beziehungsweise verwertet Abfälle, indem es Materialien, Produkte, Systeme sowie Geschäftsmodelle entsprechend ganzheitlich gestaltet. Folglich sind Stoffstrom und Energiesystem nachhaltig, die Klima- und Umweltbelastungen minimal.

Fotos

Titel: Kuttelvaserova Stuchelova/Shutterstock.com

Vorwort: hcp-foto/VDI

Executive summary: Aleksej/Shutterstock.com

Seite 3: Mr_Mrs_Marcha/Shutterstock.com

Seite 6: J. Schicke/VDI

Seite 11: ximich_natali/stock.adobe.com

Seite 12: Alexander Raths/stock.adobe.com

Seite 13: RHJ/stock.adobe.com

Seite 15: H_Ko/Shutterstock.com

Seite 16: Cobalt/stock.adobe.com

Seite 19: Meaw_stocker/Shutterstock.com

Seite 20: amorn/stock.adobe.com

Seite 21: Alba_alioth/Shutterstock.com

Seite 25: Evgeniy Kalinovskiy/Shutterstock.com

Seite 27: BearFotos/Shutterstock.com

Seite 29: alexanderuhrin/stock.adobe.com

Seite 30: Juice Flair/Shutterstock.com

Seite 31: Chanchai phetdikhai/Shutterstock.com

Seite 32: laponpat maliwan/Shutterstock.com

Seite 34 oben: Elnur/Shutterstock.com

Seite 34 unten: SOLOTU/stock.adobe.com

Seite 35: Koonsiri/stock.adobe.com

Seite 41: photka/Shutterstock.com

Seite 42: DSD – Duales System Holding

Seite 46: digitalstock/stock.adobe.com

Seite 48: Pöppelmann GmbH & Co. KG

Seite 50: franconiaphoto/Shutterstock.com

Seite 52: raevas/Shutterstock.com

Seite 54: Yakobchuk Olena/stock.adobe.com

Seite 55: Allexxandar/Shutterstock.com

Seite 56: Gorodenkoff/Shutterstock.com

VDI als Gestalter der Zukunft

Seit mehr als 165 Jahren gibt der VDI wichtige Impulse für den technischen Fortschritt. Mit seiner einzigartigen Community und seiner enormen Vielfalt ist er Gestalter, Wissensmultiplikator, drittgrößter technischer Regelsetzer und Vermittler zwischen Technik und Wissenschaft, Wirtschaft und Politik. Er motiviert Menschen, die Grenzen des Möglichen zu verschieben, setzt Standards für nachhaltige Innovationen und leistet einen wichtigen Beitrag, um Fortschritt und Wohlstand in Deutschland zu sichern. Der VDI gestaltet die Welt von morgen – als Schnittstelle zwischen Ingenieurinnen und Ingenieuren, Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft. In seinem einzigartigen multidisziplinären Netzwerk mit mehr als 135.000 Mitgliedern bündelt er das Wissen und die Kompetenzen, die nötig sind, um den Weg in die Zukunft zu gestalten.

VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.
Politik und Gesellschaft
Tel. +49 30 275957-0
vdiberlin@vdi.de
www.vdi.de/politik

ISBN 978-3-949971-27-3 | E-ISBN 978-3-949971-28-0