

# Kunststoff- verpackungen im geschlossenen Kreislauf



Circular Economy  
Initiative  
Deutschland

Potenziale, Bedingungen,  
Herausforderungen

acatech/Circular Economy Initiative  
Deutschland/SYSTEMIQ (Hrsg.)



SYSTEMIQ

 acatech  
DEUTSCHE AKADEMIE DER  
TECHNIKWISSENSCHAFTEN





Circular Economy  
Initiative  
Deutschland

# Kunststoff- verpackungen im geschlossenen Kreislauf

Potenziale, Bedingungen,  
Herausforderungen

acatech/Circular Economy Initiative  
Deutschland/SYSTEMIQ (Hrsg.)



Circular Economy  
Initiative  
Deutschland

# Inhalt

<b>Zusammenfassung</b>	<b>5</b>
<b>Projekt</b>	<b>11</b>
<b>1 Einleitung: Relevanz der Circular Economy für Verpackungen</b>	<b>14</b>
<b>2 Die Arbeitsgruppe Verpackungen der Circular Economy Initiative Deutschland</b>	<b>17</b>
2.1 Vorstellung der Arbeitsgruppe	17
2.2 Selbstverständnis und Ziele der Arbeitsgruppe Verpackungen	19
2.3 Betrachtungsrahmen für die Arbeitsgruppe Verpackungen (Scope)	19
<b>3 Eine klimaneutrale Circular Economy für Verpackungen in Deutschland</b>	<b>21</b>
3.1 Der Status quo – wo stehen wir	21
3.1.1 Stoffstrombetrachtung	21
3.1.2 Politische Rahmenbedingungen	23
3.2 Bestehende Herausforderungen im Status quo	24
3.2.1 Fehlende Transparenz und mangelnde Kompatibilität in der gesamten Wertschöpfungskette	25
3.2.2 Lücken innerhalb einzelner Wertschöpfungsschritte	26
3.3 Das Zielbild – wo wollen wir hin	27
3.3.1 Hebel entlang der Wertschöpfungskette und Zirkularitätsstrategien	27
Exkurs: „Biokunststoff“ – Biobasierte und bioabbaubare Kunststoffe	31
Exkurs: Potenziale und Grenzen des werkstofflichen Recyclings für einen geschlossenen Kunststoff-Kreislauf	36
Exkurs: Chemisches Recycling	38
3.3.2 Szenario: Wie sähe eine zirkuläre Verpackungsindustrie 2030 aus?	40



<b>4 Den Kreislauf schließen anhand zweier Fallbeispiele: Waschmittel- und Käseverpackung</b>	<b>43</b>
4.1 Waschmittelverpackung (HDPE-Flasche)	43
4.1.1 Anforderungen an die Funktionalität einer Waschmittelflasche	43
4.1.2 Status quo	44
4.1.3 Zirkularitätsstrategien und Hebel für die Waschmittel- verpackung	45
4.2 Käseverpackung (PET-Schale)	46
4.2.1 Anforderung an die Funktionalität einer Käseverpackung	47
4.2.2 Status quo	48
4.2.3 Zirkularitätsstrategien und Hebel für die Käseverpackung	48
4.3 Systemische Ansätze	49
 Exkurs: Gedankenexperiment – eine zirkuläre Kunststoffverpackungsindustrie bis 2030	 52
<b>5 Handlungsempfehlungen</b>	<b>55</b>
5.1 Allgemein anerkannte Entscheidungshilfe für Verpackungs- alternativen schaffen	58
5.2 Abfall vermeiden	58
5.3 Design for Circularity and Sustainability umsetzen	59
5.4 Bessere und harmonisiertere Sammlung und Sortierung ermöglichen	60
5.5 Angebot an defossilierten Rohstoffquellen erhöhen	60
5.6 Nachfrage nach defossiliertem Material steigern	62
<b>6 Roadmap und Ausblick</b>	<b>64</b>
<b>Anhang</b>	<b>66</b>
A. Abkürzungsverzeichnis	66
B. Abbildungsverzeichnis	67
C. Tabellenverzeichnis	67
D. Hintergrund zur Circular Economy Initiative Deutschland	68
E. Grundlagen für die Zielbildentwicklung	70
F. Annahmen und Rechnungen für Gedankenexperiment 2030	77
G. Die Auswirkungen der Covid-19-Krise auf die Verpackungsindustrie	81
<b>Literatur</b>	<b>83</b>

# Zusammenfassung

Zwischen Oktober 2019 und Dezember 2020 hat die Arbeitsgruppe Verpackungen der *Circular Economy Initiative Deutschland* eine Roadmap erstellt mit dem Ziel, eine *Circular Economy für Kunststoffverpackungen* zu erreichen. **Die Mitglieder der Arbeitsgruppe sind Vertreterinnen und Vertreter aus akademischen Institutionen, führenden deutschen Unternehmen und zivilgesellschaftlichen Organisationen. Sie verfügen über ausgewiesene Erfahrungen im Bereich Verpackungen und decken damit die gesamte Wertschöpfungskette ab:** vom Verpackungsdesign über die Produktion und Nutzung bis hin zur Wiederverwendungs- beziehungsweise Wiederverwertungsinfrastruktur. Damit konnte die Arbeitsgruppe eine möglichst ganzheitliche Betrachtung des Themas gewährleisten, deren zentrale Ergebnisse in diesem Bericht vorgestellt werden. Er umfasst die Diskussion über Potenziale, Hürden und mögliche Zielkonflikte einer Circular Economy für Kunststoffverpackungen, die Skizzierung eines Zielbilds und die Ableitung von Handlungsempfehlungen für die zentralen Akteure. Damit unterstützen die Mitglieder die Initiierung und langfristige Verankerung der Circular Economy in Deutschland und darüber hinaus.

## Hintergrund – die Relevanz einer zirkulären Verpackungsindustrie

Verpackungen erfüllen wichtige Funktionen und sind daher nicht aus dem modernen Leben wegzudenken. Jedoch steigen mit zunehmendem Verpackungsverbrauch auch die daraus resultierenden Abfallmengen. Insbesondere **Kunststoffverpackungen** sind zu einem **gesellschaftlich, politisch und ökologisch hochrelevanten Thema** geworden, da Kunststoffe vermehrt als Plastikmüll in der Umwelt landen.<sup>1,2</sup> In Deutschland gibt es gut funktionierende Sammel-, Sortier- und Verwertungsstrukturen, sodass Verpackungsmüll nicht direkt in die Umwelt gelangt. Aber der Ressourcenverbrauch und das daraus resultierende Verpackungsmüllaufkommen steigen weiter an und erreichten im Jahr 2018 einen neuen Höchststand. Vor allem Kunststoffverpackungen stellen enorme Herausforderungen dar. In den letzten 20 Jahren hat sich die Menge an Kunststoffverpackungen in Deutschland von 1,6 Millionen Tonnen (1998) auf 3,2 Millionen Tonnen (2018) verdoppelt.<sup>3</sup> Die **werkstofflichen Verwertungs-**

**quoten** von Kunststoffverpackungen sind dagegen auch im „Recyclingland Deutschland“ **vergleichsweise niedrig** und liegen „nur“ bei 47 Prozent. Über die Hälfte (circa 53 Prozent) der erfassten Menge wird thermisch verwertet, also in Müllverbrennungs- beziehungsweise Ersatzbrennstoffanlagen verbrannt, oder gelangt in die Mitverbrennung, zum Beispiel in Zementwerken. **Nur 10,9 Prozent der verarbeiteten Kunststoffmengen in der Verpackungsindustrie sind Rezyklate.**<sup>4</sup>

Vor dem Hintergrund, dass das Verpackungs- und Abfallaufkommen in Deutschland hoch ist und weiter steigen wird, **bieten Circular-Economy-Ansätze Potenziale, um negative Umweltwirkungen zu reduzieren.** Doch auch hier gibt es keine pauschalen Lösungen, denn die Nachhaltigkeitsbewertung von Verpackungslösungen ist komplex, insbesondere durch die Wechselwirkungen von Verpackungen mit dem Packgut. Die **gesellschaftlichen und politischen Debatten** haben viele positive Bewegungen angestoßen, aber auch **Aktionismus** ausgelöst und **Profilierungsmöglichkeiten** eröffnet, die der Umwelt nicht immer dienlich sind. Daher ist es nun dringend geboten, eine **sachliche und fundierte Grundlage für die Debatte** zu schaffen, um die wirklich effektiven Maßnahmen priorisieren zu können und den Weg zu einer Kreislaufwirtschaft für Verpackungen in Deutschland zu ebnen – eine Kreislaufwirtschaft, die nicht in Konflikt mit anderen Nachhaltigkeitszielen, etwa dem Klimaschutz, steht.

## Wichtigste Ergebnisse der Arbeitsgruppe

### Identifizierte Herausforderungen

Die Herausforderungen bei der Realisierung von Circular-Economy-Ansätzen in der Verpackungsindustrie liegen **wegen fehlender Transparenz und mangelnder Kompatibilität** sowohl **innerhalb der einzelnen Wertschöpfungsschritte** als auch **innerhalb der gesamten Wertschöpfungskette.** Beispiele für die Herausforderungen in den einzelnen Wertschöpfungsschritten sind ein ungeeignetes Verpackungsdesign, das die Wiederverwendung beziehungsweise das Recycling der Verpackung unmöglich macht, der Konflikt zwischen höherwertiger Sortierqualität einerseits und schnellerem und günstigerem Sortierprozess andererseits sowie nicht zuletzt die hohen Fehlwurfquoten in

1 | Vgl. Jambeck et al. 2015.

2 | Vgl. Geyer et al. 2017.

3 | Vgl. Umweltbundesamt 2019.

4 | Vgl. Conversio 2020.





der Sammlung. Beispiele für Herausforderungen über alle Wertschöpfungsstufen hinweg sind die Vielfalt an Verpackungsdesigns, die nicht auf die bestehende Verwertungslandschaft abgestimmt sind, eine Marktlücke zwischen Nachfragegarantie nach Rezyklat<sup>5</sup> und der verfügbaren Menge in den entsprechenden Qualitäten sowie die länderübergreifenden Unterschiede in regulatorischen nationalen Zielvorgaben.

### Das Zielbild einer zirkulären Verpackungsindustrie

Ausgehend von den genannten Herausforderungen hat die Verpackungsindustrie im Jahr 2050 durch den Einsatz defossiliertes Materialien<sup>6</sup> möglichst geschlossene Materialkreisläufe geschaffen und zu einer erhöhten Materialproduktivität beigetragen (siehe Kapitel 3.3 zum Zielbild einer Circular Economy). In einer klimaneutralen Circular Economy werden Verpackungen nicht mehr als Wegwerfprodukte betrachtet. **Lösungsansätze werden ganzheitlich bewertet** und unterliegen entsprechend der Kreislaufwirtschaftshierarchie folgenden **wichtigen Grundsätzen**:

- Verpackungen zu **vermeiden hat oberste Priorität**, sofern dadurch nicht der ökologische Fußabdruck des Produkts zunimmt (zum Beispiel durch mehr Lebensmittelabfälle bei weniger/anderer Verpackung).
- Alle nicht vermeidbaren Verpackungen basieren auf einem effizienten und effektiven Ressourcenmanagement und sind damit **möglichst lange nutzbar, wiederverwendbar und hochwertig recycelbar**.
- Das Material- und Produktdesign ist konsequent so gestaltet, dass **keine toxischen Wirkungen** entlang der Wertschöpfungskette auftreten und die unbedenkliche Folgenutzung sichergestellt ist.
- Wo es sinnvoll und möglich ist, werden **Sekundärmaterialien oder Alternativen zu fossilbasiertem Primärmaterial** eingesetzt.
- Alle Circular-Economy-Maßnahmen unterliegen einer **Bewertung der Umweltwirkungen** im Sinne einer Lebenszyklusbetrachtung.

Modellergebnisse zeigen, dass sich **mittel- und langfristig erhebliche Mengen an Treibhausgasemissionen einsparen lassen**, wenn sowohl der Rezyklateinsatz aus der werkstofflichen Verwertung gesteigert wird als auch Produkte aus dem chemischen Recycling von Kunststoffabfällen eingesetzt und wiederverwendbare Verpackungen genutzt werden. Im Vergleich zum Business-as-Usual-Szenario könnte eine sinnvolle Steigerung des Rezyklateinsatzes aus dem **werkstofflichen Recycling auf 40 Prozent bis 2050 pro Jahr im Durchschnitt circa 1,9 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente (CO<sub>2</sub>e) einsparen, ein Anteil von 20 Prozent aus dem chemischen Recycling 1,2 Millionen Tonnen. Die verstärkte Nutzung wiederverwendbarer Verpackungssysteme könnte etwa eine Million Tonnen CO<sub>2</sub>e-Emissionen einsparen**. Gleichzeitig offenbaren aber die gleichen Modellergebnisse, dass ohne zusätzliche Maßnahmen sowohl die Klimaneutralität als auch die geschlossene Kreislaufführung selbst im Jahr 2050 noch deutlich verfehlt würden.

### Betrachtung zweier konkreter Fallbeispiele

Um die Erkenntnisse zu validieren und zu konkretisieren, wurden zwei exemplarische Fallbeispiele näher untersucht:

- Polyethylen(HDPE)-Flasche für Waschmittel
- Schale aus Polyethylenterephthalat (PET) für Käse

Neben der mengenmäßigen Relevanz bilden beide Beispiele unterschiedliche Gegebenheiten im Status quo ab, da sie sich sowohl im Verpackungsinhalt (Lebensmittel versus Reinigungsmittel) als auch im heutigen Verwertungsweg (weitgehend werkstoffliches Recycling versus Verbrennung) unterscheiden. Flaschen aus High-Density-Polyethylen (HDPE-Flaschen) gehören zu den Verpackungen, die europaweit schon am längsten systematisch gesammelt, sortiert und recycelt werden. Darüber hinaus ist das Flaschendesign bereits überwiegend auf gute Sortier- und Rezyklierbarkeit optimiert. Allerdings werden die resultierenden Rezyklate überwiegend dem Verpackungsmarkt entzogen und in anderen Verwendungen, zum Beispiel in Abwasserrohren, eingesetzt und gehen damit für weitere Nutzungszyklen verloren. Der Anwendungsfall Polyethylenterephthalat(PET)-Schale für Käseverpackung ist durch die hohen lebensmitteltechnischen Anfor-

5 | Material, das durch einen Herstellungsprozess aus zurückgewonnenem (aufgearbeitetem) Material wiederaufbereitet und zu einem Endprodukt oder einer Komponente für den Einbau in ein Produkt verarbeitet wurde. Unter zurückgewonnenen Materialien werden in diesem Bericht Post-Consumer-Materialien verstanden. Das sind Materialien, die von Haushalten oder von gewerblichen, industriellen und institutionellen Einrichtungen in ihrer Rolle als Endverbraucher eines Produkts erzeugt werden und nicht mehr für den vorgesehenen Zweck verwendet werden können. Die Fokussierung auf Post-Consumer-Rezyklat ist dadurch begründet, dass der Zweck des Schließens von Ressourcenkreisläufen in einer Circular Economy auf den Kreislauf zwischen Post-Consumer und Produktion ausgerichtet ist.

6 | Der Begriff „defossiliertes Material“ wird in diesem Bericht als Sammelbegriff für biobasiertes Neumaterial und Rezyklat genutzt. Dazu zählen alle Materialalternativen zu erdölbasiertem Neumaterial. Trotz der Energieaufwände für die Konversion, für die derzeit fossile Energieträger genutzt werden, wurde diese Bezeichnung mit Blick darauf gewählt, dass der Strommix im Jahr 2050 zu 100 Prozent aus erneuerbaren Quellen stammt.



derungen vergleichsweise komplex. Anders als bei der Polyethylenflasche ist bisher kaum eine Käseverpackung recyclingfähig designt, da insbesondere der Zielkonflikt zwischen Lebensmittelhaltbarkeit und recyclingfähigem Verpackungsdesign eine große Herausforderung darstellt.

Aus den Fallbeispielen lässt sich ableiten: Bei Verpackungen wurde in den letzten Jahren **viel an der Recyclingfähigkeit gearbeitet** – dennoch besteht an vielen Stellen noch Optimierungspotenzial. Zudem wird **in Verpackungen auf relativ geringem Niveau Rezyklat eingesetzt**, weil derzeit die notwendigen Materialqualitäten nicht in den benötigten Mengen verfügbar sind. Ein Grund dafür ist, dass es nicht genügend hochqualitative Sortier- und Recyclingkapazitäten gibt. **Die Investitionen sind für Recycler ökonomisch nicht attraktiv**, da der Mischpreis, den sie für hoch- und minderwertige Rezyklate erzielen, zuzüglich der Beteiligungsgebühr der Dualen Systeme nicht zur Finanzierung ausreicht. Außerdem werden die Investitionen als risikoreich angesehen, da der Preis für Neumaterial als Alternative zum Rezyklat zu niedrig ist und die Selbstverpflichtungen der Konsumgüterhersteller zukünftig mehr Rezyklat einzusetzen keine ausreichende Garantie darstellen. Ein weiterer Grund für den geringen Rezyklateinsatz ist, dass das einzige von der **europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA)** zugelassene Rezyklat für Lebensmittelverpackungen, derzeit das Polyethylenterephthalat (PET), aus dem Einwegpfandsystem stammt. Weiterführende Circular-Economy-Ansätze existieren für **einzelne Produktbeispiele** – zum Beispiel den Verkauf **ohne Verpackungen beziehungsweise in Mehrwegverpackungen**. Bei Waschmitteln und Körperpflegemitteln gibt es beispielsweise feste Hochkonzentrate, die ohne oder nahezu ohne Verpackung auskommen. Projekte, die einen systemischen Ansatz und die Unterstützung einer kritischen Masse erfordern, beispielsweise standardisierte Mehrwegsysteme für Lebensmittel, befinden sich derzeit allenfalls in der Konzeptionsphase.<sup>7,8</sup>

## Handlungsempfehlungen

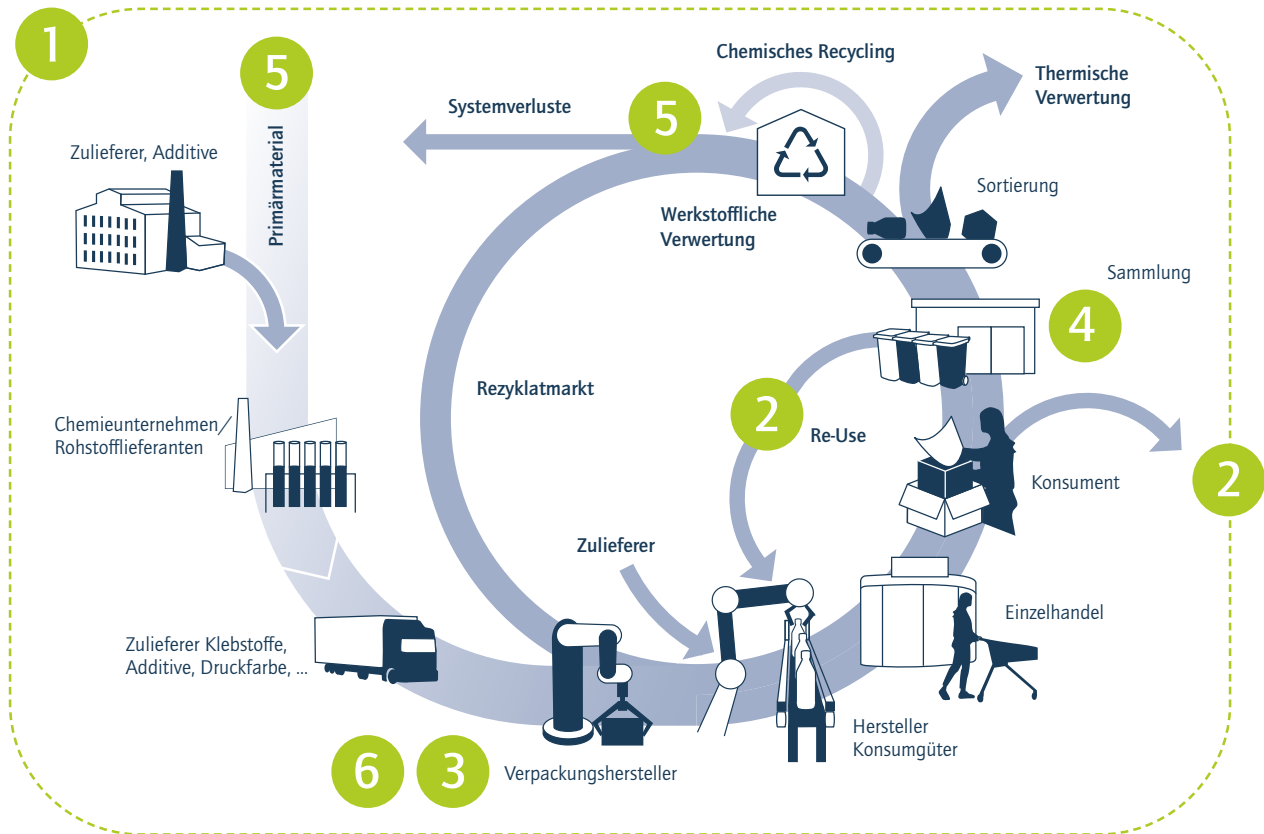
Damit die Verpackungsindustrie zu einem System transformiert wird, das auf zirkulärer Wertschöpfung basiert, müssen Maßnahmen umgesetzt werden, die entlang der gesamten Wertschöpfungskette greifen. Die Arbeitsgruppe hat sechs Ansatzpunkte identifiziert (siehe Abbildung 1):

1. Vergleichbarkeit durch eine **allgemein anerkannte Entscheidungshilfe herstellen**,
2. konkrete und verbindliche **Ziele setzen, um Verpackungen und Verpackungsabfälle zu vermeiden**,
3. **Design for Circularity and Sustainability** durch eine EU-weite Harmonisierung von Verpackungsmaterialien und entsprechende ökonomische Anreize umsetzen,
4. die **Sammel- und Sortierinfrastruktur** mit Trennung nach Materialien und unter Nutzung neuer digitaler Möglichkeiten vereinheitlichen,
5. die Quellen für **defossilierte Rohstoffe erweitern** durch Modernisierung bestehender Recyclinginfrastruktur sowie Weiterentwicklung von Recyclingtechnologien,
6. die **Nachfrage nach defossiliertem Material** durch weitere von der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) genehmigte Rezyklateinsatzmöglichkeiten, durch Recycling- und Rezyklatstandards und entsprechende ökonomische Anreize stärken.

Die Arbeitsgruppe Verpackungen der *Circular Economy Initiative Deutschland* (CEID) ist sich einig, dass eine **zirkuläre Verpackungsindustrie europäisch** gedacht werden muss. Die im Folgenden detailliert dargelegten Handlungsempfehlungen begrenzen sich daher nicht auf Deutschland, sondern zeigen auch auf, welche Impulse Deutschland als zentraler Akteur der Debatte für Europa setzen sollte.

7 | Vgl. Circolution s. a.

8 | Vgl. pacocon s. a.



- |   |   |
|---|---|
| 1 Entscheidungshilfe für Verpackungsalternativen schaffen | 4 Bessere und harmonisiertere Sammlung und Sortierung ermöglichen |
| 2 Verpackungen und Verpackungsabfälle vermeiden           | 5 Angebot an defossilierten Rohstoffquellen erhöhen               |
| 3 Design for Circularity and Sustainability umsetzen      | 6 Nachfrage nach defossiliertem Material steigern                 |

Abbildung 1: Ansatzpunkte für Circular-Economy-Maßnahmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Verpackungsindustrie (Quelle: eigene Darstellung)

## 1. Allgemein anerkannte Entscheidungshilfe für Verpackungsalternativen schaffen

Aufgrund der im Bericht näher ausgeführten **Zielkonflikte (Trade-offs)** zwischen verschiedenen Nachhaltigkeitszielen und verschiedenen Verpackungsalternativen kann nicht pauschal bestimmt werden, was die „nachhaltigste“ Verpackungsalternative ist. Die Frage nach der besten Verpackungsalternative für ein Produkt ist demnach immer eine **Einzelfallentscheidung**, weil die Antwort von verschiedensten Produkt-, Prozess- und Marktfaktoren abhängt (zum Beispiel von den Anforderungen des Packguts, den Transportwegen, der Anzahl der möglichen Wiederverwendungen oder der in der Praxis vorhandenen Verwertungsinfrastruktur). Um Unternehmen in der Entscheidung

zu unterstützen, welches die beste Verpackungsalternative für ihr Produkt ist, sind jedoch **Einzelfallbewertungen nicht praxistauglich**. Erstens müsste für alle potenziellen Verpackungstypen (und deren potenzielle Infrastruktur) eine Ökobilanzierung durchgeführt werden. Zweitens können die ökologischen Potenziale systemischer Veränderungen nur sehr begrenzt in einer Einzelfallbetrachtung abgebildet werden. Daher ist **Forschungsförderung notwendig, um eine ganzheitliche und in der Praxis anwendbare Entscheidungshilfe zu entwickeln**.

## 2. Abfall vermeiden

In der Vergangenheit konnten die Effizienzgewinne im Verpackungsdesign die ständig wachsende Menge der Kunststoff-

verpackungsabfälle nicht mehr kompensieren. Das oberste Gebot des Verpackungsgesetzes (siehe § 1 Abfallwirtschaftliche Ziele), die **Vermeidung von Verpackungen und Verpackungsabfällen**, wird demnach seit Jahren verfehlt und muss in Zukunft prioritär beachtet und möglichst eingehalten werden. Dafür bedarf es eines Konzepts mit **konkreten Zielen, Maßnahmen, ökonomischen Anreizsystemen und Zeitvorgaben**. In ein solches Konzept könnten auch **unabhängige Kontrollinstanzen** einbezogen werden. Ein weiterer Schritt, um Verpackungsabfälle zu vermeiden, ist der Ausbau von Möglichkeiten zur Weiterverwendung von Verpackungen. **Massentaugliche Re-Use-Konzepte**, die ökologisch vorteilhaft und ökonomisch tragbar sind, gilt es weiterzuentwickeln und zu testen. Die Politik sollte hier einen entsprechenden Beitrag leisten, indem sie beispielsweise **Dialogplattformen anbietet** und ihre **Start-up-Förderung** in diesem Bereich stärkt.

### 3. Design for Circularity and Sustainability umsetzen

Ein Haupthindernis für die Kreislaufschließung ist, dass die Recyclingfähigkeit von Verpackungen noch zu wenig berücksichtigt wird. Hierzu wurde mit **Paragraph 21 im Verpackungsgesetz**<sup>9</sup> ein wichtiger Hebel eingeführt: **Beteiligungsentgelte** sollen sowohl die Recyclingfähigkeit als auch den Einsatz defossilierter Alternativen zu Kunststoffen belohnen. Für eine tatsächliche Wirksamkeit dieses ökonomischen Anreizes bedürfte es jedoch **konkreter Mindestvorgaben**, wie sich ein solcher Bonus auf die Beteiligungsentgelte auswirken müsste. Solche Bonusanreize sollten zudem auch sinnvolle Vermeidungsansätze wie zum Beispiel Re-Use-Systeme einschließen. Des Weiteren bestehen offene Fragen bei der Finanzierung; eine Option wäre die **Einrichtung eines von privaten und öffentlichen Akteuren finanzierten Fonds**. Insgesamt gilt es, die Vielzahl an Verpackungsmaterialien und Materialkombinationen auf dem Markt zu reduzieren. Dafür sollten **Mindeststandards für die EU-weite Harmonisierung von Verpackungsmaterialien und deren Komponenten** festgelegt werden. Die Umsetzung der Mindestanforderungen an Verpackungen, um die Stoffströme zu harmonisieren, könnte ebenfalls über die Beteiligungsentgelte gesteuert werden. Insgesamt müssen die Bewertungskriterien für die Festsetzung von **Zu- und Abschlägen bei Lizenzen** transparent sein. Dafür ist eine **Systematik zu entwickeln**, die auch nach Bedarf, aber unter Wahrung bereits vereinbarter Entgelte angepasst werden kann. Wichtig ist, dass die Maßnahmen technologieoffen blei-

ben; eine zu starre Harmonisierung darf beispielsweise den Einsatz eines innovativen ökologischen und ökonomischen Kunststoffmaterials nicht ausschließen.

### 4. Bessere und harmonisierte Sammlung und Sortierung ermöglichen

Trotz verstärkter Bemühungen, das Duale System bekannter und verständlicher zu machen, ist die **Fehlwurfquote der Post-Consumer-Verpackungsabfälle hoch**. Das **mindert** zum einen die **Rezyklatqualität**, zum anderen gehen dem Dualen System **erhebliche Mengenströme verloren**, die potenziell recyclingfähig wären, aber durch die Entsorgung im Restmüll verbrannt werden. Die Sortierung in Haushalten sollte hierzulande zukünftig vollständig **nach Materialien** statt nach der Finanzierung der Entsorgung erfolgen. Außerdem sollten **moderne Sortiertechnologien**, beispielsweise Markertechnologien oder Technologien basierend auf Künstlicher Intelligenz, verstärkt weiterentwickelt und eingesetzt werden. Dies geschieht derzeit aufgrund fehlender Rendite nur zögerlich. Ferner sollten politische Instrumente wie die verstärkte Verankerung von Circular-Economy-Grundsätzen in der **Bildung** forciert und **Kennzeichnungspflichten zur Verbraucherinformation** oder die **Ausweitung der Pfandpflicht** auf weitere Produktgruppen evaluiert und entsprechend implementiert werden.

### 5. Angebot an defossilierten Rohstoffquellen erhöhen

Signifikante **Investitionen in Recyclingtechnologie und -infrastruktur** sind notwendig, um bestehende **Anlagen zu modernisieren und aufzurüsten** sowie die **erforderlichen Kapazitäten aufzubauen**. Zudem bedarf es weiterer Forschung, welche Materialien sich besonders für die Kreislaufführung eignen und wie die **Zyklenzahl im werkstofflichen Recycling** erhöht werden kann. Dennoch müssen in einem geschlossenen Kreislaufmodell Material- und Qualitätsverluste im werkstofflichen Recycling durch **defossilierte Kunststoffe mit Neuqualität** ausgeglichen werden. **Chemisches Recycling und biobasierte Kunststoffe** können hier eine Lösung sein, wenn sie gegenüber fossilbasierter Neuware ökologisch sinnvoll sind. Um dies sicherzustellen, müssen Energiebilanzen erstellt, Emissionen geprüft, Gesundheitsrisiken analysiert und die Umweltbilanz im industriellen Maßstab gesehen werden. Angenommen, dass die chemische Industrie ein zukünftiges Feedstock-Problem zu lösen hat, und

9 | Inverkehrbringer von Verpackungen haben eine Lizenzierungspflicht bei einem Dualen System. Bisher wurden die Lizenzentgelte insbesondere nach Materialart und Masse festgelegt. Paragraph 21 im Verpackungsgesetz regelt nun, dass auch ökologische Aspekte die Höhe der Lizenzentgelte mitbestimmen sollen. So sollen Anreize für recyclingfähiges Verpackungsdesign sowie die Verwendung von Rezyklaten und nachwachsenden Rohstoffen geschaffen werden.



anerkennt, dass international mit Hochdruck an skalierbaren Verfahren des chemischen Recyclings gearbeitet wird, sollte Deutschland nicht nur eine beobachtende Rolle einnehmen. Vielmehr könnte Deutschland innovativ vorangehen und den **Weg zu einem klimaneutralen chemischen Recycling** weisen. Um besser verstehen zu können, wofür und in welchen Kapazitäten chemisches Rezyklat und biobasierte Neuware notwendig sind, gilt es zu erforschen, wie ein **ökologisch optimaler und technisch sinnvoller defossiliertes Materialmix** aussieht. Damit anwendungsnahe Forschung zu diesen Themen betrieben werden kann und beispielsweise ganzheitliche Nachhaltigkeitsanalysen durchgeführt werden können, könnte neben reiner Forschungsförderung auch ein **Reallabor**<sup>10</sup> initiiert werden.

## 6. Nachfrage nach defossiliertem Material steigern

Defossiliertes Material steht im preislichen Wettbewerb zu Neuware. Deswegen sind – gerade in Zeiten niedriger Ölpreise – **ökonomische Anreize notwendig**, um den Einsatz von defossiliertem Material zu steigern und eine stabile Nachfrage zu schaffen. Die Verteuerung von fossilbasierter Neuware kann durch eine allgemeine ambitionierte **CO<sub>2</sub>-Abgabe** sowie die Vergünstigung der defossilierten Alternativen durch ein angemessenes **Bonus-system bei den Beteiligungsentgelten** gesteuert werden (siehe dazu Exkurs Gedankenexperiment). Auch festgelegte **Mindestanteile an Post-Consumer-Rezyklat** würden dazu beitragen, die Nachfrage nach Rezyklaten zu stabilisieren, und den Recyclern damit Investitionssicherheit geben. Eine solche Quote muss schrittweise eingeführt und auf die verfügbaren Rezyklatmen-

gen in den entsprechenden Qualitäten abgestimmt werden. Zudem gibt es bei einem Großteil der Primärverpackungen regulatorische Hürden für den Rezyklateinsatz. Nach Anforderungen der **Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA)** darf für Lebensmittelverpackungen derzeit nur Rezyklat aus dem geschlossenen Pfandflaschenstrom genutzt werden. Eine Abdrift von Sekundärmaterial aus einem funktionierenden Kreislauf in Verpackungen, für die es derzeit keine Recyclingoptionen gibt, gilt es künftig zu vermeiden. Zudem sollten für die Zukunft Mechanismen und Strategien ausgearbeitet werden, wie **weitere Rezyklate als Sekundärrohstoff für den Lebensmittelkontakt zugelassen** werden können. Ferner sollten EU-weit geltende **Sicherheitsanforderungen und -standards für Rezyklate** festgelegt werden, um deren Verwendung zu vereinfachen. Sie sollen gewährleisten, dass Rezyklate stets in einer für die jeweilige Produktgruppe spezifischen Qualität zum Einsatz kommen und entsprechend produziert werden. Klar definierte Standards würden außerdem dazu beitragen, die Nachfrage planbarer zu gestalten, und damit sicherstellen, dass ausreichend Rezyklat in der jeweiligen Qualität zur Verfügung steht.

Mit diesem Bericht hoffen die Mitglieder der Arbeitsgruppe Verpackungen der *Circular Economy Initiative Deutschland*, einen Beitrag zum Diskurs zugunsten einer Circular Economy für Verpackungen zu leisten. Die Transformation steht noch am Anfang und ist auf weiteren kollaborativen Austausch angewiesen. Nun liegt es an allen beteiligten Akteuren aus Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft, entschlossen die hier aufgezeigten Handlungsempfehlungen umzusetzen.

10 | Reallabore sind zeitlich begrenzte Testräume zur Erprobung von Innovationen unter realen Bedingungen. Sie sind deshalb notwendig, da bestimmte Technologien und Geschäftsmodelle mit dem bestehenden Rechts- und Regulierungsrahmen nur bedingt vereinbar sind und deswegen Freiräume geschaffen werden müssen. Neben der Erprobung nachhaltiger Technologien und Geschäftsmodelle setzt auf diese Weise auch früh ein regulatorisches Lernen zu Prüfverfahren und Zulassungen sowie den zugehörigen Standards und Normen ein. Notwendige regulatorische Anpassungen, aber auch Zulassungsverfahren können so beschleunigt und die zeitnahe Einführung neuer Technologien und Geschäftsmodelle durch den Abbau von Markthürden ermöglicht werden. Zudem kann ein solcher Testraum auch dazu dienen, Wissenschaft, Wirtschaft und Zivilgesellschaft in einen produktiven Austausch miteinander zu bringen, um beispielsweise Akzeptanzfragen zu klären.

# Projekt

## Herausgeber

- acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
- Geschäftsstelle Circular Economy Initiative Deutschland (CEID)
- SYSTEMIQ Ltd.

## Leitung der Arbeitsgruppe

- Prof. Dr. Peter Elsner, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT)/Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- Prof. Dr. Thomas Müller-Kirschbaum, Henkel

## Mitglieder der Arbeitsgruppe

- Peter Désilets, Pacoon
- Dr. Ralph Detsch, Siegwerk
- Prof. Dr. Christina Dornack, Technische Universität Dresden
- Josef Ferber, Hochland
- Prof. Dr. Claudia Fleck, Technische Universität Berlin
- Prof. Dr. Magnus Fröhling, Technische Universität München (TUM)
- Karl Hagspiel, Alpla
- Prof. Dr. Rüdiger Hahn, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf (HHU)
- Christian Haupts, Recenso
- Dr. Christoph Hoffmann, Alpla
- Dr. Péter Krüger, Covestro
- Dr. Marko Lange, SAP
- Dr. Thorsten Leopold, Henkel

- Michael Löscher, Schwarz-Gruppe
- Peter Niedersüß, Borealis
- Tom Ohlendorf, WWF
- Jutta Pattberg, Pacoon
- Dr. Manfred Renner, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT)
- Prof. Dr. Alois K. Schlarb, Technische Universität Kaiserslautern
- Dr. Michael Schmidt, Hochland
- Dr. Hartmut Siebert, Clariant
- Dr. Bettina A. Siggelkow, Clariant
- Simon Stadelmann, Alpla
- Julian Thielen, Interseroh
- Dr. Henning Wilts, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie

## Inhaltliche Unterstützung der Arbeitsgruppe

- Dr. Marina Beermann, WWF
- Michael Dieterle, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT)
- Nicholas Ecke, Technische Universität Kaiserslautern
- Dr. Susanne Kadner, Leitung CEID/acatech Geschäftsstelle
- Dr. Jörn Kobus, SYSTEMIQ
- Dr. Lars Krause, nova-Institut für politische und ökologische Innovation
- Roman Maletz, Technische Universität Dresden
- Alina Marm, Siegwerk
- Elisa Seiler, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT)
- Katharina Schweitzer, CEID/acatech Geschäftsstelle
- Ronja Wolf, Siegwerk



## Koordination und Redaktion

- Katharina Schweitzer, CEID/acatech Geschäftsstelle
- Ronja Wolf, SYSTEMIQ
- Dr. Jörn Kobus, SYSTEMIQ
- Dominik Obeth, CEID/acatech Geschäftsstelle
- Yvonne Turzer, CEID/acatech Geschäftsstelle
- Dr. Susanne Kadner, Leitung CEID/acatech Geschäftsstelle

## Externe Reviewer

- Dr.-Ing. Alexander Feil, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen
- Benedikt Kauertz, Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg
- Kurt Schüler, Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung

## Projektgruppe zur Taskforce „Chemisches Recycling“

### Moderation

- Dr. Manfred Renner, Fraunhofer-Institut für Umwelt, Sicherheits- und Energietechnik
- Dr. Henning Wilts, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie

### Mitglieder

- Dr. Ralph Detsch, Siegwerk
- Christian Haupts, Recenso
- Dr. Lars Krause, nova-Institut für politische und ökologische Innovation
- Elisa Seiler, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT)
- Dr. Hartmut Siebert, Clariant
- Dr. Bettina A. Siggelkow, Clariant

## Projektgruppe zur Taskforce „Werkstoffliches Recycling“

### Moderation

- Prof. Dr. Thomas Müller-Kirschbaum, Henkel
- Prof. Dr. Alois K. Schlarb, Technische Universität Kaiserslautern

### Mitglieder

- Michael Dieterle, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT)
- Peter Niedersüß, Borealis
- Elisa Seiler, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT)
- Dr. Hartmut Siebert, Clariant
- Simon Stadelmann, Alpla

## Projektgruppe zur Taskforce „Die Verpackungsindustrie in der Corona-Krise“

### Moderation

- Peter Niedersüß, Borealis

### Mitglieder

- Roman Maletz, Technische Universität Dresden
- Prof. Dr. Thomas Müller-Kirschbaum, Henkel

## Projektgruppe zur Taskforce „Gedankenexperiment 2030“

### Moderation

- Prof. Dr. Magnus Fröhling, Technische Universität München (TUM)
- Prof. Dr. Thomas Müller-Kirschbaum, Henkel

### Mitglieder

- Dr. Ralph Detsch, Siegwark
- Prof. Dr. Peter Elsner, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT)/Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- Svenja Klose, Technische Universität München (TUM)
- Roman Maletz, Technische Universität Dresden
- Dr. Manfred Renner, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik

- Elisa Seiler, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT)
- Dr. Henning Wilts, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie

### Projektlaufzeit

März 2019 – Februar 2021

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 033R215 gefördert.



Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.



# 1 Einleitung: Relevanz der Circular Economy für Verpackungen

Verpackungen erfüllen wichtige Funktionen und sind daher nicht aus dem modernen Leben wegzudenken: Sie sorgen für Hygiene, Sicherheit und längere Haltbarkeit von Produkten, schützen das Packgut vor äußeren Einflüssen und ermöglichen einen sicheren Transport sowie eine sichere Nutzung der Produkte. Zudem bieten Verpackungen Platz für notwendige Verbraucherinformationen und erfüllen eine Marketingfunktion.<sup>11</sup>

Verpackungen können daher eine positive Rolle für die Erreichung der Ziele für nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen<sup>12</sup> spielen. Sie verlängern beispielsweise die Haltbarkeit von Lebensmitteln und können so zum Ziel „Kein Hunger“ (Ziel 2) beitragen. Indem Verpackungen ihr Produkt vor Verunreinigungen schützen, tragen sie aber auch zum Ziel „Gesundheit und Wohlergehen“ (Ziel 3) bei. Ein kritischer Aspekt von Verpackungen ist jedoch: Wenn sie nicht sachgemäß gehandhabt werden, bergen sie auch Risiken für ebenjene Ziele, beispielsweise für das Leben unter Wasser (Nachhaltigkeitsziel 14).

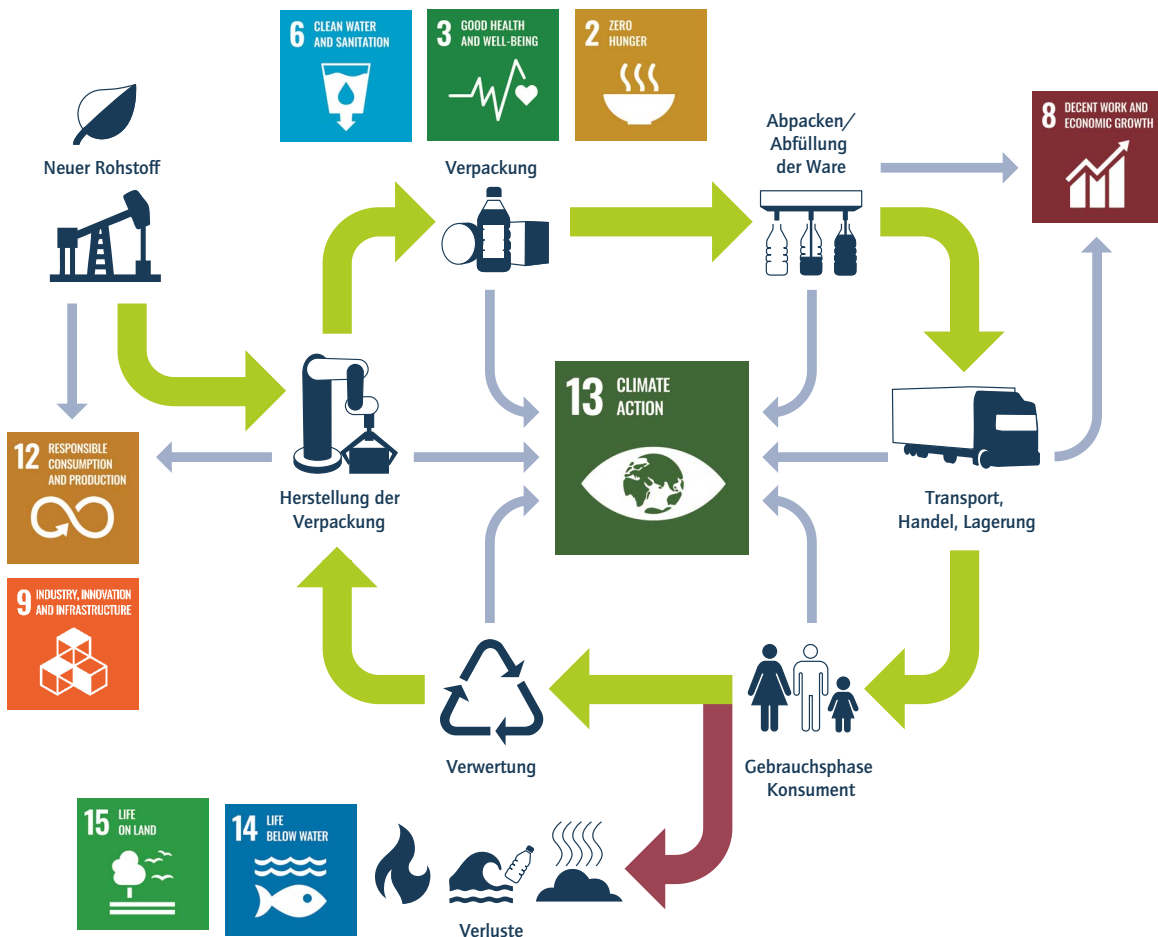


Abbildung 2: Bedeutung von Verpackungen für die Ziele nachhaltiger Entwicklung der Vereinten Nationen (Quelle: eigene Darstellung)

11 | Vgl. Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH/Denkstatt 2018.

12 | Die 17 Ziele für eine nachhaltige Entwicklung sind politische Ziele der Vereinten Nationen, die dazu dienen sollen, weltweit eine nachhaltige Entwicklung auf wirtschaftlicher, sozialer und ökologischer Ebene sicherzustellen. Sie traten am 1. Januar 2016 in Kraft und sollten bis 2030 erreicht sein.

**Der rasant zunehmende Verbrauch von Verpackungen und die daraus resultierenden Abfallmengen sind ein Problem.** Aufgrund ihrer vielen Vorteile fallen Verpackungen für Lebensmittel und Konsumgüter in großem Maßstab an. Sowohl deutschland- als auch europa- und weltweit steigt der Verbrauch von Verpackungen stetig.<sup>13, 14, 15, 16</sup> In Deutschland resultiert dieser Anstieg vor allem aus dem allgemeinen Wirtschaftswachstum, aber auch der boomende Onlinehandel sowie der Trend zu kleineren Haushalten, zu mehr Fertiggerichten und To-go-Lebensmitteln spielen eine Rolle.<sup>17, 18, 19</sup> Dabei sind Verpackungen größtenteils auf Einmalnutzung mit einer sehr kurzen Nutzungsdauer ausgelegt; das heißt, Verpackungsmaterial wird innerhalb kürzester Zeit zu Abfall.

**Insbesondere Kunststoffverpackungen sind zu einem gesellschaftlich, politisch und ökologisch hochrelevanten Thema geworden, da neben den steigenden Mengen auch ein zunehmender Eintrag in die Umwelt zu verzeichnen ist.** Ein prominentes Beispiel für Kunststoffansammlungen in der Natur sind die immer größer werdenden „Plastikinseln“ in den Weltmeeren.<sup>20, 21</sup> Berechnungen zeigen auf, dass im Jahr 2010 zwischen 4,8 und 12,7 Millionen Tonnen Kunststoffabfälle in die Ozeane gelangt sind, von denen ein Großteil Verpackungsmüll ist.<sup>22</sup>

Fehlende Strukturen zur Sammlung, Sortierung und Verwertung sind eine Hauptursache für den Eintrag der Abfälle in die Umwelt. Schätzungen des Umweltprogramms der Vereinten Nationen zufolge haben ungefähr drei Milliarden Menschen keinen Zugang zu kontrollierter Müllentsorgung.<sup>23</sup> Aber auch das Verhalten der Menschen spielt eine wesentliche Rolle; selbst vorhandene Strukturen werden nicht immer genutzt. Durch offene Deponien in Küstennähe, illegale Entsorgung von Abfällen in Flüssen, die ins Meer münden, und auch durch Windverfrachtungen gelangen Siedlungsabfälle in die Ozeane. Die bisher sichtbarsten Auswirkungen sind negative Effekte auf die Lebensbedingungen der Meerestiere sowie wirtschaftliche Einbußen in der Tourismusbranche und im Fischfang.<sup>24, 25</sup>

Darüber hinaus existieren bislang wenige wissenschaftliche Erkenntnisse zu den toxikologischen Gefahren und den sich daraus ergebenden langfristigen Auswirkungen auf Ökosysteme und die Gesundheit des Menschen. Gemäß Vorsorgeprinzip rechtfertigen jedoch die bereits bekannten negativen Effekte sowie einschlägige Hypothesen umfassende Maßnahmen.<sup>26, 27</sup>

In Deutschland gibt es gut funktionierende Sammel-, Sortier- und Verwertungsstrukturen, sodass Verpackungsmüll in der Regel nicht direkt in die Umwelt gelangt. Trotzdem können auch deutsche Verpackungen über Umwege in den Meeren landen: Hauptursache hierfür ist neben mangelnder oder falscher Nutzung der Systeme der Abfallexport in Länder ohne funktionierende Verwertungsstrukturen und mit niedrigen Umweltstandards.<sup>28</sup> Durch neue Vorgaben des Basler Übereinkommens wird dieser Weg ab 2021 versperrt, denn dann gilt EU-weit ein Exportverbot für Kunststoffabfälle, die unsortiert, verunreinigt und mit anderen Abfallarten vermischt sind.<sup>29</sup> In Deutschland in Verkehr gebrachter Verpackungsmüll dürfte dann nicht mehr zur Vermüllung der Weltmeere beitragen. Deutschland kann jedoch noch einen weiteren Beitrag leisten und Vorbild und Vorreiter für ein funktionierendes Kreislaufmanagement von Verpackungen werden. Dabei besteht für die deutsche Industrie die Chance, als Systemlieferant für Circular-Economy-Lösungen neue Märkte zu erschließen. Jedoch besteht auch hierzulande noch Optimierungspotenzial.

In Deutschland sind vor allem die große Menge an Verpackungsabfällen und der damit steigende Ressourcenverbrauch ein Problem. Mit 227,5 Kilogramm Verpackungsabfall pro Kopf (im Jahr 2018)<sup>30</sup> sind wir europäischer Spitzenreiter bei der Müllverursachung. Zudem nimmt der deutsche Verpackungsverbrauch stetig zu: Waren es hierzulande 1998 noch 14 Millionen Tonnen Verpackungsabfälle, waren es 20 Jahre später 18,9 Millionen Tonnen.<sup>31</sup> Dennoch gilt Deutschland aufgrund seiner hohen **Verwertungsquoten im Vergleich zu anderen europäischen Ländern als Vorzeigebispiel** im Umgang mit Verpackungen.

13 | Vgl. Umweltprogramm der Vereinten Nationen 2015.

14 | Vgl. Eurostat 2020.

15 | Vgl. Schüler 2020.

16 | Vgl. Lau et al. 2020.

17 | Vgl. Schüler 2020.

18 | Vgl. Hoorweg et al. 2013.

19 | Vgl. Umweltprogramm der Vereinten Nationen 2015.

20 | Vgl. Jambeck et al. 2015.

21 | Vgl. Geyer et al. 2017.

22 | Vgl. Jambeck et al. 2015.

23 | Vgl. Umweltprogramm der Vereinten Nationen 2015.

24 | Vgl. Newman et al. 2015.

25 | Vgl. World Wide Fund For Nature 2019.

26 | Vgl. Bertling et al. 2018.

27 | Vgl. Science Advice for Policy by European Academies 2019.

28 | Vgl. Bishop et al. 2020.

29 | Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2019.

30 | Der größte Anteil mit 98,5 Kilogramm pro Kopf entfiel dabei auf das Material Papier. Kunststoffverpackungsabfälle beliefen sich auf 38,5 Kilogramm pro Kopf.

31 | Vgl. Schüler 2020.



Dabei sind die werkstofflichen Verwertungsquoten von Kunststoffverpackungen auch im „Recyclingland Deutschland“ vergleichsweise niedrig. Während die werkstofflichen Verwertungsquoten bei Papier, Karton, Glas und Metall aufgrund ihrer Sortenreinheit und hohen Wertschöpfung (Metalle) vergleichsweise hoch sind (bei über 85 Prozent), liegt die werkstoffliche Verwertungsquote von Kunststoffverpackungen in Deutschland bei 47 Prozent (global unter 10 Prozent). In der Herstellung von neuen Verpackungen wurde im Jahr 2019 durchschnittlich nur 10,9 Prozent Rezyklat verarbeitet.<sup>32</sup> Vor dem Hintergrund eines hohen und weiter steigenden deutschen Verpackungs- und Abfallaufkommens bieten sich hier durch Ansätze für eine Kreislaufumkehr in neue Kunststoffanwendungen Potenziale, um den Rohstoffverbrauch und die negativen Umweltwirkungen zu reduzieren.

Die Nachhaltigkeitsbewertung von Verpackungslösungen ist komplex, und es gibt keine pauschalen Lösungen. Die niedrige Recyclingquote von Kunststoffen führt auch dazu, dass Kunststoffe per se als besonders umweltschädliches Material angesehen werden. Betrachtet man jedoch Ökobilanzen von verschiedenen Verpackungskonzepten, wird diese Pauschalaussage oftmals widerlegt.<sup>33, 34</sup> Verpackungen lassen sich nicht allein anhand ihres Materials in umweltverträgliche und umweltschädliche Verpackungen einteilen. Vielmehr sind bei der Nachhaltigkeitsbewertung von Verpackungen vielfältige, zum Teil konfliktäre

Kriterien entlang des gesamten Lebenszyklus zu beachten. So können Verbesserungen hinsichtlich Ressourcenschutz negative Wirkungen auf andere Kriterien haben, etwa den Energieeinsatz erhöhen und damit verbunden mehr klimarelevante Emissionen verursachen.

Ein Grundsatz bei der Wahl, welche Verpackungslösung ökologisch zu bevorzugen ist, ist die Abfallhierarchie „Vermeiden – Wiederverwenden – Rezyklieren“. Wie in Kapitel 3 näher ausgeführt, wird diese Hierarchie heute noch zu selten angewendet. Doch auch diese pauschale Priorisierung muss im spezifischen Kontext nochmals geprüft werden. Denn eine Besonderheit bei der Anwendung der Abfallhierarchie auf Verpackungen ist die Wechselwirkung der Verpackung mit dem Packgut. Insofern sind Verpackung und Packgut gemeinsam zu betrachten und als Einheit in ihrem System zu optimieren. Wenn das Weglassen einer Verpackung beispielsweise zur Folge hat, dass mehr Lebensmittelabfälle anfallen, ist die Gesamtbilanz negativ.<sup>35</sup> Auch wenn Re-Use-Systeme so organisiert sind, dass schwere Behälter weite Transportstrecken zurücklegen müssen, kann die Lebenszyklusanalyse zugunsten der Einwegverpackung ausfallen.<sup>36</sup> Entsprechend müssen neben der Verpackungsgestaltung auch weitere Faktoren, beispielsweise die Bewahrung der funktionalen Anforderungen, der Transport und die tatsächliche Nachgebrauchsphase, mit in die Betrachtung einfließen, um entscheiden zu können, welche Lösung am besten geeignet ist.

32 | Vgl. Conversio 2020.

33 | Vgl. Haupt et al. 2018.

34 | Vgl. Fehring 2019.

35 | Vgl. Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH/Denkstatt 2018.

36 | Vgl. Coelho et al. 2020.

## 2 Die Arbeitsgruppe Verpackungen der Circular Economy Initiative Deutschland

### Über die Circular Economy Initiative Deutschland

Die *Circular Economy Initiative Deutschland* (CEID), gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), will den Dialog anstoßen, wie eine systemische Trendwende vom linearen zum zirkulären Wirtschaften gelingen kann.

Ziel der Initiative ist die Entwicklung einer Roadmap, die darlegt, wie der Wandel in Richtung einer Circular Economy in Deutschland gestaltet werden kann, um langfristige Ziele zur Steigerung der Ressourcenproduktivität zu erreichen. Dazu werden begleitende steuernde Maßnahmen als Handlungsempfehlungen für alle relevanten Akteure abgeleitet.

Angestoßen durch Mitglieder aus Wirtschaft, Wissenschaft, Politik und Zivilgesellschaft bietet die *Circular Economy Initiative Deutschland* einen breit angelegten Stakeholder-Dialog (siehe Anhang D). In einem systemischen Ansatz sollen konkrete Handlungsempfehlungen zu zirkulärem Wirtschaften und Lösungen für vorherrschende Barrieren erarbeitet werden.

Die Arbeit der *Circular Economy Initiative Deutschland* ist über drei Arbeitsgruppen strukturiert: Während sich eine Arbeitsgruppe auf allgemeiner Ebene mit den Potenzialen zirkulärer Geschäftsmodelle und digitaler Technologien als Innovationstreiber befasst, fokussieren sich die beiden anderen Arbeitsgruppen auf die spezifischen Funktionssysteme<sup>37</sup> Traktionsbatterien und Verpackungen.

Anhand dieser beiden Funktionssysteme lässt sich die Transformation zu einer zirkulären Wirtschaft beispielhaft skizzieren. Während Traktionsbatterien beispielhaft für ein Produkt mit hochwertigen Materialien und längerer Lebensdauer sind, sind Verpackungen (insbesondere Primärverpackungen in der Konsumgüterindustrie) Beispiele für geringerwertige, kurzlebige Güter. Somit decken beide Funktionssysteme das Spektrum unterschiedlicher Herausforderungen für die Umsetzung zirkulären Wirtschaftens ab und können modellhaft für den notwendigen Wandel über verschiedene wirtschaftliche Sektoren hinweg betrachtet werden.

Deutschland befindet sich in einem Spannungsfeld: Auf der einen Seite gilt es als internationaler Vorreiter für technische Lösungen und dient als Vorbild für die fortschrittliche politische Verankerung des Kreislaufwirtschaftsgedankens, auf der anderen Seite hat es einen sehr hohen und stetig steigenden Verpackungsverbrauch. Vor diesem Hintergrund erarbeitet die Arbeitsgruppe Verpackungen eine Positionierung zur Rolle und zum Beitrag aller Akteure beim Aufbau einer Circular Economy für Verpackungen in Deutschland.

### 2.1 Vorstellung der Arbeitsgruppe

Die Arbeit der Gruppe profitiert von einer umfassenden Beteiligung hochkarätiger Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Zivilgesellschaft. Die Arbeitsgruppe Verpackungen folgt einer wertschöpfungskettenübergreifenden Betrachtung und vereint unternehmensseitig die spezifischen Sichtweisen der Rohmateriallieferanten, der Markenartikler, des Handels, der Recyclingunternehmen und der Systemdienstleister, während Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie Vertreterinnen und Vertreter der Zivilgesellschaft die Arbeitsgruppe mit ihrer Fachexpertise ergänzen.

37 | Vgl. Weber/Stuchtey 2019: Das Funktionssystem als Betrachtungsebene für die Umsetzung von Circular-Economy-Maßnahmen in Wertschöpfungsnetzwerken ist aus der von acatech und SYSTEMIQ durchgeführten Vorstudie hervorgegangen. Im Gegensatz zu Material-, Branchen- oder Lebenszyklusbetrachtungen stellt die Betrachtung sogenannter Funktionseinheiten einen Nutzen in das Zentrum der Betrachtung und erlaubt damit, über eine Produktoptimierung hinauszugehen und beispielsweise auch alternative Geschäftsmodelle anzusehen.

Der Mehrwert der Arbeitsgruppe Verpackungen der *Circular Economy Initiative Deutschland* ergibt sich insbesondere aus diesem offenen Multi-Stakeholder-Dialog. Dieser inklusive Ansatz ermöglicht es, Anreiz und Nutzen für die Kreislaufführung von Verpackungsmaterialien zwischen relevanten Akteuren zu beleuchten und dadurch Handlungsoptionen entlang der ge-

samten Wertschöpfungskette zu identifizieren. Zudem können systemische Interaktionen zwischen verschiedenen Zirkularitätsansätzen aufgezeigt und konsistent aufeinander aufbauende Handlungsempfehlungen formuliert beziehungsweise Maßnahmen zur Beschleunigung der Circular Economy für Verpackungen in Deutschland und darüber hinaus abgeleitet werden.



Abbildung 3: Teilnehmer der Arbeitsgruppe Verpackungen (Quelle: eigene Darstellung)

## 2.2 Selbstverständnis und Ziele der Arbeitsgruppe Verpackungen

Die Arbeitsgruppe Verpackungen verfolgt das Ziel, zur bereits breit geführten öffentlichen Debatte der Zirkularität von Verpackungen einen Beitrag zu leisten. Dabei werden konkrete Herausforderungen der deutschen Verpackungsindustrie auf dem Weg zu einer Circular Economy identifiziert und durch die vertiefte Analyse zweier konkreter Anwendungsfälle Wege für deren Lösung aufgezeigt.

Der Übergang zu einer Circular Economy wird von der Arbeitsgruppe nicht als Selbstzweck gesehen, sondern soll dazu dienen, übergeordnete Nachhaltigkeitsziele zu erreichen. Um Konflikte mit diesen, etwa mit Klimaschutzziele, zu vermeiden, werden möglichst geschlossene Kreisläufe ohne zusätzliche anthropogene Treibhausgasemissionen angestrebt: eine klimaneutrale Circular Economy – eine Industrie mit Netto-Null-Treibhausgasemissionen.<sup>38</sup>

Die Ergebnisse der Arbeitsgruppe beinhalten zum einen ein Zielbild für eine zirkuläre Verpackungsindustrie, das verschiedene Zirkularitätshebel diskutiert und Handlungsbedarf für alle relevanten Akteure ableitet, um das Ziel einer klimaneutralen Circular Economy bis 2050 zu erreichen (siehe Kapitel 3). Zum anderen werden der Status quo und die Hemmnisse bei der Kreislaufführung von Verpackungen anhand zweier repräsentativer Fallbeispiele vertieft betrachtet. Die Fallbeispiele, Polyethylen(HDPE)-Flaschen für Flüssigwaschmittel und Polyethylenterephthalat(PET)-Schalen für Lebensmittel, bringen unterschiedliche Herausforderungen mit sich, die in Kapitel 4 näher beleuchtet werden.

Damit ergänzt die Arbeit weitere Projekte, die im Rahmen der vom Bundesministerium für Bildung und Forschung initiierten Fördermaßnahme *Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – ReziProK* gefördert werden.<sup>39</sup>

## 2.3 Betrachtungsrahmen für die Arbeitsgruppe Verpackungen (Scope)

Der Betrachtungsrahmen der Arbeitsgruppe umfasst den gesamten Lebenszyklus von Verpackungen – ausgehend vom Rohstoff und von der Designphase über die Herstellung und Nutzung bis hin zur Sammlung und Verwertung der Verpackungen. Ebenso werden alle der Arbeitsgruppe bekannten Zirkularitätsstrategien berücksichtigt. Da die einzelnen Handlungsfelder in Abhängigkeit zueinander stehen, ist eine ganzheitliche Betrachtung wichtig, um alle Möglichkeiten der Optimierung nutzen und aufeinander abstimmen zu können.

Die Arbeit in der Arbeitsgruppe Verpackungen fokussiert sich auf **Primärverpackungen**. Dies hat mehrere Gründe: Primärverpackungen stellen durch den direkten Kontakt mit dem Packgut hohe Anforderungen an die Funktionalität, sowohl technischer als auch regulatorischer Art. Da Primärverpackungen beispielsweise auch eine Informations- und Marketingfunktion für die Endkundinnen und kunden erfüllen, müssen zudem zahlreiche sekundäre Anforderungen erfüllt werden.

Der Schwerpunkt der Betrachtung liegt auf Deutschland, jedoch werden Maßnahmen und Handlungsempfehlungen im europäischen Kontext mitgedacht.

Die Arbeitsgruppe beschreibt vordergründig die Herausforderungen bei der Umstellung der Wertschöpfungskette auf ein zirkuläres Szenario und bleibt bei der Formulierung des Zielbilds materialoffen. Die Arbeit der Arbeitsgruppe zielt nicht darauf ab, Vergleiche zur Eignung verschiedener Verpackungsmaterialien und eine entsprechende Priorisierung vorzunehmen. Denn Fragestellungen zur Materialsubstitution können nur anwendungsfallbezogen, beispielsweise im Rahmen einer Life-Cycle-Analyse, betrachtet werden, um Anforderungen an Verpackung, Transport und Hygiene in ihrer Gesamtauswirkung darstellen zu können.

Bei der vertieften Arbeit mit konkreten Anwendungsfällen zum Thema Kreislaufführung von Verpackungen liegt der Schwerpunkt beim Ausgangsmaterial auf **Kunststoffverpackungen**, der Lösungsraum ist jedoch materialoffen. Dies ist zum einen auf die bereits oben genannten geringen werkstofflichen Ver-

38 | Eine systemisch gedachte und nachhaltige Circular Economy trägt umfassend zu dem EU-Ziel von Netto-Null-Treibhausgasemissionen bis 2050 bei und ermöglicht eine absolute Entkopplung des Wirtschaftswachstums vom Ressourcenverbrauch. Sie stellt die Einhaltung der planetaren Grenzen und der Nachhaltigkeitsziele sicher und trägt durch kollaborative, unternehmensübergreifende Wertschöpfung und Innovation zur Steigerung der Lebensqualität und Sicherung eines gerechten Wohlstands bei.

39 | Vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung 2020.



wertungsquoten bei gleichzeitigem Anstieg der Verarbeitungsmenge von Kunststoffen in der Verpackungsindustrie zurückzuführen.<sup>40</sup> Zum anderen ist Kunststoff in vielen Anwendungen ein preiswerter Rohstoff verglichen mit alternativen Materialien, die gleiche Anforderungen erfüllen können. Insbesondere bei den derzeit niedrigen Rohölpreisen<sup>41</sup> verschärft dies die Herausforderungen, Kunststoffverpackungen in einem zirkulären System zu halten, weil die hochwertige Kreislaufführung oft teurer ist als Neuware.

Kunststoffe sind leistungsstarke Materialien, die aufgrund ihrer chemischen und mechanischen Eigenschaften an die unterschiedlichsten Anforderungen angepasst werden können. Insbesondere können sie bei geeigneten Rahmenbedingungen

einen Vorteil bezüglich der Nachhaltigkeit von Verpackungen darstellen.<sup>42</sup> Aufgrund des geringen Gewichts von Kunststoffverpackungen im Vergleich zu anderen Verpackungsarten können beispielsweise signifikante Energieeinsparpotenziale beim Transport erreicht werden. Auch die Lebensmittelhaltbarkeit kann durch Kunststoffverpackungen verlängert werden, wodurch die Lebensmittelabfälle reduziert werden können. Es ist daher sehr wahrscheinlich, dass Kunststoffe auch in Zukunft eine wichtige Rolle innerhalb zukünftiger Verpackungssysteme spielen werden. In einem komplexen Umfeld von vielfältigen Handlungsoptionen, Chancen und Risiken ist es nun wichtig, Handlungsbedarfe aus einer systemischen Perspektive zu identifizieren und mit geeigneten Maßnahmen zur adressieren.

40 | Vgl. Schüler 2020.

41 | Ausgelöst durch die Covid-19-Pandemie sank der Rohölpreis beträchtlich, kurzfristig sogar in den negativen Bereich. Eine ausführliche Betrachtung der Folgen für die Kreislaufführung von Kunststoffen erfolgt im Exkurs „Die Auswirkungen der Covid-19-Krise auf die Verpackungsindustrie“ in Anhang G.

42 | Vgl. Haupt et al. 2018.



### 3 Eine klimaneutrale Circular Economy für Verpackungen in Deutschland

Die Arbeitsgruppe hat ein Zielbild für eine klimaneutrale Circular Economy für Verpackungen im Jahr 2050 entwickelt. Ausgehend vom Status quo werden bestehende Systemverluste und -grenzen betrachtet (siehe Kapitel 3.1) sowie bestehende Hürden adressiert und kategorisiert (siehe Kapitel 3.2). Um zu konkretisieren, wie eine klimaneutrale Circular Economy für Verpackungen erreicht werden kann, werden in Kapitel 3.3 Zirkularitätsstrategien beschrieben sowie deren Einsparpotenziale in Bezug auf Treibhausgasemissionen in einem Zirkularitätsszenario für 2030 und 2050 modelliert. Anschließend werden die Rahmenbedingungen, die zur Erreichung des Zirkularitätsszenarios notwendig wären, diskutiert. Die in Kapitel 5 abgeleiteten Handlungsempfehlungen sind darauf ausgerichtet, das vorgestellte Zielbild zu erreichen.

#### 3.1 Der Status quo – wo stehen wir?

##### 3.1.1 Stoffstrombetrachtung

In Deutschland wurden 2019 14,2 Millionen Tonnen Kunststoffe verarbeitet, davon 24 Prozent in der Verpackungsindustrie.<sup>43</sup> In den letzten 20 Jahren haben sich die Mengen an Kunststoff für Verpackungen verdoppelt: Waren es im Jahr 1998 1,6 Millionen Tonnen, stieg die Menge 2018 auf 3,2 Millionen Tonnen. Davon entfielen circa zwei Drittel auf Produktverpackungen, die sich in Haushalten ansammelten, und ein Drittel auf Transport- und Umverpackungen.<sup>44</sup>

Die folgende Abbildung verdeutlicht, dass in Deutschland vor allem Polyethylen (Low-Density-Polyethylen – LDPE – und High-Density-Polyethylen – HDPE), Polypropylen (PP) und Polyethylen-terephthalat (PET) verarbeitet wurden; sie decken etwa achtzig Prozent der Gesamtmenge ab. Insbesondere PET findet dabei fast nur in Verpackungen Anwendung.

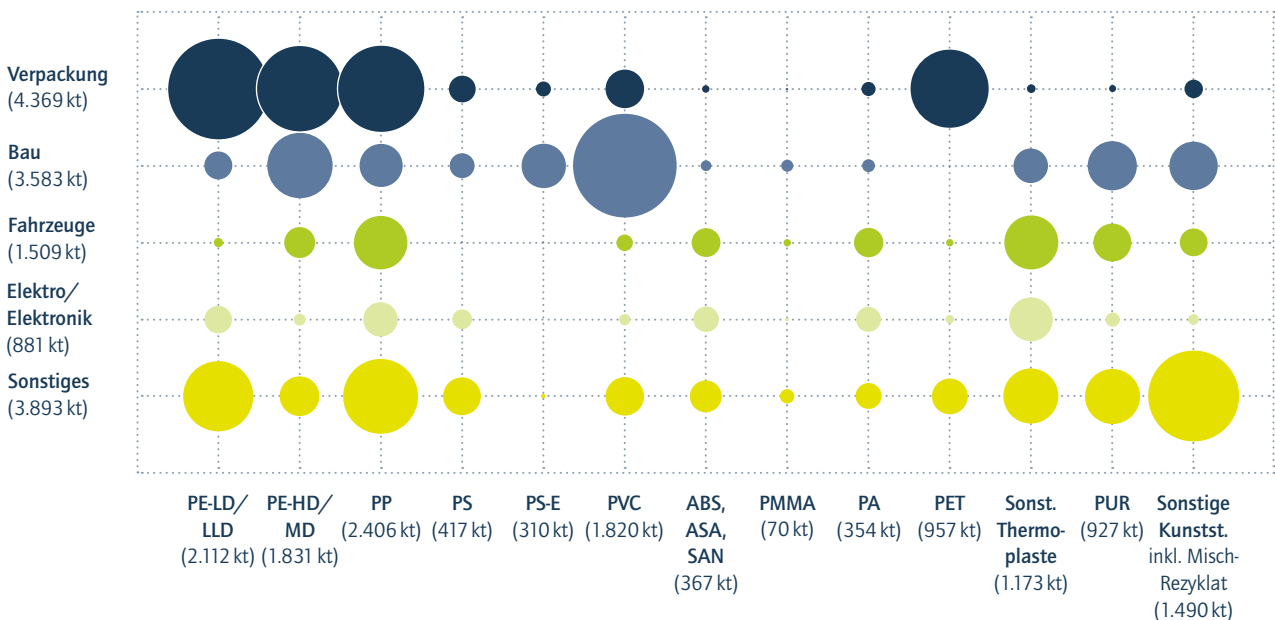


Abbildung 4: Arten und Mengenanteile von Kunststoffen in verschiedenen Branchen (Quelle: Conversio 2020)

43 | Vgl. Conversio 2020.

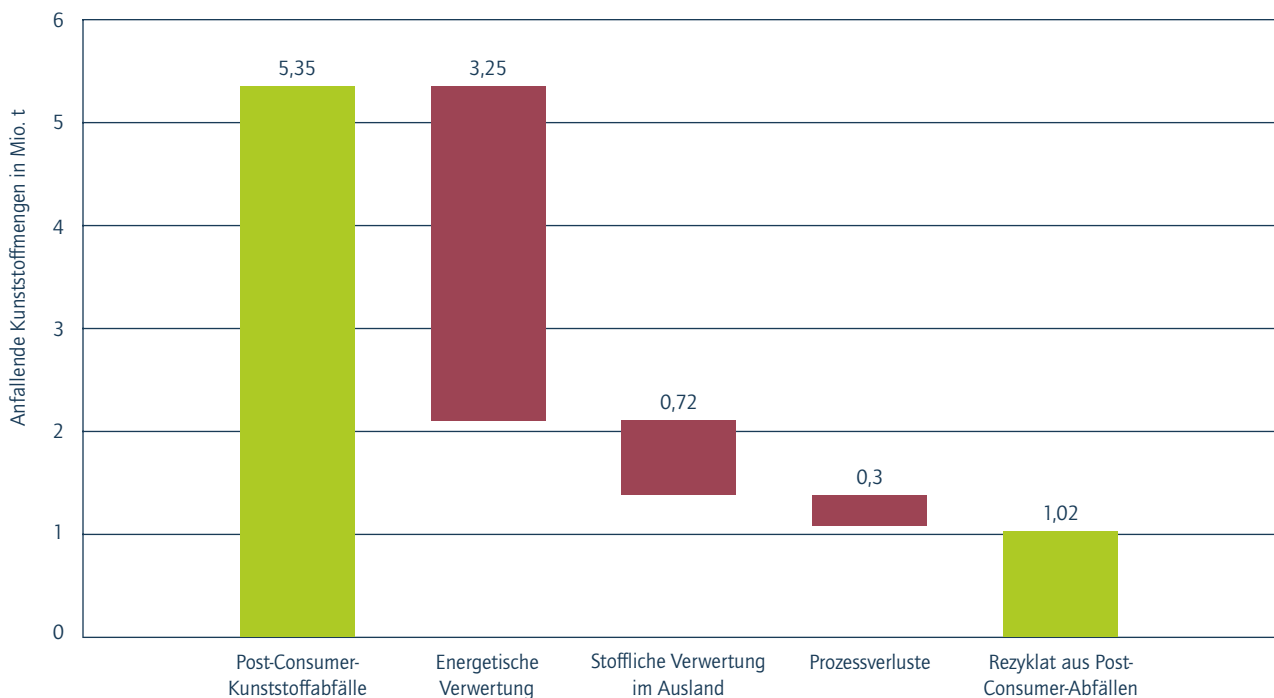
44 | Vgl. Schüler 2020.

Von den Kunststoffmengen, die in der Verpackungsindustrie verarbeitet wurden, waren 2019 nur etwa 474.000 Tonnen oder 10,9 Prozent Rezyklate, dementsprechend wurde zu fast 90 Prozent Neumaterial verwendet.<sup>45</sup>

Mit Blick auf die Zirkularität des Verpackungssystems müssen die verschiedenen Stufen der Verwertungskette differenziert betrachtet werden: In Deutschland fallen jedes Jahr circa 6,3 Millionen Tonnen Kunststoffabfälle an, davon 5,35 Millionen Tonnen in Haushaltsabfällen. Betrachtet man nur das Kunststoffverpackungsaufkommen pro Kopf, so liegt Deutschland nach Angaben von Eurostat mit 38,5 Kilogramm pro Kopf deutlich über dem Durchschnitt in der Europäischen Union (EU).<sup>46</sup>

Die hohe Differenz zwischen in Verkehr gebrachten und als Abfall anfallenden Mengen erklärt sich dabei unter anderem durch die lange Nutzungsdauer von Kunststoffen im Bausektor, wo sich kontinuierlich eine Quelle für „Urban Mining“<sup>47</sup> für Kunststoffe aufbaut.

Deutschland weist dabei eine auch im internationalen Vergleich sehr hohe Verwertungsquote von über 99 Prozent auf; als eines der wenigen Länder weltweit hat Deutschland die unbehandelte Deponierung von Verpackungen verboten. Von den erfassten Mengen wird allerdings über die Hälfte (circa 53 Prozent) thermisch verwertet, in Müllverbrennungs- beziehungsweise Ersatzbrennstoffanlagen oder in der Mitverbrennung, zum Beispiel in



\* Aufgrund der kleinen Mengen wurden die Verluste durch Deponierung (~0,03 Mio. t), rohstoffliche Verwertung (~0,01 Mio. t) und der Exportüberhang (~0,01 Mio. t) im Diagramm nicht dargestellt

Abbildung 5: Verluste im Recycling von Post-Consumer-Kunststoffabfällen im Jahr 2019 (Quelle: eigene Darstellung, Daten von Conversio 2020)

45 | Vgl. Conversio 2020.

46 | Vgl. Eurostat 2018.

47 | Urban Mining bezeichnet die Rückgewinnung von Materialien am Ende der Nutzungsphase langlebiger Güter wie beispielsweise Gebäude oder Infrastruktur.

Zementwerken. Etwas weniger als die Hälfte (rund 47 Prozent) wird werkstofflich verwertet. Betrachtet man nur die Post-Consumer-Kunststoffabfälle, so halbiert sich die Menge für das Recycling in Deutschland durch Exporte und Verluste in der Aufbereitung. Am Ende steht eine Menge von knapp über einer Million Tonnen Post-Consumer-Rezyklat<sup>48</sup> zur Verfügung; dies deckt die Ausgangsmenge der in Deutschland verarbeiteten Kunststoffe von rund 14,24 Millionen Tonnen nur zu 7,2 Prozent ab. Hinzu kommt, dass ein Großteil davon von verwerteten Pfand-PET-Einweggebinden stammt. Weitere 6,7 Prozent der Ausgangsmenge werden aus dem Recycling industrieller Kunststoffabfälle abgedeckt. Abbildung 5 verdeutlicht die Verluste auf den verschiedenen Stufen des Recyclingprozesses.<sup>49</sup>

### 3.1.2 Politische Rahmenbedingungen

Diesen Entwicklungen stehen eine Reihe von Maßnahmen gegenüber, die durch die Politik (in Deutschland und auf europäischer Ebene) bereits initiiert wurden, um den Weg zu einer Circular Economy zu ebnen. Diese gesetzlichen Rahmenbedingungen stellen ebenso wie Selbstverpflichtungen aus der Industrie die Trajektorie dar, auf der die gesamte Kunststoff- und Verpackungsindustrie derzeit ihre strategische Positionierung im Markt entwickelt. Die folgenden Absätze geben einen Überblick über die derzeitige Ausgangslage, die gleichzeitig das Handlungsfeld absteckt und Rückenwind für die Transformation gibt.

Auf **europäischer Ebene** beschloss – ausgehend vom 2015 von der Europäischen Kommission veröffentlichten Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft – die Europäische Union (EU) im Jahr 2018 die Strategie für Kunststoffe.<sup>50</sup> Die EU-Kunststoffstrategie umfasst zahlreiche Maßnahmen und Zielsetzungen, die ein kreislauforientiertes Wirtschaften mit Kunststoffen und Verpackungen ermöglichen sollen.

Konkret sollen bis 2030 alle in der EU in Verkehr gebrachten Kunststoffverpackungen wiederverwendbar oder recyclingfähig sein. Mit der Verabschiedung der EU-Richtlinie für Verpackungen und Verpackungsabfälle 2018/852<sup>51</sup> wurden neue materialspezifische Recyclingquoten festgelegt. Bis 2025 sollen 50 Prozent der Kunststoffverpackungen sowie 65 Prozent des

Verpackungsmülls recycelt werden. Bis 2030 erhöhen sich die Quoten auf 55 Prozent beziehungsweise 70 Prozent. Zudem sollen ab 2020 strengere Regeln zur Berechnung der Erfüllung der Zielvorgaben sicherstellen, dass die länderspezifischen Fortschritte transparent und vergleichbar werden.

Im Rahmen des Ökodesign-Arbeitsplans 2020 bis 2024 der EU soll die Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG mit der Verordnung (EU) 2017/1369 zur Energieverbrauchskennzeichnung harmonisiert werden.<sup>52</sup> Darüber hinaus werden Ökodesign-Anforderungen erwogen, die die Recyclingfähigkeit von Kunststoffen fördern sollen.

Die EU-Richtlinie für Einwegkunststoffe legt fest, dass Polyethylenterephthalat(PET)-Flaschen bis 2025 aus mindestens 25 Prozent und bis 2030 aus mindestens 30 Prozent Rezyklat bestehen sollen. Außerdem dürfen verschiedene Einwegprodukte wie Kunststoffteller und Kunststofftrinkhalme ab 2021 nicht mehr gehandelt werden. Des Weiteren sollen 77 Gewichtsprozent der Abfälle aus Einwegkunststoffartikeln bis 2025 getrennt gesammelt und Kunststoffhersteller für die Sammlung und Reinigung verantwortlich gemacht werden.<sup>53</sup>

Auf **Bundesebene** werden die EU-Richtlinien in entsprechende Gesetze umgewandelt. Mit dem neuen Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) wird die EU-Abfallrahmenrichtlinie in deutsches Recht umgesetzt und das bestehende deutsche Abfallrecht umfassend modernisiert. Zweck des Gesetzes sind die Förderung der Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen und die Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen. Zentraler Grundsatz des Gesetzes ist die Abfallhierarchie.

Zudem trat in Deutschland 2019 das Verpackungsgesetz in Kraft,<sup>54</sup> das die Verpackungsverordnung ablöst. Die Verpackungsverordnung war eine Rechtsverordnung, die auf Grundlage des Paragraphen 24 KrWG erlassen worden war. Das Verpackungsgesetz hingegen steht nun rechtsdogmatisch neben dem KrWG, also parallel auf derselben Hierarchiestufe der Gesetze. Das Verpackungsgesetz legt eine Recyclingquote von 58,5 Prozent für Kunststoffe fest. Ab 2022 steigt die Quote auf

48 | Laut DIN ISO 14021: 2016-07 bezeichnet Post-Consumer-Rezyklat das Material, das von Haushalten oder von gewerblichen, industriellen und institutionellen Einrichtungen als Endverbraucher eines Produkts erzeugt wird und nicht mehr für den vorgesehenen Zweck verwendet werden kann. Dazu gehört auch zurückgeführtes Material aus der Lieferkette.

49 | Vgl. Conversio 2020.

50 | Vgl. Europäische Kommission 2018b.

51 | Vgl. Europäische Union 2018.

52 | Vgl. Europäische Kommission 2019b.

53 | Vgl. Europäische Union 2019.

54 | Vgl. Bundesanzeiger 2017.



63 Prozent. Die Quoten liegen deutlich über den EU-Vorschriften und sind insbesondere mit der Umstellung der Berechnung ein ambitioniertes Ziel. Aktuell werden Recyclingquoten in Deutschland inputorientiert berechnet.<sup>55</sup> Mit der Änderung der Berechnungsmethode zugunsten von outputorientierten Verfahren würde die Recyclingquote von Kunststoff in Deutschland um circa 4,5 bis 12 Prozent sinken.<sup>56</sup> Diese Umstellung könnte die Ziele für Recyclingquoten von Kunststoff in Deutschland (63 Prozent ab 2022), die auf inputorientierten Berechnungen basieren, unter die EU-Zielvorgaben (55 Prozent ab 2025) stellen, da diese auf outputorientierten Berechnungen beruhen.<sup>57</sup>

Darüber hinaus sind Erst-Inverkehrbringer, Hersteller und Importeure laut Verpackungsgesetz dazu verpflichtet, die flächendeckende Rücknahme und Verwertung von Verpackungsabfällen zu gewährleisten und sich einem Dualen System anzuschließen. Dass alle Verpackungen lizenziert werden, wird über die neu geschaffene Zentrale Stelle Verpackungsregister sichergestellt. Die Beteiligungsentgelte, die die Inverkehrbringer von Verpackungen an die Dualen Systeme für die Verwertung ihrer Verpackung bezahlen, werden zudem an die Wiederverwertbarkeit der Verpackungen gekoppelt. Die Pflicht zu dieser ökologischen Gestaltung der Beteiligungsentgelte ist ein neues Instrument in der Abfallgesetzgebung, in dem viel Potenzial für eine Lenkwirkung in Richtung nachhaltigerer Verpackungslösungen gesehen wird. Die praktische Ausgestaltung dieser Pflicht befindet sich derzeit allerdings noch in der Konzeption.

Weiterhin gibt es auf Grundlage des KrWG (Paragraph § 33) ein Abfallvermeidungsprogramm, das zum Ziel hat, Wirtschaftswachstum von Abfallerzeugung zu entkoppeln.<sup>58</sup> Dieses wird alle sechs Jahre fortgeschrieben. Hauptkritik an diesem Programm ist jedoch, dass es keine verbindlichen Zielsetzungen enthält. Zur Umsetzung der Produktverantwortung des KrWG (§ 23) wird im Verpackungsgesetz zudem angestrebt, einen Anteil von mindestens siebzig Prozent Mehrweggetränkeverpackungen bei allen abgefüllten Getränken zu erreichen.<sup>59</sup>

Weitere Aktivitäten werden von der **Industrie** selbst vorangetrieben, häufig angestoßen durch Vertreter der **Zivilgesellschaft**. So nehmen beispielsweise 175 Organisationen aus Industrie und Wissenschaft sowie staatliche Vertreter an der EU-weiten Selbstverpflichtungskampagne der *Circular Plastics Alliance* teil. Die Absicht ist, das in der EU-Kunststoffstrategie verankerte Ziel, bis 2025 zehn Millionen Tonnen Kunststoffrezyklate zu verarbeiten, umzusetzen.<sup>60</sup>

Im Rahmen der *New Plastics Economy Global Commitment Initiative* der Ellen MacArthur Foundation verpflichteten sich 450 Organisationen, die 20 Prozent der weltweiten Plastikverpackungen produzieren, den Plastikverbrauch zu reduzieren und dessen Zirkularität zu fördern.<sup>61</sup> Im Einklang damit formulieren sektorübergreifende, nationale *Plastics Pacts* in Großbritannien, Frankreich, den Niederlanden, Polen oder Portugal konkrete Ziele und Maßnahmen, um die Nutzung von Kunststoffen und Verpackungen im Sinne einer Kreislaufwirtschaft zu gestalten. Ein *europäischer Plastics Pact*, an dem auch Deutschland beteiligt ist, existiert ebenso.<sup>62</sup> Darüber hinaus wurden beispielsweise in Frankreich, Portugal und Dänemark Gesetze verabschiedet, die unter anderem die Benutzung von Einwegplastiktüten besteuern.

## 3.2 Bestehende Herausforderungen im Status quo

Wie in Kapitel 3.1 beschrieben, sind an verschiedensten Stufen der Wertschöpfungskette Systemverluste zu beobachten. Die Ursachen hierfür lassen sich in zwei Kategorien unterteilen:

1. fehlende Transparenz und mangelnde Kompatibilität in der gesamten Wertschöpfungskette sowie
2. Lücken innerhalb einzelner Wertschöpfungsschritte.

Im ersten Punkt geht es darum, alle Glieder einer Kreislaufwirtschaft so zu orchestrieren, dass so viel Material beziehungsweise Rohstoffe wie möglich im Kreislauf gehalten werden können.

55 | Bei der sogenannten Inputberechnung zählt, was aus einer Sortieranlage in das Recycling geht. Mengen, die im Recycling nicht stofflich verwertet werden können, sondern verbrannt werden, werden nicht von der Quote abgezogen. Diese Berechnung ändert sich zukünftig gemäß der Novellierung der europäischen Abfallrahmenrichtlinie EU-weit zu outputorientierten Quoten. An der Konkretisierung dieses outputorientierten Ansatzes wird derzeit gearbeitet.

56 | Vgl. Schüler 2013.

57 | Vgl. Obermeier/Lehmann 2019.

58 | Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2013.

59 | Vgl. Bundesanzeiger 2017.

60 | Vgl. Circular Plastics Alliance 2019.

61 | Vgl. New Plastics Economy 2019.

62 | Vgl. European Plastics Pact 2020.

Der zweite Punkt zielt darauf ab, einzelne Glieder der Kette zu stärken. Diese beiden Kategorien werden im Folgenden näher erläutert.

### 3.2.1 Fehlende Transparenz und mangelnde Kompatibilität in der gesamten Wertschöpfungskette

Für die erfolgreiche Zusammenarbeit aller Akteure entlang der Wertschöpfungskette ist eine **gemeinsame Zielsetzung** erforderlich, aus der ein gemeinsamer Ansatz abgeleitet wird. Eine solche gemeinsame Zielsetzung ist im heutigen System nicht zu finden, vielmehr wird in jedem Wertschöpfungsschritt und von jedem Akteur eine eigene Optimierungslogik verfolgt.

Verpackungen werden heute in der Regel für jede Anwendung individuell entworfen und produziert. Das heißt, der Verpackungshersteller muss spezielle Funktionalitäten berücksichtigen – abgeleitet von den Anforderungen des Packguts – und gleichzeitig die Kosten für Fertigung und Abfüllung in einer vielfältigen Verarbeitungsindustrie im Blick haben; hier gibt der Maschinenhersteller das Differenzierungspotenzial vor. Zugunsten der Vermarktung von Produkten spielen bei der Verpackung außerdem die äußere Gestaltung, Materialwahl, Formgebung und Bedruckung eine große Rolle.

Diese Marktdynamik in einer enorm fragmentierten, margengetriebenen Industrie führt dazu, dass **vielfältige Verpackungstypen** in den Markt gebracht werden. Daraus resultieren eine große Materialvielfalt und damit Probleme beim Trennen der Materialverbünde und beim Sortieren der Werkstoffe. Eine Sortierung in viele reine Fraktionen lässt sich nämlich nicht wirtschaftlich gestalten. Damit einher geht auch, dass Verbraucher Probleme haben, die vielfältigen Verpackungsabfälle den richtigen Entsorgungswegen zuzuordnen, die wiederum innerhalb der Einzugsgebiete einzelner Dualer Systeme unterschiedlich vorgegeben sind. Aufgrund der Materialvielfalt sind die Sekundärrohstoffe aus der werkstofflichen Verwertung überwiegend von undefinierbarer Qualität. Damit reduziert sich ihr „zweiter“ Einsatz auf wenige Anwendungen, die mit schwankenden Qualitäten und geringen technischen Anforderungen umgehen können. Denn die in den Markt gebrachten Verpackungen sind das Ergebnis von Optimierungsschritten hinsichtlich Funktionalität und Herstellerdesign; sie werden nicht abgestimmt oder gar optimiert auf die Prozessschritte, die nach der Nutzung folgen, wie Sortierung und Verwertung. Das ist darauf zurückzuführen, dass im heutigen System nicht absehbar ist, wie alle Wertschöpfungs-

kettenteilnehmer von einer Systemoptimierung profitieren können – damit fehlt die (monetäre) Anreizsetzung.

Erschwerend hinzu kommt, dass die Abfallgesetzgebung und der Ausbau von Verwertungsstrukturen größtenteils auf nationaler Ebene festgesetzt werden, die Verpackungsindustrie jedoch international agiert und Konsumgütermärkte global aufgestellt sind. So gibt es nicht nur nationale Zielvorgaben, sondern auch **länderübergreifende Unterschiede**, die für die strategische Ausgestaltung der Recyclingfähigkeit von Verpackungen greifen, und zwar hinsichtlich des Verpackungsdesigns und der entsprechenden Recyclinginfrastruktur. Es fehlen international einheitliche Konzepte, um die Prozesse im Sinne einer Circular Economy zu bewerten und zu bilanzieren – und damit einheitliche Regelungen für eine erweiterte Herstellerverantwortung. Diese nationalen Unterschiede bei der Schaffung rechtlicher Rahmenbedingungen sind für internationale Konzerne eine große Herausforderung, da sie ihre Verpackungen für jeden Absatzmarkt nach anderen Kriterien optimieren müssen.

Gleichzeitig ist eine einheitliche Zielsetzung (ob national oder international) sehr schwer zu beschreiben. Die **Bewertungsgrundlage** für die Kreislauffähigkeit von Verpackungen erfolgt heute oftmals produktbezogen, ohne Betrachtung des Gesamtsystems. Um eine Lösung ganzheitlich bezüglich ihrer Zirkularität zu bewerten, fehlt es an gebündelten Daten und einer Abschätzung, wie sich die unterschiedlichen Hebel gegenseitig beeinflussen. Potenzielle Wechselwirkungen, beispielsweise zwischen CO<sub>2</sub>-Emissionen und Kreislaufführung des Materials, bedürfen einer einheitlichen Bewertungsgrundlage im Sinne einer Lebenszyklusbetrachtung, die jedoch per Definition einzelfallbezogen erfolgen muss – eine solche Betrachtung kann mit großem Aufwand verbunden sein.<sup>63</sup> Dies führt dazu, dass es bereits vielfältige Ansätze und Guidelines unter dem Stichwort „Design for Recycling“ für Verpackungen gibt, die jedoch je nach betrachteten Systemgrenzen wiederum anderen Optimierungslogiken folgen und somit keine einheitliche Zielsetzung abbilden.

Die **mangelhafte Datenlage** ist auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht ein Problem: Es fehlt ein Informationssystem, das die einzelnen Wertschöpfungsschritte ganzheitlich abbilden kann. So ist es zum Beispiel heute schwierig, Recyclingquoten und Rezyklateinsatzquoten zu beschreiben, solange es keine einheitliche Materialbilanzierung gibt. Recycler können Anlagen nicht nach dem zu erwartenden Input optimieren, solange keine Informationen zu den in Verkehr gebrachten Mengen vorliegen. Auch der Ein- und Verkauf von Sekundärmaterial auf entsprechenden Rohstoffmärkten wird durch mangelnde Transparenz

über Qualität und Eigenschaften (beziehungsweise entsprechende Produktspezifikationen) erschwert. Somit sind Rezyklateinkäufe aufwendige Einzeleinkäufe. Das sorgt nicht nur für hohe Transaktionskosten, sondern verringert auch die Planungssicherheit für alle beteiligten Akteure. Notwendige Schnittstellen zwischen den Wertschöpfungsschritten existieren heute also teilweise noch nicht, und es fehlt an Transparenz, um diese zielführend zu gestalten.

### 3.2.2 Lücken innerhalb einzelner Wertschöpfungsschritte

Neben den systemischen Inkompatibilitäten gibt es auch in oder zwischen einzelnen Wertschöpfungsschritten Herausforderungen.

Die Kreislauffähigkeit von Verpackungen muss bereits in der **Designphase** mitgedacht werden. Im Sinne der Abfallhierarchie gilt es, neue Lösungsansätze zu erarbeiten. Dazu gehört zum Beispiel an oberster Stelle die Vermeidung von Verpackungen. Bei nicht vermeidbaren Verpackungen sollte zunächst geprüft werden, ob die Verpackungen wiederverwendet werden können, beispielsweise kann mit Mehrwegkonzepten (sofern bilanziell positiv belegt) das Abfallaufkommen verringert werden.<sup>64</sup> Diese Ansätze werden heute zwar bereits von einzelnen Markenartiklern und dem Handel verfolgt, sind jedoch nicht weitreichend etabliert beziehungsweise noch ausbaufähig. Grund hierfür sind unter anderem die höheren Kosten eines eigenen Rücknahmesystems, das sich für einzelne Marken betriebswirtschaftlich nicht lohnt. Ebenfalls bereits in der Designphase mitzudenken sind die spätere Trennung der einzelnen Verpackungsbestandteile durch die Verbraucherin beziehungsweise den Verbraucher, die Trennung der Materialverbünde oder der Einsatz alternativer Rohstoffe.

Bereits an dieser Stelle sind die Verbraucherinnen und Verbraucher ein entscheidender Faktor, da sie durch ihre Ansprüche und ihre Nachfrage die Anforderungen an die Wertschöpfungskette maßgeblich mitbestimmen. Nachhaltige **Kaufentscheidungen** können gefördert werden, indem nicht-nachhaltige Optionen reduziert werden.<sup>65</sup> Zudem ist denkbar, die Präferenzen von Konsumentinnen und Konsumenten positiv in Richtung einer Circular Economy zu beeinflussen, zum Beispiel durch eine Erhöhung

der Akzeptanz von recycelten Verpackungen (unter Umständen auch bei geringerer optischer Qualität), durch Mehrwegverpackungen oder alternative Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen oder sogar durch gänzlich verpackungsfreie Produkte (sofern bilanziell positiv belegt). Auch eine erhöhte Akzeptanz beziehungsweise Nachfrage nach standardisierten Verpackungsformen oder -größen kann förderlich sein, wenn dadurch die Kreislauffähigkeit erhöht werden kann.

Eine weitere Herausforderung stellt sich im **Übergang der Nutzungsphase zur Nachnutzungsphase** der Verpackung. Hier sind **Konsumentinnen und Konsumenten zentrale Akteure**, da die Trennung der Materialien und die Vorsortierung in verschiedene Sammelsysteme (Gelber Sack, Haushaltsmüll, Altpapier) bereits auf Haushaltsebene stattfinden. Hierbei lassen sich verschiedene Schwierigkeiten erkennen: Vorherrschende Gewohnheiten bei Konsumentinnen und Konsumenten sowie mangelndes Verständnis für die Notwendigkeit der korrekten Trennung (zum Beispiel aufgrund der Annahme „Plastik ist gleich Plastik“ oder „Am Ende wird eh alles verbrannt“) führen zu „Fehlwürfen“ oder unzureichender Trennung nach Gebrauch (Beispiel Joghurtbecher mit Papierbanderole und Aludeckel – häufig wird alles gemeinsam entsorgt). Erschwerend hinzu kommt, dass das Duale System in Kommunen unterschiedlich umgesetzt wird: beispielsweise in Form von Gelbem Sack, Gelber Tonne, Wertstoffhöfen oder Containerinseln. So müssen sich die Konsumentinnen und Konsumenten mit jedem Umzug umstellen und die Trennung im Haushalt neu lernen. Die Kommunen, die für die Bereitstellung entsprechender Informationen und Kampagnen verantwortlich sind und dafür Nebenentgelte der Dualen Systeme erhalten, kommen dieser Aufgabe der gesellschaftlichen Weiterbildung zu selten nach.

Auch im Wertschöpfungsschritt der **Sammlung und Sortierung gibt es auf industrieller Ebene** technische, organisatorische, wirtschaftliche sowie infrastrukturelle Herausforderungen. Primäres Ziel der Verwerter ist das Erreichen der Quotenvorgabe und (noch) nicht die bessere Sortierung beziehungsweise Trennung von gut recycelbarem und wiederverwendbarem Material, weil hierfür keine wirtschaftlichen Anreize bestehen. Sortiert werden nur die Materialien, für die es einen entsprechenden Abnehmermarkt gibt. Auch Mischkunststoffe finden Abnehmer am Markt, wenngleich keine hochwertigen Rezyklate daraus herge-

64 | Das resultiert auch aus der Richtlinie (EU) 2019/904 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juni 2019 über die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt: Diese Richtlinie fördert kreislauffähige Ansätze, die nachhaltige und nicht-toxische wiederverwendbare Artikel und Wiederverwendungssysteme gegenüber Einwegartikeln bevorzugen, wobei in erster Linie auf die Verringerung des Abfallaufkommens abgezielt wird. Diese Art der Abfallvermeidung steht in der Abfallhierarchie im Sinne der Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates an oberster Stelle.

65 | Vgl. Thøgersen 2014.



stellt werden können (zum Beispiel für die Verbrennung). Der Konflikt zwischen höherwertiger Sortierqualität (langsamere Bandlaufmaschine) und schnellerem Sortierdurchlauf wird durch geringe Verkaufspreise einzelner Materialien und durch Kapazitätsengpässe bei der Sortierung gelenkt. Letztere können dabei sowohl organisatorisch als auch technisch bedingte Ursachen haben und führen wegen Nichteinhaltung sortiernotwendiger Einzelkornbedingungen immer zu suboptimalen Sortierergebnissen. Ferner orientiert sich die Sortierung nur an Materialien, nicht an Verunreinigungen oder Spezifikationen für spätere Einsatzmöglichkeiten. Durch das Vermischen in der Sammlung sind alle Verpackungsabfälle kreuzkontaminiert mit Resten von Lebensmitteln, Reinigern oder Pflegeprodukten. Zur **werkstofflichen Verwertung** bereitgestellte Mengen werden in Sortieranlagen zudem nur in der Mindestqualität sortiert, da bessere Produktqualitäten den Reststoffanteil erhöhen. Dieser muss dann aber vom Sortieranlagenbetreiber kostenpflichtig entsorgt werden. Einstufige Sortierprozesse können entweder nur auf ein hohes Wertstoffausbringen oder auf eine hohe Produktqualität parametrisiert werden.<sup>66</sup>

Diese Schwachstellen beim Sortier- und Wiederaufbereitungsprozess führen allesamt zu sehr diversen Materialqualitäten im Rezyklat und beeinflussen den nächsten Wertschöpfungsschritt, den **Sekundärrohstoffeinsatz**: Es fehlt an Transparenz bei den Materialflüssen und Materialzusammensetzungen hinsichtlich Toxikologie sowie einem entsprechenden Anwendungsszenario. Auf dem Rezyklatmarkt ergeben sich somit ein Nachfrageüberhang nach hochqualitativem (und spezifiziertem) Rezyklat und ein Angebotsüberschuss an niederwertigem, nicht spezifiziertem Rezyklat.<sup>67, 68, 69</sup> Eine große Herausforderung liegt hier in der Synchronisation von Rezyklatmarktausbau und Recyclingkapazitätsausbau. Ein wesentlicher Punkt ist die Schnittstelle zwischen Recycler und Verarbeiter sowie Inverkehrbringer. Im Hinblick auf eine Kreislaufwirtschaft entsteht außerdem ein weiteres Problem, denn durch die niederwertige Qualität von Rezyklat aus Verpackungsmaterial fließt dieses vermehrt in Zweitapplikationen, für die selbst keine Recyclinginfrastruktur existiert. Das mündet damit in einem Downcycling, an dessen Ende die Verbrennung steht (Ausnahme sind hierbei Pfandflaschen aus Polyethylenterephthalat (PET)). Unter Kreislaufgesichtspunkten gilt es zudem zu vermeiden, dass Material aus dem Pfandstrom abgegriffen und dann für Anwendungen genutzt wird, für die es derzeit keine werkstoffliche Verwertungsstrukturen gibt.

Mit den bestehenden Herausforderungen bei der Sammlung und der anschließenden Verwertung innerhalb der Gemischtsammlung ist es aktuell schwer vorstellbar, wie die **lebensmittelrechtliche Konformität** bei Lebensmittelverpackungen allein mit werkstofflichem Recycling erzielt werden soll. Denn die Übertragung von nicht-konformen Substanzen aus unterschiedlichen Quellen, zum Beispiel Reinigungsmitteln, aber auch anderen Lebensmitteln, kann dabei nicht ausgeschlossen werden. Daher darf nach Anforderungen der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) derzeit für Lebensmittelverpackungen nur Rezyklat aus dem geschlossenen Pfandflaschenstrom genutzt werden. Nicht zuletzt ist Kunststoffrezyklat bei Verbraucherinnen und Verbrauchern aufgrund der gräulichen Farbe und Geruchsbelastung oftmals noch nicht akzeptiert (im Gegensatz dazu wurde die braune Farbe bei Recyclingpapier längst angenommen). Hier gilt es, noch bestehende Hürden im Marketing und in der Preissensibilität bei Verbraucherinnen und Verbrauchern zu überwinden.

### 3.3 Das Zielbild – wo wollen wir hin?

Ziel ist es, eine zirkuläre Verpackungsindustrie aufzubauen. Dazu hat die Arbeitsgruppe ein Zielbild für 2030 und 2050 entworfen, auf dessen Basis das Wuppertal Institut ein „Zirkularitätsszenario“ 2030/2050 modelliert hat. Im Folgenden werden zunächst verschiedene „Zirkularitätshebel“ beschrieben, auf denen das Zielbild beruht. Basierend auf einer Literaturrecherche schätzte die Arbeitsgruppe anschließend ab, in welchem Umfang die Hebelwirkungen bis 2030 beziehungsweise 2050 realisiert werden können. Abschließend wurde anhand eines Modells aufgezeigt, welches CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial besteht, wenn entlang der gesamten Wertschöpfungskette alle Hebel konsequent umgesetzt und deren Wirkungen miteinander kombiniert werden.

#### 3.3.1 Hebel entlang der Wertschöpfungskette und Zirkularitätsstrategien

Wie bereits in Kapitel 3.2 deutlich wurde, sind die Herausforderungen in der Wertschöpfungskette multidimensional und bedingen sich gegenseitig. Lösungsansätze müssen daher aus ganzheitlicher Perspektive innovations- und technologieoffen gesucht werden und unterliegen folgenden wichtigen Grundsätzen:

66 | Vgl. Feil/Pretz 2020.

67 | Vgl. IK Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e. V. 2019.

68 | Vgl. Hahladakis/Iacovidou 2018.

69 | Vgl. Milios/Dalhammar 2020.



1. Die Vermeidung von Verpackungen hat oberste Priorität, sofern dadurch nicht der ökologische Fußabdruck des Gesamtprodukts (also Packgut und Verpackung) zunimmt.
2. Alle nicht vermeidbaren Verpackungen müssen auf einem effizienten und effektiven Ressourcenmanagement basieren, indem sie ressourcenarm gestaltet, möglichst lange nutzbar, wiederverwendbar und hochwertig recycelbar sind.
3. Material- und Produktdesign sollten so konsequent gestaltet sein, dass keine toxischen Wirkungen entlang der Wertschöpfungskette auftreten und die Folgenutzung negativ beeinträchtigt wird.
4. Wo sinnvoll und möglich, sollten Sekundärmaterial oder Alternativen zu fossilbasiertem Primärmaterial zum Einsatz kommen.
5. Alle Zirkularitätshebel unterliegen einer Bewertung der Umweltwirkungen (beispielsweise Lebenszyklusanalyse (LCA)).

Das Potenzial der im folgenden Kapitel vorgestellten **Hebel entlang der Wertschöpfungskette** liegt vor allem in deren Kombination. Anhand zweier Perspektiven – Inverkehrbringen und Kreislaufführung von Verpackungen – werden im Folgenden einige Hebel erläutert.

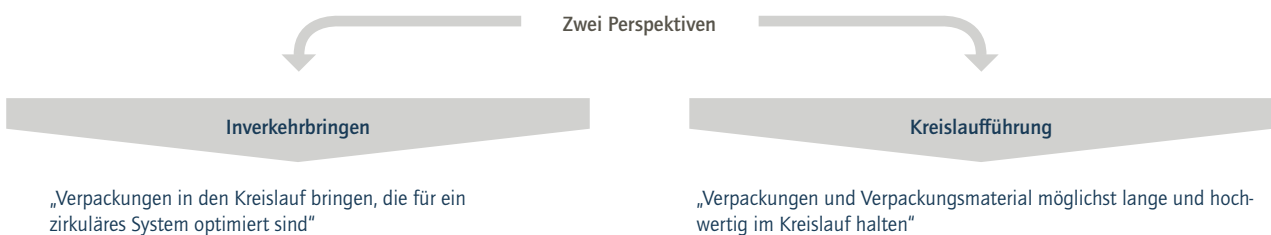


Abbildung 6: Zwei Perspektiven auf Circular Economy (Quelle: eigene Darstellung)

## 1. Inverkehrbringen von Verpackungen

Unter diesem Punkt werden Strategien zusammengefasst, die dafür sorgen, dass einerseits nur so viel Material wie nötig eingesetzt und andererseits das benötigte Material so in Verkehr gebracht wird, dass es im Kreislauf gehalten werden kann.

### Vermeidung

Um Verpackungen und Verpackungsabfälle von vornherein zu vermeiden, gibt es zwei Haupthebel:

- Weglassen von unnötigen Verpackungen und
- Einsparen von Material durch Effizienz in der Verpackungsgestaltung.

Da der Verpackungsverbrauch und die daraus resultierenden Abfallmengen stetig steigen, ist die Vermeidung von Verpackung ein wichtiger Hebel am Beginn der Wertschöpfungskette. In bestimmten Fällen können **(Um-)Verpackungen ganz weggelassen** werden, wenn sie nicht primär funktional sind. Ein Beispiel

etwa ist loses Obst und Gemüse: Wird dieser Hebel auch noch an systemische Sourcingstrategien, zum Beispiel „Regionalität“ – regionale Produkte halten auch mit weniger Verpackung länger und verderben nicht so schnell –, oder an Geschäftsmodelle für die Wiederverwendung, beispielsweise standardisierte Mehrwegverpackungen in der Logistik, gekoppelt, sind die Chancen groß, dass Verpackungen verringert oder ganz vermieden werden können. Die Relevanz der Vermeidungsstrategien wird zudem gestärkt, solange die Recyclinginfrastruktur den Bedarf an Rezyklat noch nicht abdecken kann – und zwar sowohl in Bezug auf Quantität als auch auf Qualität – und die Prozesse noch nicht maßgeblich durch erneuerbare Stromquellen bedient werden.

Als Beispiel für den zweiten Haupthebel, die **erhöhte Materialeffizienz**, sind Verschlüsse von Getränkeflaschen zu nennen: Da im Laufe der Jahre immer kleinere und dünnere Verschlüsse hergestellt wurden, wird heutzutage pro Verschluss Polymer eingespart. Bei Strategien zur Steigerung der Materialeffizienz ist jedoch zu berücksichtigen, dass eine gesteigerte Materialeffizienz der Recyclingfähigkeit von Verpackungen auch entgegenstehen

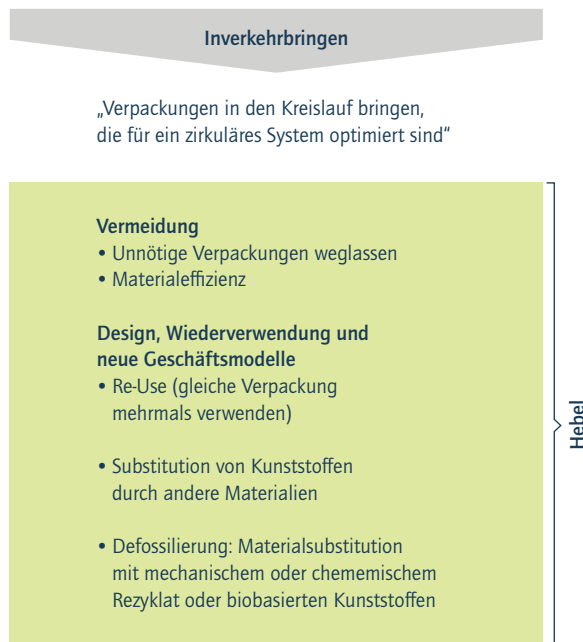


Abbildung 7: Hebel zum Circular-Economy-konformen Inverkehrbringen von Verpackungen (Quelle: eigene Darstellung)

kann, wie das Beispiel Multilayerfolien zeigt – es wird zwar weniger Material verwendet, dieses kann aber am Ende nicht mehr sortenrein aufgetrennt werden.<sup>70</sup> Eine Verringerung von Verpackungsmaterial kann auch durch die **Komprimierung des Packguts** erreicht werden. Ein Beispiel dafür sind Konzentratlösungen, beispielsweise bei Waschmitteln. Ein weiterer Ansatz liegt darin, unnötiges **Leervolumen zu vermeiden**. Mögliche negative Auswirkungen von Verpackungsvermeidungsstrategien aus betriebswirtschaftlicher Sicht können dadurch entstehen, dass Konsumentinnen und Konsumenten aus Gewohnheit größere Verpackungen bevorzugen, weil sie mehr Inhalt suggerieren.

## Verpackungsdesign

Wenn Vermeidungsstrategien bereits umgesetzt worden sind, gibt es weitere Hebel beim Verpackungsdesign. Grundsätzlich gilt als Maxime für das Verpackungsdesign: Um die Verpackung zu optimieren, muss – im Sinne einer Lebenszyklusbetrachtung

des gesamten Produkts – auch das Packgut mitberücksichtigt werden. Ein klassisches Beispiel hierfür ist die Abwägung der Verpackungsgröße bei Lebensmitteln: Werden größere Mengen Lebensmittel verpackt, als der Verbraucher durchschnittlich braucht, läuft man Gefahr, dass Lebensmittel weggeworfen werden. Werden stattdessen kleinere Verpackungseinheiten gewählt, fallen meist mehr Verpackungsmaterial und damit ein höherer Material- und Energieeinsatz an. Daher ist eine sinnvolle Abwägung und Optimierung von Verpackungsart und -größe im Einzelfall (produkt- und marktbezogen) vorzunehmen.

Die Gestaltung von Verpackungen ist Grundlage für alle **Design-for-X-Strategien**. Die Verpackungen müssen so designt werden, dass sie stofflich getrennt (Design for Sorting, zum Beispiel Trennbarkeit der Komponenten) und dann recycelt werden können (Design for Recycling, zum Beispiel Monomaterial). Die Entwicklung von Design-for-Recycling-Lösungen erfordert häufig eine komplette Umstellung der Verpackungsstruktur und technische Entwicklungen. Um zum Beispiel nicht recyclingfähige Multimaterialverbünde auf recyclingfähiges Monomaterial umzustellen, müssen Wege gefunden werden, die notwendigen funktionalen Eigenschaften der Verpackung zu erfüllen. Hier können funktionale Coatings als zusätzliche Bedruckschicht auf dem Monomaterial eingesetzt werden, die noch fehlende Eigenschaften, zum Beispiel Barrierefunktion, Siegelbeständigkeit oder Gleitverhalten, ergänzen. Viele dieser Ansätze sind bereits bekannt und Teil der guten Praxis im Verpackungsdesign. Allerdings ist nach einer Studie der Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung etwa ein Drittel aller Verpackungen in Deutschland nicht recyclingfähig (nach Mindeststandard) gestaltet.<sup>71</sup> Im Folgenden werden zwei Designhebel näher erläutert:

- Harmonisierung/Standardisierung und
- Materialsubstitution: a) mit anderen Verpackungsmaterialien, b) Defossilierung des Rohstoffeinsatzes.

Die **Harmonisierung oder Standardisierung** von Verpackungen und Verpackungsarten zielt auf eine Reduktion der Verpackungsvielfalt (siehe Kapitel 3.2.1) ab. Durch die Nutzung einer limitierten Anzahl von Standardkunststoffen können Verwerter die Prozesse besser auf das Eingangsmaterial abstimmen und damit Prozesskosten sparen und die Qualität des Outputs erhö-

70 | Durch den Verbund verschiedener Folien kann man die Eigenschaften, beispielsweise Barrierschutz gegenüber Luftfeuchtigkeit oder Sauerstoff, Reißfestigkeit, Ultraviolettstrahlung- und Lichtschutz oder Temperaturbeständigkeit, je nach Verpackungsgut durch unterschiedliche Kombinationsmöglichkeiten verändern. Das bedeutet, je nach Verwendungszweck werden Multilayerfolien spezifisch aufgebaut, sodass mit minimalem Materialeinsatz die Anforderungen des Produkts an die Verpackung erfüllt werden. Diese aus vielen verschiedenen Kunststoffen und Additiven bestehenden Folien sind jedoch in der Praxis heute nicht recyclingfähig. Es gibt Lösungsmittelverfahren, die auch Multilayerfolien trennen können, diese kommen aber nicht flächendeckend zum Einsatz. Ersetzt man nun eine Multilayerfolie durch eine Mono-Materialverpackung, um eine in der Praxis recyclingfähige Alternative auf den Markt zu bringen, so muss oft mehr Material eingesetzt werden, um die Anforderungen einzuhalten.

71 | Vgl. Prognos-/Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH 2016.



hen. Diese Standardisierung kann auf allen Ebenen wirken: Polymergrundstoff, Additivierung, Farbgebung, Verpackungsaufbau und -struktur. Ein positives Beispiel hierfür ist die Polyethylenterephthalat(PET)-Getränkeflasche: Durch die (sortenreine) Rückführung über ein Pfandsystem und die Einhaltung von Standards beim Design der Flaschen kann hochwertiges Rezyklat mit Lebensmittelzulassung hergestellt werden. In der Praxis ist der Handel bereits ein treibender Akteur der Harmonisierung von Verpackungen. Die Händler haben für und mit ihren Lieferanten Leitlinien zur Verpackungsgestaltung entwickelt, um Orientierung zu geben und Vorgaben zu machen, wie eine Verpackung zu gestalten ist, damit sie möglichst nachhaltig und maximal kreislauffähig ist. Allerdings sind diese Leitlinien noch nicht harmonisiert, vielmehr hat jeder Händler seine eigenen Leitlinien.

Wie zuvor bereits formuliert, ist das Verpackungsdesign immer auch im Sinne einer Lebenszyklusbetrachtung zu bewerten. Dazu gehören die Wahl des geeigneten Basismaterials (Papier, Metall, Glas, Kunststoff) und dessen eventuelle Anpassung, wenn ein anderes Material in Bezug auf die jeweilige Rohstoffherkunft, Herstellung, Anwendung und Nachgebrauchsphase eine bessere Gesamtleistung bietet (**Materialsubstitution**). Hierzu bedarf es immer einer Einzelfallbetrachtung, Pauschalaussagen sollten nicht getroffen werden. Um funktionale Anforderungen wie zum Beispiel Barrieren gegen Fett, Wasser und Wasserdampf oder auch die Siegfähigkeit zu erfüllen, können spezielle Be-

schichtungen (Functional Coatings) eingesetzt werden. Hierbei muss sichergestellt sein, dass diese Beschichtungen das Papierrecycling nicht beeinträchtigen.

Eine weitere Ebene der Substitution kann durch den Ersatz von Primärmaterial (bei Kunststoffen Rohmaterial aus Erdöl) durch Sekundärmaterial (zum Beispiel Rezyklat) oder durch alternative Ausgangsmaterialien (**biobasierte Kunststoffe** – siehe dazu Exkurs auf Seite 31) erreicht werden. Dahinter steht das Ziel, die Kunststoffverpackungsindustrie langfristig möglichst von erdölbasierten Eingangsmaterialien zu entkoppeln (**Defossilierung**).

Allerdings sind für die Defossilierung, insbesondere von Lebensmittelverpackungen, noch Hürden zu überwinden. Derzeit wird nur aus dem bepfandeten PET-Flaschenstrom ein Rezyklat mit Lebensmittelzulassung erreicht. Daher wird kurz- und mittelfristig bei Lebensmittelverpackungen der Einsatz von biobasierten Kunststoffen als primäre Defossilierungsmöglichkeit gesehen. Allgemein kann die Beimischung von recyclingfähigen biobasierten Kunststoffen (sogenannte Drop-ins) dazu beitragen, in der Mischung mit Rezyklat die notwendige technische Eignung eines Materials sicherzustellen, ohne neues Rohmaterial aus fossilen Quellen zu verwenden. Langfristig wird erwartet, dass Rezyklat aus chemischem Recycling ebenfalls der Qualität von Primärmaterial entspricht und zur Defossilierung beiträgt (siehe Exkurs Chemisches Recycling auf Seite 38).

## EXKURS: Biokunststoff – biobasierte und bioabbaubare Kunststoffe

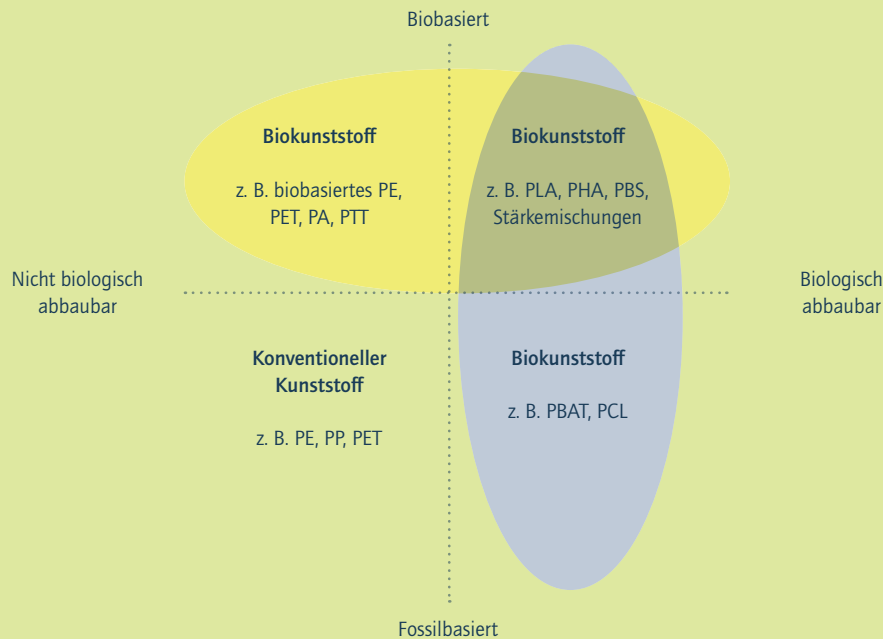


Abbildung 8: Biokunststoff (Quelle: eigene Darstellung, angelehnt an European Bioplastics 2016)

Dem Begriff „Biokunststoff“ liegen zwei mögliche Bedeutungen zugrunde: bioabbaubar und biobasiert.

**Biobasierte Kunststoffe** sind Kunststoffe, die (ganz oder zum Teil) aus nicht-fossilen Materialquellen hergestellt werden. Dazu eignen sich nachwachsende Rohstoffe und deren Nebenprodukte wie Agrarabfälle oder Agrarnebenprodukte.<sup>72</sup>

**Bioabbaubare Kunststoffe** sind unter bestimmten Bedingungen (Temperatur, Sauerstoffzufuhr, Feuchtigkeit, mikrobielle Aktivität ...) kompostierbar. Nach aktuellem Stand der Technik existiert noch kein kompostierbarer Kunststoff, bei dem die Dekomposition unter allen atmosphärischen Bedingungen gleich gut funktioniert. Bioabbaubare Kunststoffe sind nicht zwingend biobasiert, sondern können fossilbasiert sein. Häufig liegen auch Mischungen vor.<sup>73</sup> Bioabbaubar ist nicht zu verwechseln mit oxo-abbaubar.

Bei oxo-abbaubaren Kunststoffen löst die Anwesenheit von UV-Licht beziehungsweise Wärme und Sauerstoff den Fragmentierungsprozess aus. Es ist allerdings nicht bekannt, ob ein vollständiger biologischer Abbau in Deponien oder in der Umwelt innerhalb eines vertretbaren Zeitraums stattfindet. Sofern dies nicht möglich ist, entsteht Mikroplastik.<sup>74</sup> In der Single-Use Plastics Directive<sup>75</sup> der EU wurde ein Verbot von oxo-abbaubaren Kunststoffen beschlossen, das 2021 in Kraft tritt.

Aus Biomasse können entweder Biokunststoffe wie Polylactide (PLA) oder Polyhydroxyalkanoate (PHA) erzeugt oder fossilbasierte Stoffe (quasi) identisch nachgebaut werden. Bio-Polyethylen (PE), Bio-Polyethylenterephthalat (PET) und Bio-Polypropylen (PP) gehören zur Gruppe der sogenannten Drop-in-Kunststoffe. Drop-ins sind weder biologisch abbaubar noch kompostierbar, sondern können als Grundpolymer über

72 | Vgl. Umweltbundesamt 2020a.

73 | Vgl. ebd.

74 | Vgl. Europäische Kommission 2018a.

75 | Vgl. Europäische Union 2019.



die Anlagen der Dualen Systeme gemäß dem standardmäßigen Recyclingverfahren sortiert und verwertet werden.<sup>76</sup>

Biologisch abbaubare oder als „kompostierbar“ zertifizierte biologisch abbaubare Kunststoffe stellen aktuell einen Störstoff in vielen industriellen Kompostieranlagen dar und sind derzeit aus dem System der Getrennsammlung von Bioabfällen ausgeschlossen. Eine Differenzierung von kompostierbaren und konventionellen Kunststoffen ist oftmals noch nicht möglich, weshalb diese Kunststoffe als Störstoffe aussortiert und verbrannt werden.<sup>77</sup> Ohne eine industrielle Verwertungsinfrastruktur für kompostierbare Kunststoffe bleibt insbesondere die ökologische Sinnhaftigkeit solcher Lösungen fraglich. Zudem sollte auch bei Biokunststoffen von möglichst kleinen Kreisläufen ausgegangen werden, denn die Neuherstellung verbraucht sowohl Rohstoffe als auch Energie und Wasser.

Biobasierte Kunststoffe gelten nur dann als sinnvoller Ersatz von Rohöl-basierten Kunststoffen, wenn als Rohstoffquelle Biomasse verwendet wird, die nicht in Konkurrenz zum Anbau von Nahrungsmitteln steht. Besonders geeignet dafür sind Sekundärrohstoffe, sekundäres Pflanzenmaterial oder andere Rohstoffe biologischen Ursprungs, für die keine Flächen verbraucht werden, die besser für die Erzeugung von Nahrungsmitteln verwendet werden könnten. Zudem müssen illegale Landgewinnung (zum Beispiel durch illegitime Abholzung von Regenwald) und gentechnische Manipulation verhindert werden, das heißt, es ist darauf zu achten, dass die Biomasse nur aus nachvollziehbaren und nachhaltigen Quellen bezogen wird.<sup>78</sup> Weitere zu beachtende Kriterien sind

der Rohstoffanbau auf bereits langfristig hierfür genutzten Flächen, gute Arbeitsbedingungen oder die verträgliche Nutzung von Wasserressourcen. In der Praxis steigt die Nachfrage nach biobasierten Kunststoffen, diese sind derzeit aber noch deutlich teurer als konventionelle Kunststoffe.

Für die **CO<sub>2</sub>-Betrachtung** biobasierter Kunststoffe ergibt sich ein uneinheitliches Bild. Eine Studie des Joint Research Centre (JRC) kommt zu dem Schluss, dass Bio-Polyethylenterephthalat und Bio-Polyethylen (HDPE) gerade in der Klimabilanz deutlich schlechter abschneiden als herkömmliche fossilbasierte Kunststoffe.<sup>79</sup> Auch das Umweltbundesamt weist darauf hin, dass biobasierte Kunststoffe nicht notwendigerweise nachhaltiger sind.<sup>80</sup> Gleichzeitig hat beispielsweise eine weitere umfassende Studie im Auftrag der Europäischen Kommission<sup>81</sup> verschiedene konkrete biobasierte Kunststoffprodukte untersucht und kommt zu dem Ergebnis, dass diese gerade bei der Klimarelevanz deutlich besser abschneiden als fossilbasierte Kunststoffe, selbst wenn sie bisher nicht separat verwertet werden. Die Unterschiede ergeben sich vor allem daraus, wie das jeweilige Autorenteam die Systemgrenzen gesetzt hat und Landnutzungsänderungen in Form von CO<sub>2</sub>-Faktoren auf die Materialien aufgerechnet werden.

Grundsätzlich sollten Biopolymere nicht zwangsläufig als „umweltfreundlich(er)“, „grün(er)“ oder „nachhaltig(er)“ beworben werden. Dies ist erst dann legitim, wenn für ein konkretes Produkt eine überwiegend positive Ökobilanz – unter Betrachtung verschiedener Wirkungskategorien – ermittelt und die Nachhaltigkeit der Rohstoffgewinnung sichergestellt ist.

76 | Vgl. Umweltbundesamt 2020a.

77 | Vgl. Institute for Bioplastics and Biocomposites 2020.

78 | Vgl. Weiss et al. 2012.

79 | Vgl. Joint Research Centre 2020.

80 | Vgl. Umweltbundesamt 2020a.

81 | Vgl. Europäische Kommission 2019a.

## Wiederverwendung und neue Geschäftsmodelle

Mehrwegverpackungen finden in diversen Bereichen Anwendung. Beispiele hierfür sind sowohl etablierte Mehrwegsysteme, zum Beispiel bei Getränkeflaschen oder Paletten, als auch neue Geschäftsideen wie Unverpacktläden oder das Tracking von Verpackungen mittels moderner Technologien.

Der Hebel der **Wiederverwendung (Re-Use)** setzt bei der Anwendungs- und Nutzungsdauer der Verpackung an. Verpackungen mehrfach zu verwenden, spart wertvolle Ressourcen. Dem stehen die Kosten und das CO<sub>2</sub>-Aufkommen für Logistik und Aufbereitung von Re-Use-Verpackungen gegenüber.

Es gibt verschiedene Arten von Mehrwegverpackungen, die im Folgenden kurz dargestellt werden:<sup>82, 83</sup>

- Großgebilde zum Nachfüllen (Refill on the go): Konzepte wie Unverpacktläden sind zwar nicht neu, stellen aber noch immer eine Nische im Einzelhandel dar und bieten nur eine geringe Auswahl an Marken an. Derlei Systeme stellen den Einzelhandel – insbesondere im Lebensmittelbereich – oftmals vor große Herausforderungen, beispielsweise hinsichtlich der Einhaltung von Hygienevorschriften und des daraus entstehenden zusätzlichen Aufwands in der Umsetzung. Dennoch gibt es bereits zahlreiche Beispiele, bei denen wiederverwendbare Behälter aus Großgebilden befüllt werden.
- Nachfüllbare Mutterverpackung (Refill at home): Die Nachfüllverpackung wird mit weniger Material hergestellt als die mehrfach verwendbare Mutterverpackung. Dadurch können Materialverbrauch und Transportkosten signifikant gesenkt

werden. Eingesetzt werden diese Systeme vor allem im Bereich von Reinigungs-, Hygiene- und Kosmetikprodukten.

- Mehrwegsystem (Return on the go): Kundinnen und Kunden geben die leeren Verpackungen an den Händler oder Hersteller zurück, der diese für den zukünftigen Gebrauch wiederaufbereitet. In Kombination mit einem Pfandsystem kann die Teilnahmequote durch finanzielle Anreize erhöht werden. Dieses System kommt beim Vertrieb aller Pfand-Mehrwegflaschen zum Einsatz.
- Transportverpackungen (Return from home): Kundinnen und Kunden erhalten die bestellten Produkte in wiederverwendbaren Verpackungen, die per Hauszustellung beziehungsweise abholung oder durch die Post zurückgeschickt werden. Die Verpackungen können mehrere Male verwendet werden, bevor sie an den Hersteller zurückgeschickt werden.

Außerhalb des Bereichs der Getränkeverpackungen gibt es bisher wenige Studien zur ökologischen Bewertung von Business-to-Consumer-Mehrwegsystemen. Diese aber weisen darauf hin, dass ein Mehrwegsystem unter bestimmten Voraussetzungen geringere Umweltauswirkungen hat als Einwegverpackungen. Im Wesentlichen gilt es, im Einzelfall die mit der Produktion und Entsorgung verbundenen Auswirkungen und Kosten mit denen des zusätzlichen Transports zu vergleichen und in jedem spezifischen Fall separat zu entscheiden, welche Systeme die bessere Ökobilanz aufweisen. Ein wichtiger Einflussfaktor ist dabei auch, wie oft sich die Verpackung wiederverwenden lässt.<sup>84</sup> Die Ellen MacArthur Foundation geht davon aus, dass für circa zwanzig Prozent der Verpackungen die Wiederverwendung die ökologisch beste Option wäre.<sup>85</sup>

82 | Vgl. Coelho et al. 2020.

83 | Vgl. Ellen MacArthur Foundation 2019.

84 | Vgl. Coelho et al. 2020.

85 | Vgl. Ellen MacArthur Foundation 2017b.

## 2. Voraussetzungen für die Kreislaufführung

Unter diesem Punkt werden Hebel und Strategien zusammengefasst, die dafür sorgen, dass Material möglichst lange und hochwertig in Stoffströmen – im Kreislauf – gehalten wird.

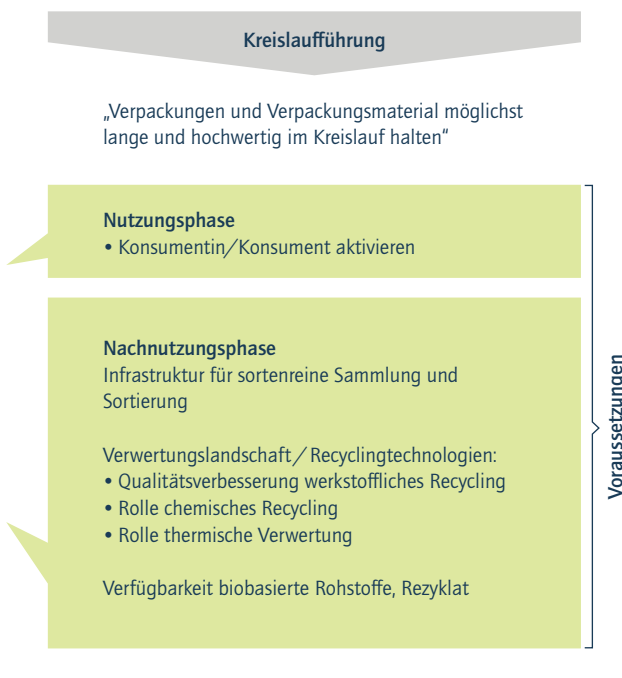


Abbildung 9: Voraussetzungen für die Kreislaufführung (Quelle: eigene Darstellung)

### Nutzungsphase: Konsumentin und Konsument aktivieren

Vor der industriellen Verwertung von Verpackungen spielt das Konsumentenverhalten eine große Rolle: bei der Aufbereitung, der etwaigen Säuberung, gegebenenfalls der Trennung von Verpackungskomponenten und schließlich der korrekten Zuordnung in die jeweiligen Verwertungsströme. Damit sich möglichst viele Konsumentinnen und Konsumenten aktiv daran beteiligen, das Verpackungsmaterial dem Kreislauf wieder zuzuführen, kann eine Kombination aus **positiven und negativen Anreizen** aufseiten der Konsumierenden unterstützend wirken. Hierzu zählen Pfand- oder Belohnungssysteme oder auch (höhere) Gebühren für ungetrennte Materialien. Pfandsysteme haben eine beson-

ders hohe Erfolgsquote (98,5 Prozent Rückgabe bei Einweggetränkeflaschen<sup>86</sup>). Der Konsumentin beziehungsweise dem Konsumenten sollte es so leicht wie möglich gemacht werden, ökologisch vorteilhafte Kaufentscheidungen zu treffen und die Verpackungen richtig zu trennen. Ein hilfreiches Instrument wäre hier eine einfach zu verstehende und eindeutige Kennzeichnung. Eine wichtige Aufgabe in der Informations- und Bildungsarbeit ist es zudem, das Vertrauen der Bürgerinnen und Bürger in die Verwertungsstrukturen wiederherzustellen.<sup>87</sup> Teilweise kursiert die Meinung, dass ohnehin aller Abfall der Verbrennung zugeführt wird und sich der Aufwand der Mülltrennung daher nicht lohnt.

### Nachnutzungsphase: Infrastruktur für (sortenreine) Sammlung und Sortierung

Um Qualität und Quantität der erfassten Abfallströme zu erhöhen, muss neben der Verpackungsgestaltung auch die derzeitige Sammel- und Sortierinfrastruktur hinterfragt beziehungsweise erneuert werden. Durch den flächendeckenden Einsatz modernster Sortiersysteme wären bereits heute erhebliche Verbesserungen möglich. Diese Investitionen werden aber aus ökonomischen Gründen nicht im nötigen Maße getätigt. Darüber hinaus gibt es verschiedene weitere Optimierungsmöglichkeiten. **Pfandsysteme** veranlassen die Konsumentinnen und Konsumenten nicht nur zu einer hohen Rückgabequote, sondern sorgen auch für einen sortenreinen Stoffstrom, der gar nicht mehr industriell sortiert werden muss. Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz von **Markersystemen**. Diese industrielle Sortiertechnologie erlaubt eine optimierte Sortierung nach Material, entsprechender Verarbeitung und Farbe. Zudem besteht die technische Möglichkeit, Lebensmittel- und Nicht-Lebensmittelverpackung zu unterscheiden, um Rezyklate (sofern regulatorisch erlaubt) auch in Lebensmittelverpackungen einsetzen zu können. Markersysteme befinden sich noch in der Entwicklungsphase. Das derzeit bekannteste Projekt ist HolyGrail,<sup>88</sup> das digitale Wasserzeichentechnologie nutzt. Ein Vorteil von digitalen Wasserzeichen im Vergleich zu anderen Tracking- und Tracing-Methoden ist, dass keine zusätzlichen Materialien (zum Beispiel Fluoreszenzmarker) eingebracht werden, die letztlich als Kontamination wieder aus dem Kreislauf entfernt werden müssten. Für die Etablierung von Markern ist ein Zusammenspiel der Akteure in Produktion und Recycling nötig: Der Produzent muss die Marker einsetzen und der Recycler entsprechende Sortiermechanismen bei sich installieren. Alternativ wird auch Sortiertechnologie ohne Marker entwickelt, beispielsweise auf **Künstlicher Intelligenz (KI) basierende Systeme**. Auch hierbei gibt es bereits vielversprechende Ergebnisse.

86 | Vgl. Albrecht et al. 2011.

87 | Vgl. Gemeinsame Stelle dualer Systeme Deutschlands GmbH s. a.

88 | Vgl. Procter & Gamble 2019.



Eine **Nachsartierung des Restmülls** würde die Materialmengen steigern, die einem Recyclingprozess zugeführt werden können. Dieses Prinzip kann dort sinnvoll sein, wo die separate Erfassung von Verpackungen problematisch ist. In den Niederlanden werden in hochverdichteten Ballungsräumen – im Gegensatz zu ländlichen Regionen – Post-Consumer-Verpackungsmaterialien im Restmüll gesammelt, durch zusätzliche Sortiertechnik als Vorkonzentrate angereichert und anschließend den Sortieranlagen zugeführt.<sup>89</sup> Ähnliche Vorstöße gab es bereits in den neunziger Jahren mit der Wertstofftonne Plus. Die Rezyklate hatten jedoch einen starken Restmüllgeruch, und die notwendigen Spülaufwendungen wurden schnell so groß, dass es ökonomisch nicht vertretbar und die Implementierung auch ökobilanziell oftmals nicht mehr lohnenswert war.

**Nachrüstungen bei Sortier- und Waschtechnologie** sowie Verfahren zum Deinking oder zur Delaminierung (auch bei getrennter Sammlung) können erheblich zur Dekontamination beitragen und damit die Qualität und die Wertstoffausbringung des Rezyklats steigern. In der Praxis lässt sich dies aber bisher kaum wirtschaftlich gestalten.

### Nachnutzungsphase: Verwertungslandschaft (Recyclingtechnologien)

Für die hochwertige und vollständige Verwertung der Verpackungsmaterialien im Kreislauf ist eine umfängliche Verwertungslandschaft erforderlich. Deren Ausgestaltung ergibt sich (a) durch die Fraktionen, die nach der **Sammlung und Sortierung** zur Verwertung bereitstehen (Input), (b) die zur Verfügung stehenden **Verwertungstechnologien** (Infrastruktur) und (c) die dadurch entstehenden **Sekundärrohstoffqualitäten und -quantitäten** für verschiedene Anwendungsbereiche und Absatzmärkte (Output). Die Herausforderung für die Verpackungsindustrie liegt im Aufbau entsprechender Aufbereitungskapazitäten sowie funktionierender Zulieferketten vom Abfall zum neuen Sekundärrohstoff.

In welcher Quantität und Qualität die Inputfraktionen vorliegen, hängt von den vielfältigen Faktoren ab, die in den vorangegangenen Absätzen beschrieben wurden. Die Verwertungstechnologien für Kunststoffverpackungen umfassen werkstoffliches und

chemisches/rohstoffliches Recycling sowie die Verbrennung von nicht recycelfähigen Fraktionen.

In der Realität werden etwa fünfzig Prozent der Kunststoffverpackungsabfälle in Deutschland thermisch verwertet.<sup>90</sup> In einer Circular Economy sollte der Anteil einer Verbrennung minimal werden (siehe Abfallhierarchie) und sich auf solche Reststoffe (zum Beispiel Spezialabfälle aus der Medizin, Hygieneprodukte) beschränken, die weder werkstofflich noch chemisch recycelt werden können. Als Schadstoffsene wird eine Verbrennung aber auch in Zukunft nicht vermeidbar sein. Außerdem befinden sich derzeit im anthropogenen Lager<sup>91</sup> noch zu viele Altlasten, für die oft die thermische Verwertung die einzige Lösung ist, denn sie wurden nicht nach den Anforderungen einer Kreislaufführung designt. In der derzeitigen Übergangsphase, in der der Strommix noch sehr CO<sub>2</sub>-intensiv ist und die Recyclingverfahren technisch noch weiterentwickelt werden müssen, sollten Lebenszyklusanalysen (LCA) bei der Entscheidung über den optimalen Kreislauf herangezogen werden.

Bei den Recyclingverfahren dominiert derzeit das **werkstoffliche Recycling**<sup>92</sup> und wird wegen des verhältnismäßig geringen Energieaufwands auch weiterhin das zentrale Standbein der Circular Economy von Verpackungen bleiben. Aufgrund der vielfältigen Inputfraktionen wird jedoch ein TechnologiemiX notwendig sein. **Chemisches Recycling** wird es ermöglichen, auch aus schwer werkstofflich zu recycelnden Verpackungen wieder hochwertige Polymere zu gewinnen und damit Rohstoffe einzusparen. Im Vorfeld müssen jedoch für die einzelnen chemischen Verfahren Energiebilanzen erstellt, Emissionen geprüft, Gesundheitsrisiken analysiert und die Umweltbilanz im industriellen Maßstab betrachtet werden. Denn die vielfältigen Verfahren und deren jeweilige Eignung für eine zirkuläre Verwertungslandschaft sollten dabei mit Blick auf ihre Effizienz, Effektivität und den derzeit oftmals noch hohen Energieaufwand bewertet werden. Die weitreichende Optimierung von Recyclingprozessen ist notwendig, um den **Einsatz von Rezyklat** auch in höherwertigen Anwendungen als heute üblich zu ermöglichen.

Der folgende Exkurs bietet eine Übersicht über die Potenziale und Grenzen des werkstofflichen Recyclings von Kunststoffverpackungen.

89 | Vgl. Feil et al. 2017.

90 | Vgl. Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH 2018.

91 | Anthropogenes Lager meint die Lagerstätten von Rohstoffen in den vom Menschen geschaffenen Infrastrukturen, Gebäuden und Gütern des täglichen Gebrauchs. Im anthropogenen Lager befinden sich also die Rohstoffe, die bereits aus ihren natürlichen Lagerstätten entnommen wurden und sich schon beziehungsweise noch in einem Produktlebenszyklus befinden.

92 | Vgl. Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH/BKV GmbH 2020.



## EXKURS: Potenziale und Grenzen des werkstofflichen Recyclings für einen geschlossenen Kunststoffkreislauf

Für die nachhaltige Entwicklung von Kunststoffen müssen geschlossene Wertstoffkreisläufe etabliert werden, also Systeme mit geschlossenen Rohstoffketten, damit die Kunststoffe auch in gleichwertiger Qualität verwendet werden können.

Unter **werkstoffliches Recycling** fallen alle rein mechanischen und physikalischen Aufbereitungsprozesse von gebrauchten Kunststoffen. Die Molekularstruktur des Polymermoleküls wird beim werkstofflichen Recycling beibehalten.<sup>93, 94</sup>

Grundsätzlich ist werkstoffliches Recycling für thermoplastische Kunststoffe und daraus hergestellte Verpackungen möglich. Neben vielen Optimierungen rund um den Wertschöpfungskreislauf ist eine zentrale Frage, ob ein – auch aus Gründen des Klimaschutzes – gewünschter Kreislauf mit Methoden des werkstofflichen Recyclings realisierbar ist und wo dabei die stofflichen und energetischen Grenzen liegen.

Voraussetzung für ein optimales Recycling ist neben der Verpackungsgestaltung eine bestmögliche Trennung und Sortierung der einzelnen Kunststoffsorten, um eine hohe Qualität des zurückgewonnenen Sekundärkunststoffs zu gewährleisten,<sup>95</sup> wobei für Verpackungskunststoffe Folgendes festgestellt werden kann:

1. Ein werkstoffliches Recycling von thermoplastischem Verpackungsmaterial ist auch in mehreren Zyklen grundsätzlich möglich, wenn
  - die Verpackungen recyclingfähig gestaltet sind (Design FOR Recycling),<sup>96</sup>
  - die Kunststoffe nach der Verwendung möglichst getrennt erfasst werden und sauber sind,<sup>97</sup> das heißt, dass die Verpackungen eine optimale Restentleerung fördern, nach der Verwendung also möglichst sauber bleiben,

- die ursprünglich verwendete Additivierung der Kunststoffe der Folgeverwertung nicht im Wege steht<sup>98</sup> beziehungsweise dies auch für zusätzliche Additivierungen in nachfolgenden Zyklen möglich ist,
- der Kunststoff von Anfang an so mit Additiven, insbesondere Antioxidantien und UV-Stabilisatoren, geschützt ist, dass er während der nachfolgenden werkstofflichen Recyclingprozesse so weit wie möglich nicht abgebaut wird und verbrauchte Antioxidantien während des Recyclings wieder einfach zugeführt werden können,
- keines der Additive sowie migrierte Inhaltsstoffe durch den Abbau beim werkstofflichen Recycling Abbauprodukte bilden, die der Wiederverwendung für gleichwertigen Einsatz entgegenstehen,
- der Einsatz von Rezyklatkunststoffen gestärkt wird<sup>99</sup> und Abstriche bei der Verpackungsästhetik und der Materialeffizienz in den Folgeverwendungen gemacht werden können. Eine Herausforderung hierbei ist, dass Verbraucherinnen und Verbraucher nur bedingt starke Vergrauungen und Trübungen der Verpackung oder olfaktorische Belastungen akzeptieren werden, insbesondere wenn diese Veränderungen mit den verpackten Produkten unverträglich wechselwirken oder die Funktion einschränken. Modulare Ansätze zur Trennung von Dekoration und Verpackung könnten hier eine Möglichkeit bieten, auch farbig veränderte Rezyklate einzusetzen.

2. Das werkstoffliche Recycling verändert zwangsläufig die Materialqualitäten, weil bei häufiger Wiederaufbereitung die mechanischen und thermischen Belastungen im Recyclingprozess die Kohlenstoffketten und -netzwerke verändern können.<sup>100</sup> Dies gilt nicht nur für die Kunststoffe, sondern auch für die enthaltenen Additive. Diese werden zum Schutz des Kunststoffs vor Oxidation (Antioxidantien) und vor Lichtalterung (Ultraviolettstrahlungsstabilisatoren) und für eine erweiterte

93 | Vgl. Rudolph et al. 2020.

94 | Vgl. Hellerich et al. 2010.

95 | Vgl. Umweltbundesamt 2020b.

96 | Vgl. Europäische Kommission 2018b.

97 | Vgl. Umweltbundesamt 2016.

98 | Vgl. ebd.

99 | Vgl. ebd.

100 | Vgl. da Costa et al. 2007.

Performance benötigt. Für den Einsatz von Rezyklat in Lebensmittelanwendungen stellen Verunreinigungen wie Füllgutreste, Druckfarben, Klebstoffe und auch die daraus bei thermischer Belastung oder dem Abbau entstehenden Zerfall- oder Abbauprodukte eine Herausforderung dar. Ein reines werkstoffliches Recycling kann angesichts der aktuellen Lücken entlang der Wertschöpfungskette daher nicht allein die Voraussetzung eines geschlossenen Kreislaufprinzips erfüllen, bei dem Materialien immer wieder für den gleichen Zweck eingesetzt werden sollen. Dies ist letztlich bei den meisten Materialien der Fall (Abbau von Papier, Braunfärbung von Glas, Verminderung der Wertigkeit von metallischen Werkstoffen).

3. Außerdem wird es selbst bei idealer Prozessführung Verluste in den Prozessstufen geben.<sup>101, 102</sup> Ein kontinuierlich durchlaufener Kreislauf führt daher zur Verringerung der im Kreislauf zur Verfügung stehenden Materialmenge. Ein kontinuierlicher Ausgleich der Verlustmengen ist erforderlich. Wenn dieser Ausgleich nicht durch fossil-

basiertes Neumaterial erfolgen soll (Klimabeitrag), müssen zwangsläufig andere, nicht-fossile Ressourcen für Neukunststoffe einbezogen werden. Chemische Recyclingtechnologien oder biobasierte Kunststoffe sind mögliche Quellen für nicht-fossilbasierte Neukunststoffe.

4. Für alternative Recyclingverfahren gelten die gleichen Klimaschutzanforderungen wie für werkstoffliches Recycling. Der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck sollte möglichst klein und in jedem Fall kleiner als beim Einsatz von Neuware sein.<sup>103</sup>

**Werkstoffliches Recycling bietet ein hohes Potenzial für die Wiederverwertung von Verpackungsmaterialien. Jedoch sind geschlossene Materialkreisläufe für immer gleiche Anwendungen allein durch werkstoffliches Recycling aufgrund verschiedenster wissenschaftlich-technischer Gegebenheiten nicht möglich. Auch in einer Circular Economy für Kunststoffverpackungen müssen daher Material- und Qualitätsverluste durch Kunststoffe mit Neuqualität ausgeglichen werden.**

Daher wird als eine nicht-fossile Rohstoffquelle mit Neuqualität – neben dem Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen – das chemische Recycling insbesondere für die Verwertung von Kunststoffen aktuell vielfach diskutiert. Der

folgende Exkurs bietet eine Übersicht und Einordnung der darunter geführten Technologien sowie deren Stellenwert und Potenziale für eine Circular Economy von Kunststoffverpackungen.

101 | Vgl. Allwood 2014.

102 | Vgl. Graedel et al. 2019.

103 | Vgl. Ellen MacArthur Foundation/Material Economics 2019.



## EXKURS: Chemisches Recycling

Die öffentliche ebenso wie die wissenschaftliche Debatte zum Thema chemisches Recycling ist durch unterschiedliche Abgrenzungen und die Verwendung unterschiedlicher Begrifflichkeiten für Verfahren gekennzeichnet, die gleiche Verfahrensmerkmale beinhalten und sich daher verfahrenstechnisch überlappen oder identisch sind. Die oft mit einer bestimmten Zielsetzung verbundene Verwendung von Begriffen führt zu Widersprüchen und verhindert die zielgerichtete Auseinandersetzung.<sup>104, 105</sup> Eine Begriffsklärung und -definition ist daher als gemeinsame Arbeitsgrundlage entscheidend.

Die Arbeitsgruppe Verpackungen hat sich auf die Verwendung einer nicht abgeschlossenen Definition geeinigt. Sie basiert auf der Vorarbeit von „In4Climate“, einer Plattform für klimaneutrale Industrie, und erlaubt auch die Integration zukünftiger Verfahren, soweit sie nicht rein werkstofflich sind und das Produkt nicht als Brenn- oder Treibstoff genutzt wird:

**Chemisches Recycling bezeichnet die Gesamtheit aller Verfahren, die einerseits mehr als nur werkstoffliche oder physikalische Vorgänge zur Aufbereitung des Ausgangsstoffs nutzen, aber andererseits nicht zur vollständigen chemischen Umsetzung (Verbrennung) mit Luftsauerstoff führen.**

Nachfolgend werden die derzeit am stärksten diskutierten Verfahren des chemischen Recyclings skizziert. Diese Auflistung ist nicht abschließend, sondern stellt die Bandbreite der Verfahren vor, die unter der oben genannten Definition zum chemischen Recycling gezählt werden:

Unter dem Begriff der **Chemolyse** sind Verfahren wie zum Beispiel Alkoholyse, Hydrolyse und Aminolyse, Phosphorolyse und Acidolyse zusammengefasst, bei denen Polykondensate (zum Beispiel Polyester, Polyurethane, Polyamide) unter Zugabe eines Lösungsmittels, Depolymerisationsreagenz und Wärme in ihre Monomere, Oligomere oder andere chemische

Komponenten aufgespalten werden.<sup>106, 107</sup> Verglichen mit der Pyrolyse, dem Cracken und der Gasifizierung sind die Prozessparameter der Chemolyse mit Drücken zwischen 20 und 40 bar sowie Temperaturen bis 280 Grad Celsius moderat. Dies gelingt besonders gut für getrennt erfasste Materialströme mit geringen Kontaminationen.<sup>108</sup> Im Falle der Glykolyse und Acidolyse können die Prozesse unter Normaldruck bei Temperaturen bis 220 Grad Celsius durchgeführt werden.<sup>109</sup> Werden gemischt gesammelte Fraktionen der Chemolyse zugeführt, erfolgt ebenfalls eine Durchmischung der zurückerhaltenen Monomere. Diese müssen dann in aufwendigen Fraktionierungsprozessen erneut getrennt werden und machen das Verfahren umso unwirtschaftlicher, je mehr Prozessschritte notwendig sind beziehungsweise je reiner das zu erzielende Produkt sein soll.<sup>110</sup>

Die verschiedenen **thermochemischen Verfahren** lassen sich wie folgt charakterisieren:<sup>111</sup>

Durch **Pyrolyse** werden Polymere bei Temperaturen von über 300 Grad Celsius in einer inerten Atmosphäre (keine Oxidation) aufgespalten. Es resultiert in der Regel ein breites Produktspektrum. Dies geschieht über einen radikalischen Kettenspaltungsmechanismus. Je nach Prozessbedingungen entstehen Pyrolysegas, synthetisches Rohöl/Pyrolyseöl und Pyrolysewachs, die durch destillative und veredelnde Schritte zu höherwertigen Chemikalien weiterverarbeitet werden können, beispielsweise zu Monomeren für die Polymerchemie oder zu Grundchemikalien und Treibstoffen. Diese Aufbereitungsschritte können in den Prozess integriert oder in einer konventionellen Raffinerie nachgelagert sein.

Die **Hydrierung** gilt als das technisch sowie wirtschaftlich aufwendigste Verfahren des Monomerrecyclings. Das Verfahren ist mit 150 bis 250 bar und einer Temperatur von 450 Grad Celsius auf deutlich anspruchsvollere Prozessparameter angewiesen als die Verfahrensgruppe der Chemolyse. Größter Vorteil dieses Verfahrens ist die Anwendbarkeit der Hydrierung auf das Recycling der Materialklasse Polyvinylchlorid (PVC).<sup>112</sup>

104 | Vgl. Crippa et al. 2019.

105 | Vgl. Krause et al. 2020.

106 | Vgl. Al-Salem et al. 2009.

107 | Vgl. Solis/Silveira 2020.

108 | Vgl. Ragaert et al. 2017.

109 | Vgl. Hanich 2019.

110 | Vgl. Ragaert et al. 2017.

111 | Vgl. Lechleitner et al. 2020.

112 | Vgl. Hellerich et al. 2010.

Beim **katalytischen Cracken** wird im Vergleich zur Pyrolyse zusätzlich ein Katalysator verwendet. Dieser setzt die Aktivierungsenergie der Kettenspaltungsreaktion herab und beeinflusst das Produktspektrum. Problematisch für den Prozess können sich Heteroatome wie Stickstoff, Sauerstoff oder Schwefel auswirken, da diese als Katalysatorgifte wirken können.

Im Vergleich zur Pyrolyse erfolgt das **Hydrocracken** zusätzlich unter Zugabe von Wasserstoff bei Partialdrücken von 20 bis 150 bar. Oft wird ein bifunktionaler Katalysator verwendet. Durch die Verfügbarkeit von Wasserstoff werden hauptsächlich gesättigte und aromatische Kohlenwasserstoffverbindungen gebildet. Der Prozess kann auch zweistufig mit vorgeschalteter Pyrolyse und nachgeschalteter Hydrierung durchgeführt werden. Dies bietet den Vorteil, dass Heteroatome, Störstoffe und Koks in einem Zwischenschritt nach der Pyrolyse entfernt werden können, wodurch der Katalysator geschont wird.

Die **Gasifizierung** wird bei partieller Oxidation mittels Luft, Sauerstoff, Dampf oder Mischungen von Kohlenwasserstoffen üblicherweise bei Temperaturen zwischen 700 und 1.600 Grad Celsius und Drücken zwischen 10 und 90 bar durchgeführt. Die Kohlenwasserstoffe werden dabei in der Regel partiell umgesetzt. Das Produktgas enthält je nach Prozessbedingungen und Einsatzstoffen Kohlenstoffmonoxid (CO) und Wasserstoff (H<sub>2</sub>), aber auch Methan (CH<sub>4</sub>) und höherwertige Kohlenwasserstoffe, gegebenenfalls mit Heteroatomen. Die Reaktion verläuft autotherm, das heißt, durch exotherme Teilreaktionen, bei denen Energie frei wird, werden die Teilreaktionen gespeist, die unter Energieaufnahme ablaufen. Dadurch benötigt der Prozess keine äußere Energiezufuhr. Die Gasreinigung im Folgeschritt ist wichtig, da die Folgeprozesse in der Wertschöpfungskette überwiegend katalytisch und daher empfindlich gegenüber Verunreinigungen sind.

Das Verfahren des **katalytischen Reforming** von Naphta/Pyrolyseöl hat die Umwandlung zu aromatischen Verbindungen zum Ziel. Dabei laufen vier Reaktionen ab: Dehydrierung von Cycloalkanen zu Aromaten, Dehydrozyklisierung von Paraffinen zu Aromaten, Isomerisierung und Hydrocracking von Alkanen zu verzweigten beziehungsweise kurzkettigen Alkanen.<sup>113</sup>

Die beschriebenen Verfahren haben unterschiedlichste Reifegrade. Es besteht keine Transparenz im Hinblick auf Wirkungsgrade und Kosten. Viele vermeintlich sachliche Veröffentlichungen sind tendenziös oder unvollständig. Eine Bewertung auf Basis von Veröffentlichungen ist daher nicht möglich.

Getrieben durch die steigende Nachfrage der Polymerchemie nach recyclingbasierten Grundstoffen gibt es erste semi-kommerzielle Projekte. Der Wettbewerb dient der Entwicklung eines Markts für diese neuen Ressourcen. Die technische Machbarkeit ist unstrittig, strittig sind hingegen die Effizienz, die Wirtschaftlichkeit sowie die Beiträge der unterschiedlichen Verfahren zum Klimaschutz.<sup>114</sup> Hier ist die Politik gefordert, einheitliche Kriterien für die Nachhaltigkeitsbewertung bereitzustellen sowie die Investitionen in Bau und Betrieb von Pilotanlagen zu fördern. Diese können dann die Daten für Massen-, Energie- und Kohlenstoffbilanzen liefern, die – aufbereitet nach einem einheitlichen Muster – Voraussetzung für die Formulierung regulatorischer Maßnahmen auf dem Weg in die Kreislaufwirtschaft sind. Grundsätzlich gilt, dass die unterschiedlichen Technologien im Vergleich zu konkurrierenden Verwertungsrouten und im Kontext sich langfristig verändernder Systembedingungen zu bewerten sind. Neben der technischen Perspektive auf das chemische Recycling ist daher auch der systemische Blick auf eine klima- und ressourcenschonende Kreislaufführung von Kunststoffen nicht zu vernachlässigen.

In chemischen Recyclingverfahren steckt noch viel Entwicklungspotenzial. Als Verwertungsrouten für Kunststoffabfälle, für die kein werkstoffliches Recycling (mehr) möglich ist, und als klimaschonendere Alternative zur Verbrennung können sie eine gute Möglichkeit darstellen. Bestimmte Verfahren bieten das Potenzial, wieder das reine, ursprüngliche Polymer (Virgin Quality) zu erzeugen. Dieses kann als Beimischung zu werkstofflichem Rezyklat verwendet werden, um die erforderlichen Qualitätsanforderungen an ein Rezyklat sicherzustellen. Im Vorfeld müssen jedoch für die einzelnen chemischen Verfahren noch Energiebilanzen erstellt, Emissionen geprüft, Gesundheitsrisiken analysiert und die Umweltbilanz im industriellen Maßstab betrachtet werden.<sup>115</sup> Dann besteht die Chance, dass sich aus dem breiten Spektrum an Verfahren Schlüsseltechnologien herauskristallisieren, die entscheidend zu einer klimaneutralen Kreislaufwirtschaft beitragen.

113 | Vgl. Speight 2010.

114 | Vgl. Rollinson/Oladejo 2020.

115 | Vgl. Tabrizi et al. 2020.

Aus diesen beiden Perspektiven, Inverkehrbringen von Verpackungen und Rahmenbedingungen für die Kreislaufführung, lassen sich im Folgenden Zielsetzungen ableiten, die anhand zweier Zirkularitätsstrategien in einem Szenario für 2030 und 2050 modelliert werden.

### 3.3.2 Szenario: Wie sähe eine zirkuläre Verpackungsindustrie 2030 und 2050 aus?

Die nachfolgend dargestellte Entwicklung eines Szenarios wurde vom Stiftungsfonds für Umweltökonomie und Nachhaltigkeit in Auftrag gegeben und vom Wuppertal Institut realisiert. Es wird modelliert, welche CO<sub>2</sub>e-Einsparung sich durch die Anwendung von Zirkularitätsstrategien für das Jahr 2030 beziehungsweise 2050 ergibt. Aufbauend auf der Ist-Betrachtung wird ein Markthochlauf bis 2050 unter „Business as Usual“-Annahmen vorgenommen. Dem gegenüber steht die Betrachtung eines Zirkularitätsszenarios für 2050.

#### Basismodell

Das Aufkommen an Kunststoffabfällen pro Kopf hat sich in Deutschland in den letzten zwanzig Jahren mehr als verdoppelt. Obwohl die Industrie die Materialeffizienz stetig steigert, wird der relative Einspareffekt durch kontinuierlich zunehmende Verpackungsmengen mehr als überkompensiert. Bei einem anhaltenden jährlichen Wachstum von 1,5 Prozent würde die Menge der verar-

beiteten Kunststoffe im Verpackungsbereich bis 2030 auf 4,8 Millionen Tonnen und bis 2050 auf 6,5 Millionen Tonnen ansteigen. Damit würden die jährlichen CO<sub>2</sub>Emissionen ohne weitere Interventionen auf circa 13 Millionen Tonnen pro Jahr ansteigen, das entspräche circa 1,6 Prozent der Emissionen im Jahr 2018.

Um eine klimaneutrale Circular Economy in der Verpackungsindustrie zu erreichen, ist eine Kombination von Zirkularitätshebeln notwendig, die im Zirkularitätsszenario modelliert werden sollen:

- Ersatz von Primärmaterial durch Sekundärmaterial (Mehrfachnutzung des Materials, Rezyklateinsatz aus dem werkstofflichen und chemischen Recycling), wo sinnvoll und möglichst unter Betrachtung der Rezyklatherkunft und des derzeitigen Nachgebrauchsszenarios,
- Reduktion des Gesamtverbrauchs (reduzierte Nachfrage durch Materialeffizienz und Re-Use, mehrere Lebenszyklen derselben Verpackung).

#### Zirkularitätsszenario

Die Zirkularitätsstrategien zahlen auf zwei Zielsetzungen ein: 1. **Reduktion des Gesamtverbrauchs** in Verkehr gebrachter Materialien und 2. Entkopplung von primärem Kunststoff (Virgin Plastic) (**Defossilierung**). Dazu werden einige Hebel kombiniert, die im vorigen Kapitel vorgestellt wurden:

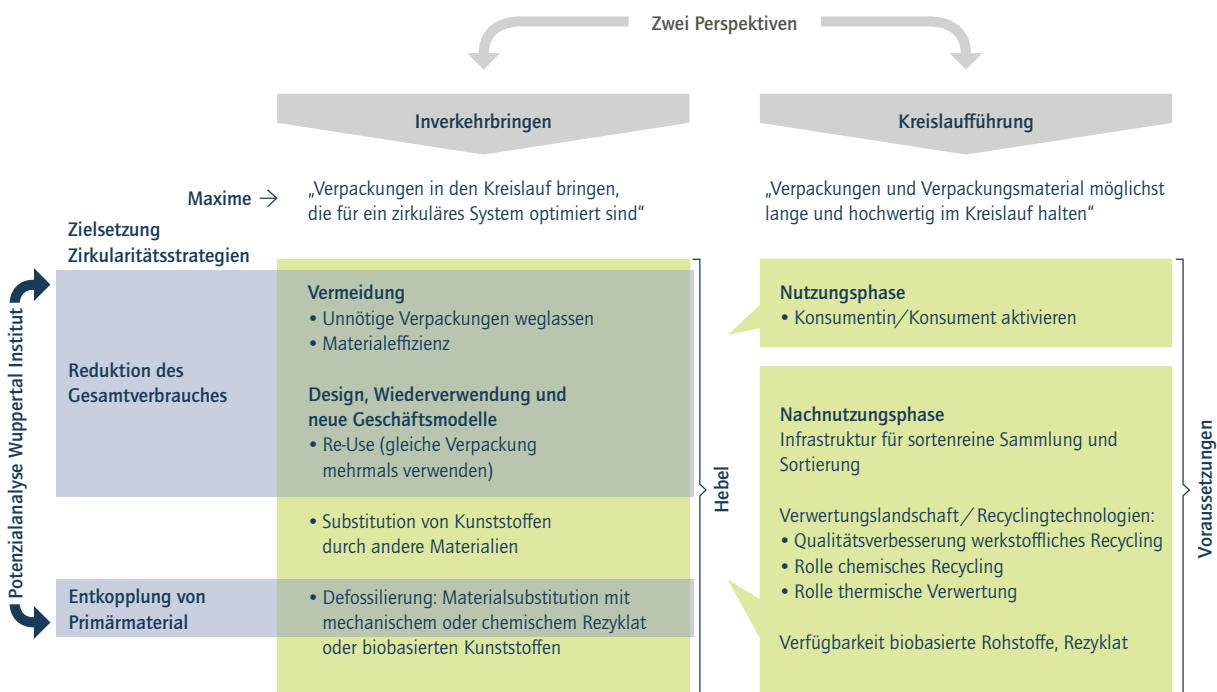


Abbildung 10: Struktur des Zielbilds 2030/2050 und der Modellierung (Quelle: eigene Darstellung)



Das Zirkularitätsszenario geht vom dargestellten Startwert aus, dass 9,1 Prozent Kunststoffrecycling im Jahr 2017 wieder zu Verpackungen verarbeitet wurden,<sup>116, 117</sup> und basiert auf Inputs der Expertinnen und Experten aus der Arbeitsgruppe. Die Ziele, die bis 2030 respektive 2050 erreicht werden sollen, sind in Tabelle 1 dargestellt.

	2030	2050
Rezyklat aus dem werkstofflichen Recycling	25 %	40 %
Rezyklat aus dem chemischen Recycling	0 %	20 %
Re-Use	20 %	20 %

Tabelle 1: Zielbild für die Zirkularitätshebel bei Kunststoffverpackungen (Quelle: eigene Darstellung)

Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich diese Werte auf den Kunststoffverpackungssektor insgesamt beziehen; speziell im Nicht-Lebensmittelbereich haben sich eine Reihe zentraler Akteure auf noch ambitioniertere Zielwerte verpflichtet,<sup>118</sup> sodass diese Werte als Durchschnitt aus Verpackungen mit und ohne Lebensmittelkontakt zu verstehen sind. Die Werte liegen damit in Größenordnungen, wie sie auch in anderen Szenarien zum Verpackungssektor zugrunde gelegt wurden.<sup>119, 120, 121</sup> Aufgrund der im Exkurs „Biokunststoffe“ dargestellten erheblichen Unterschiede in der Lebenszyklusbetrachtung (LCA) von biobasierten Kunststoffen wurde dieser Hebel nicht mitmodelliert.

Für die Bewertung der mit diesem Zielbild verbundenen CO<sub>2</sub>-Einspareffekte wurde auf Lebenszyklusanalysen nach ISO-14040/14044-Standard der Association of Plastics Recyclers (APR)<sup>122</sup> zurückgegriffen, die die Einsparungen für Polyethylen (HDPE), Polyethylenterephthalat (PET) und Polypropylen (PP) durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen bestimmt haben. Als Allokationsmechanismus wurde hier ein Open-Loop-Ansatz gewählt, das heißt, die positiven Effekte des Recyclings werden gleichmäßig über alle Nutzungszyklen verteilt. Aus dem Spektrum möglicher Verfahren zum chemischen Recycling wurde das an der Technischen Universität Delft entwickelte Ioniqa-Verfahren

herangezogen. Zur Berechnung der Einsparungen durch Re-Use wurden LCA-Analysen verwendet, die zwischen Business-to-Business(B2B)- und Business-to-Consumer(B2C)-Ansätzen differenzieren. Die ausführliche Beschreibung der verwendeten Datengrundlagen und der getroffenen Annahmen findet sich im Anhang E.

Um die Einsparpotenziale von Treibhausgas der unterschiedlichen Zirkularitätshebel in der Zukunft zu bewerten, wird die Entwicklung des Strommixes von besonderer Bedeutung sein, da die Einsparpotenziale der Zirkularitätshebel zu sehr unterschiedlichen Anteilen von Prozessemissionen abhängig sind.<sup>123</sup> So haben Analysen im Rahmen des Projekts ChemCycling gezeigt, dass beispielsweise chemisches Recycling aktuell mit deutlich höheren Prozessemissionen verbunden ist als fossilbasierter Kunststoff, im Endeffekt aber deutlich besser abschneidet, wenn Energiesubstitutionen einberechnet werden.<sup>124</sup> Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Ökobilanzierung des chemischen Recyclings in hohem Maße vom zukünftigen Ausbau erneuerbarer Energien abhängt. Bei künftig steigenden Anteilen erneuerbarer Energien könnten sich dann zum Beispiel auch Carbon-Capture- und Carbon-Utilization-Verfahren zur Produktion von Polymeren im Sinne des Klimaschutzes rechnen.<sup>125</sup>

## Diskussion der Ergebnisse

Werden Rezyklate aus der werkstofflichen Verwertung sowie Produkte aus dem chemischen Recycling von Kunststoffabfällen stärker eingesetzt und wiederverwendbare Verpackungen stärker genutzt, lassen sich mittel- und langfristig erhebliche Mengen an CO<sub>2</sub>e-Emissionen einsparen. Wenn der Rezyklateinsatz aus dem werkstofflichen Recycling kontinuierlich auf 40 Prozent gesteigert wird, würden bis 2050 pro Jahr im Durchschnitt circa 1,9 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>e eingespart, bei einer Steigerung des Anteils von 20 Prozent aus dem chemischen Recycling 1,2 Millionen Tonnen. Die verstärkte Nutzung wiederverwendbarer Verpackungssysteme könnte etwa eine Million Tonnen CO<sub>2</sub>e-Emissionen einsparen (für die dabei zugrunde gelegten Annahmen siehe Anhang E). Gleichzeitig zeigen diese Modellergebnisse

116 | Vgl. Conversio 2018.

117 | Die Berechnungen wurden bereits vor Veröffentlichung der Conversio-Studie aus dem Jahr 2020 durchgeführt und beziehen sich daher auf die Conversio-Studie aus dem Jahr 2018.

118 | Vgl. Henkel 2020b.

119 | Vgl. Ellen MacArthur Foundation 2013.

120 | Vgl. Material Economics 2019.

121 | Vgl. Kaeb et al. 2016.

122 | Vgl. Franklin Associates 2018.

123 | Im Rahmen der hier verwendeten Analysen wurde vom aktuellen europäischen Strommix ausgegangen.

124 | Vgl. BASF 2020.

125 | Vgl. Bringezu 2014.



aber auch, dass ohne zusätzliche Maßnahmen sowohl die Klimaneutralität als auch die geschlossene Kreislaufführung selbst im Jahr 2050 noch deutlich verfehlt würden.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass es im Hinblick auf Klima- und Ressourcenschutz von deutlich untergeordneter Relevanz ist, für welche konkreten Polymertypen zirkuläre Alternativen entwickelt werden. Hauptsache ist, dass diese ganz grundsätzlich verstärkt in die Anwendung kommen. So liegen beispielsweise die Einsparpotenziale für den Einsatz von Rezyklat von Polyethylenterephthalat (PET), High-Density-Polyethylen (HDPE) oder Polypropylen (PP) in sehr ähnlichen Größenordnungen. Sie schneiden alle deutlich besser ab als der Einsatz von immer wieder primärem Kunststoff. Diese Erkenntnis ist relevant für die Diskussion, wie die Kunststoffvielfalt zukünftig reduziert werden sollte. Aus welchen Sorten die künftigen Massenkunststoffe der Verpackung bestehen, sollte prioritär aufgrund funktionaler Anforderungen an Verpackungen entschieden werden. Die Einsparpotenziale von Treibhausgas einzelner Kunststoffsorten können bei dieser Wahl außen vor gelassen werden, da sie sich kaum unterscheiden.

Mit Blick auf konkrete Anwendungsbereiche zeigt sich, dass der Hochlauf zirkulärer Alternativen kurzfristig insbesondere im Non-Food-Bereich zu Einsparungen von Treibhausgasemissionen führen wird, weil hier die rechtlichen Herausforderungen vergleichsweise einfacher zu handhaben sind als bei Verpackungen

mit Lebensmittelkontakt. Aus Sicht des Klima- und Ressourcenschutzes zeigt sich, dass die Wiederverwendung von Verpackungen aufgrund der notwendigen Logistik insbesondere im B2B-Bereich mit noch höheren Einsparpotenzialen verbunden sein könnte.

Insgesamt unterstreicht die Modellierung möglicher Einsparpotenziale die Notwendigkeit einer systemischen Betrachtung, die neben der Funktionalität der Verpackungen insbesondere auch die reale Verfügbarkeit hochwertiger Rezyklate berücksichtigen muss – so führt ein verstärkter Einsatz von recyceltem Material nur dann zu positiven Umwelteffekten, wenn hierfür zusätzliche Kunststoffabfälle einem hochwertigen Recycling zugeführt werden und diese Rezyklatmengen nicht aus anderen Sektoren abgezogen oder aus dem Ausland importiert werden.

Die Modellierung zeigt aber ebenso deutlich, dass sowohl eine Klimaneutralität als auch eine zirkuläre Wirtschaft mit defosilierten Kreisläufen selbst 2050 verfehlt wird, wenn man nur die derzeit existierenden Vorhersagen heranzieht. Wenn das klimaneutrale Ziel in der Europäischen Union und in Deutschland auch für den Sektor der Kunststoffverpackungen erreicht werden soll, müssen zusätzlich miteinander kompatible technologische und ökonomische Voraussetzungen erfüllt sein (siehe Exkurs: Gedankenexperiment auf Seite 52). Der Entwicklung geeigneter Rahmenbedingungen kommt damit eine besondere Bedeutung zu.

## 4 Den Kreislauf schließen anhand zweier Fallbeispiele: Waschmittel- und Käseverpackung

Damit eine klimaneutrale Circular Economy in der Verpackungswirtschaft umgesetzt werden kann, können übergeordnet betrachtete Zirkularitätsstrategien, wie in Kapitel 3 ausgeführt, nur Denkanstöße liefern. Für die konkrete Umsetzung in der Praxis bedarf es einer vertieften Betrachtung der unterschiedlichen (technischen) Anforderungen und Rahmenbedingungen für einzelne Verpackungsanwendungen. Zu diesem Zweck stellt die Arbeitsgruppe Verpackungen in Kapitel 4 zwei exemplarische Anwendungsfälle vor und untersucht diese auf ihr Zirkularitätspotenzial und ihre Herausforderungen bei der Umsetzung. Im Praxistest stehen

- die Polyethylen(High-Density-Polyethylen – HDPE)-Flasche für Waschmittel und
- die Schale aus Polyethylenterephthalat (PET) als Verpackung für Käse.

Bei der Auswahl dieser Anwendungsfälle wurden verschiedene Kriterien berücksichtigt. Sowohl HDPE-Flaschen als auch PET-Schalen fallen im Abfallstrom der Dualen Systeme mit circa 30.000 bis 75.000 Tonnen insgesamt an.<sup>126</sup> Im Falle der HDPE-Flaschen erhöhen HDPE-Stoffströme aus anderen Bereichen als Verpackungen zudem die Materialstrommenge. Neben der mengenmäßigen Relevanz bilden die beiden Beispiele unterschiedliche Gegebenheiten im Status quo ab, da sie sich sowohl im

Verpackungsinhalt (Lebensmittel versus Reinigungsmittel) als auch im heutigen Verwertungsweg (weitgehend werkstoffliches Recycling versus Verbrennung) unterscheiden. Damit decken die gesammelten Erkenntnisse die Anforderungen vieler anderer Verpackungsstrukturen ab und eignen sich in Summe zur Ableitung allgemeiner Aussagen.

### 4.1 Waschmittelverpackung (HDPE-Flasche)

Flaschen aus High-Density-Polyethylen (HDPE-Flaschen) gehören zu den Verpackungen, die europaweit schon am längsten systematisch gesammelt, sortiert und recycelt werden. Darüber hinaus ist das Flaschendesign bereits überwiegend auf gute Sortier- und Rezyklierbarkeit optimiert. Allerdings werden die resultierenden Rezyklate überwiegend dem Verpackungsmarkt entzogen, in anderen Bereichen, zum Beispiel in Abwasserrohren, eingesetzt und gehen damit für weitere Nutzungszyklen verloren. Außerdem ist die eingesetzte Recyclingtechnik überwiegend nicht an die Erfordernisse des Verpackungsmarkts angepasst und kann daher keine entsprechend hochwertigen Qualitäten liefern. Es besteht also ein erheblicher technologischer Anpassungsbedarf bei existierenden Kapazitäten oder der Bedarf nach neuen Kapazitäten, die auf die erneute Verwendung der Rezyklate zur Herstellung von Flaschen eingestellt sind.

#### 4.1.1 Anforderungen an die Funktionalität einer Waschmittelflasche

Die folgende Grafik fasst die Anforderungen an Waschmittelverpackungen entlang des Lebenszyklus zusammen. Diese Anforderungen setzen den Rahmen für jegliche Innovation, um eine Verpackung für Waschmittel im Kontext Zirkularität neu zu denken.

126 | Verlässliche Daten über in Verkehr gebrachte Mengen an HDPE-Flaschen beziehungsweise PET-Schalen im deutschen oder europäischen Markt gibt es nicht. Das Verpackungsregister LUCID sollte dies für Deutschland in naher Zukunft ermöglichen und damit für mehr Transparenz sorgen. Basierend auf einer unveröffentlichten Untersuchung der Hochschule Pforzheim sind im Abfallstrom der Dualen Systeme circa 2,3 Prozent HDPE-Flaschen und 2,8 Prozent PET-Schalen zu finden. Hier werden Schwankungen zwischen 2 und 5 Prozent angenommen. Bei 1,5 Millionen Tonnen erfasster Abfallmenge im Dualen System Deutschland sind dies jeweils 30.000 bis 75.000 Tonnen HDPE-Flaschen beziehungsweise PET-Schalen, die im Abfallstrom des Dualen Systems Deutschland ankommen.

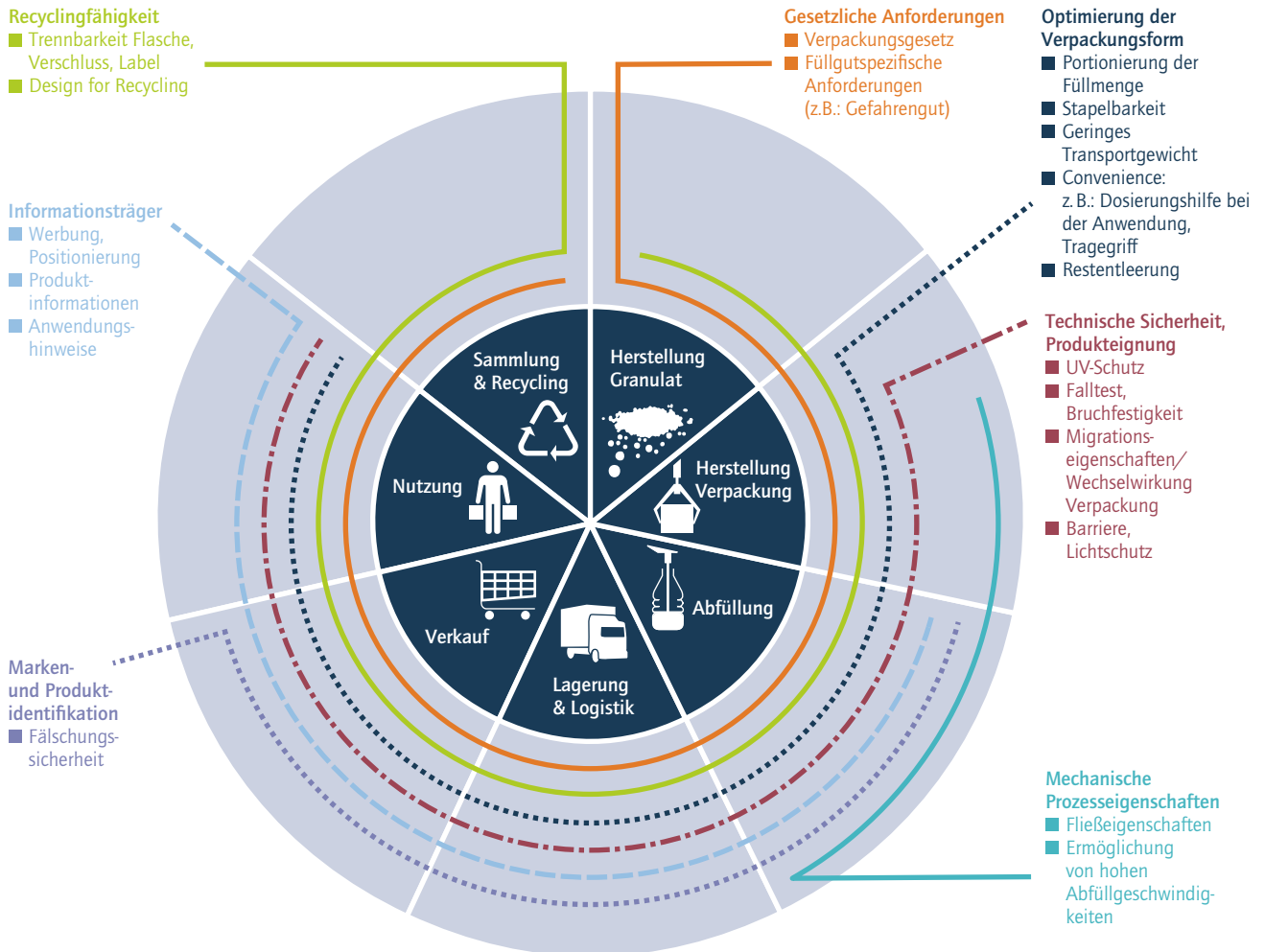


Abbildung 11: Exemplarische Darstellung von Anforderungen an eine Waschmittelverpackung (Quelle: eigene Darstellung)

#### 4.1.2 Status quo

Für heute gängige Polyethylen(HDPE)-Waschmittelflaschen gibt es verschiedenste Verpackungskonzepte. Die Flaschen haben verschiedene Farben, sind mit Klebeetikett (Papier, Polyethylen (PE), Polypropylen (PP)) oder einem Folienetikett über die gesamte Flasche, einem Full Body Sleeve (Polyethylenterephthalat (PET), Polystyrol (PS), Polyolefine (PO)) versehen, haben verschiedenartige Verschlüsse (PE, PP) und gegebenenfalls weitere Zusätze wie beispielsweise Dosiersysteme.

Polyethylenflaschen werden mehrheitlich mit den Systemen „Gelber Sack“ oder „Gelbe Tonne“ zusammen mit allen anderen

Verpackungen erfasst. Der Abfallstrom der Dualen Systeme geht nach der Sammlung in die Sortieranlage, in der er nach verschiedenen Materialarten (Fraktionen) sortiert wird. Eine Siebtrommel sortiert zuerst Kleinteile aus, ein Windsichter entfernt Folien, und mittels Nahinfrarotspektroskopie wird der übrige Strom in Fraktionen sortiert. So entsteht die Fraktion aus High-Density-Polyethylen (HDPE), die zu einem Ballen verpresst und vom Sortierer weiterverkauft wird.

Nachdem die automatisierte Sortierung von HDPE-Flaschen seit längerem Stand der Technik ist, kann davon ausgegangen werden, dass HDPE-Flaschen, die einmal gesammelt sind, zu einem hohen Anteil auch sortiert und dem Recycling zugeführt werden.

Da die HDPE-Fraktion Erlöse bringt, achten Sortierer in Deutschland darauf, dass die Flaschen nicht in die Mischkunststofffraktion gelangen.

Die Aufbereitung der HDPE-Fraktion erfolgt in verschiedenen Prozessschritten. Je nachdem, in welche Anwendung das Rezyklat geht und welche Rezyklatqualität dafür nötig ist, besteht der Aufbereitungsprozess aus wenigen oder mehreren Prozessschritten. Diese werden je nach Recyclingverfahren in unterschiedlicher Weise kombiniert. In Anlagen für hochwertiges HDPE-Rezyklat wird der ankommende HDPE-Ballen geschreddert, heiß gewaschen und nochmals nachsortiert. Das bunte Gemisch aus gewaschenen Flakes wird nach Farben sortiert. Danach wird das Material im Extruder aufgeschmolzen und zur weiteren Reinigung nochmals eine Schmelzfiltration durchgeführt. Aus dem gewonnenen HDPE-Granulat können beispielsweise wieder Non-Food-HDPE-Flaschen hergestellt werden.

Dieser vielstufige Aufbereitungsprozess wird jedoch nur mit etwa 7 bis 9 Prozent der HDPE-Fraktion durchlaufen. Das restliche HDPE-Rezyklat wird primär in minderwertigeren Anwendungen eingesetzt, wie beispielsweise Baustoffen, Paletten oder Bewässerungsrohren. Für diese Anwendungen ist der Aufbereitungsprozess deutlich vereinfacht, es findet beispielsweise keine Heißwäsche oder Flakes-Sortierung statt.

Das Spannungsfeld liegt zwischen den Kosten der Aufbereitung und dem am Markt zu erzielenden Rezyklatpreis. Je aufwendiger der Aufbereitungsprozess ist, desto teurer wird das Rezyklat. Hochwertiges Rezyklat („natural“ oder „white“) hat derzeit am Markt den deutlich geringeren Anteil. Das mengenmäßig überwiegende Rezyklat („grey/black“) ist minderwertig (Farbe und Geruch) und im Allgemeinen für Primärverpackungen von Konsumgütern nicht zu gebrauchen. Hochwertiges Rezyklat wird fast immer zu höheren Preisen gehandelt als die qualitativ bessere Neuware, weil im Markt eine hohe Nachfrage besteht (durch die Selbstverpflichtungen der Hersteller<sup>127</sup>). Das minderwertige Rezyklat kann nur im Downgrading, beispielsweise als Baumaterial, für Abwasserleitungen oder für Blumentöpfe eingesetzt werden. Hier liegen die Preise aufgrund des Überangebots und der schlechten Qualität deutlich unter denen von Neuware. Ist der für die Recycler erzielbare Mischpreis inklusive der Gewinn-

spanne und der Einnahmen aus dem Dualen System trotzdem nicht hoch genug, so fehlen ihnen die finanziellen Mittel, um in bessere Sortierung und Aufbereitung zu investieren und daraus mehr hochwertiges Rezyklat mit entsprechendem Preisaufschlag herzustellen.

Ein Ansatz, um dieses Spannungsfeld zu minimieren, ist die Reduktion von Verpackungskomplexität. Je standardisierter das Verpackungsdesign (Aufbau, Material, Farbe etc.) ist, desto schlanker kann der Sortier- und Aufbereitungsprozess auch für die Generierung von hochwertigem Rezyklat werden. Der Zielkonflikt, den es hier zu lösen gilt, ist: Wie motiviert man den vorderen Teil der Wertschöpfungskette zur Änderung des Verpackungsdesigns, wenn von dessen Umstellung dann im ersten Schritt „nur“ der Recycler profitiert? Hier wird deutlich, dass ein geschlossener Kreislauf nur über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg etabliert werden kann. Im Verpackungsgesetz wurde die ökologische Gestaltung von Beteiligungsentgelten beschlossen,<sup>128</sup> dies ist ein erstes Instrument, um die notwendige Kostenumverteilung zu regeln. Allerdings wird dieses Instrument derzeit noch nicht vollumfänglich genutzt, beziehungsweise bedarf es einer regulatorischen Nachjustierung. Die Boni für recyclingfähige Verpackungen sind gegenwärtig gering, und mögliche Boni für den Einsatz von Rezyklat werden gar nicht angeboten.

### 4.1.3 Zirkularitätsstrategien und Hebel für die Waschmittelverpackung

Trotz der beschriebenen Herausforderung, dass alle Beteiligten der Wertschöpfungskette ihren Beitrag leisten müssen, werden bereits zahlreiche Zirkularitätsstrategien und Hebel für die Waschmittelverpackung erprobt oder angewendet.

Zur **Vermeidungsstrategie** zählen beispielsweise Waschmittelkonzentratlösungen. Sie ermöglichen es, eine Produktmenge für die gleiche Anzahl an Waschgängen in einer deutlich kleineren Verpackungsgröße anzubieten, und reduzieren dabei gleichzeitig auch das Transportgewicht um ein Vielfaches. Das Konzept wird beispielsweise bereits von Truman's<sup>129</sup> in den USA, Splosh<sup>130</sup> in Großbritannien und everdrop<sup>131</sup> in Deutschland umgesetzt. Auch Unverpacktkonzepte, realisiert durch Abfüllstationen im

127 | Vgl. New Plastics Economy 2019: Im Rahmen der *New Plastics Economy Global Commitment Initiative* der Ellen MacArthur Foundation verpflichten sich 450 Organisationen, die 20 Prozent der weltweiten Plastikverpackungen produzieren, den Plastikverbrauch zu reduzieren und dessen Zirkularität zu fördern.

128 | Vgl. Bundesanzeiger 2017.

129 | Vgl. Truman's s. a.

130 | Vgl. Splosh 2020.

131 | Vgl. everdrop s. a.

Einzelhandel, werden beispielsweise bei Kaufland<sup>132</sup>, Rossmann oder DM<sup>133</sup> bereits in der Praxis getestet.

Während die bisher aufgeführten Lösungen nur in Nischenmärkten Anwendung finden, sind Refill-Systeme, beispielsweise mit Standbodenbeuteln, bereits etabliert. Die Herstellung solcher Beutel benötigt weit weniger Material als Polyethylen(HDPE)-Flaschen. Die Kundinnen und Kunden können das Waschmittel also im Standbodenbeutel (nach)kaufen und zu Hause in ihre HDPE-Flasche umfüllen. Indem man die Nachfüllpackungen zudem in großen Größen anbietet, kann weiteres Verpackungsmaterial eingespart werden. Voraussetzungen für die Sinnhaftigkeit des Nachfüllsystems sind allerdings einerseits die Möglichkeit, Sekundärmaterial unter Betrachtung der Rezyklatherkunft einzusetzen, und andererseits die Recyclingfähigkeit des Beutels. Während HDPE-Flaschen bereits einen etablierten Recyclingstrom haben, muss für die Beutel flächendeckend sichergestellt sein, dass sie erstens recyclingfähig sind und zweitens auch vonseiten der Recycler ein Interesse daran besteht, die Beutel zu recyceln.

Um die Polyethylenflasche selbst im Kreislauf zu führen, ist **kreislauffähiges Design** ein wichtiger Stellhebel. Hier wurden bereits Richtlinien entwickelt, beispielsweise von RecyClass<sup>134</sup> oder vom FH Campus Wien.<sup>135</sup> Ein wichtiger Aspekt ist hier die Verwendung von Monomaterial. Zudem muss eine **Trennbarkeit der Komponenten**, zum Beispiel von Flasche und Etikett, gewährleistet sein. Beispielsweise muss die Löslichkeit der Etiketten gegeben sein und sichergestellt werden, dass der Klebstoff bei Trennung auf dem Etikett verbleibt, sodass er mit dem Etikett ausgeschleust wird und den Recyclingprozess nicht stört.<sup>136</sup> Für die derzeit übliche Nahinfrarotsortierung sollten die Etiketten zudem maximal fünfzig Prozent der Verpackungsoberfläche einnehmen oder materialidentisch sein, damit das Material der Verpackung richtig erkannt werden kann. Mit Veränderung der Sortiertechnologie können sich diese Anforderungen ändern. Digitale Wasserzeichen auf der Verpackung können die benötigte Information zur Prozessführung von Sortierung und Recycling sicherstellen (nähere Ausführungen dazu siehe Kapitel 4.3).

Außerdem kann eine erhöhte Rezyklatqualität durch den Verzicht auf Einfärbung erreicht werden. Insgesamt sollte die **Farb-**

**vielfalt reduziert** werden, opake und rußbasierte Einfärbungen wenn möglich vermieden und weiße oder naturfarbene Lösungen bevorzugt werden. Ein industrieweiter, gemeinsamer Weg wäre hier eine Standardisierung von Farben. Damit könnte erreicht werden, dass Rezyklate weniger schnell grau werden. Einer solchen Standardisierung stehen jedoch Marketingaspekte entgegen, beispielsweise zur Markenerkennung durch eine bestimmte Farbe. Auch die Akzeptanz der Konsumentinnen und Konsumenten gegenüber grauen Verpackungen ist bisweilen gering. Hier müsste sich Grau als Erkennungsfarbe für Rezyklateinsatz etablieren, ähnlich wie es bei Braun und Recyclingpapier bereits der Fall ist. Eine Möglichkeit, hier Abhilfe zu schaffen, sind Folienetiketten, sogenannte Sleeves, da sie Bedruckungen erlauben, aber Masseinfärbungen des HDPE vermeiden.<sup>137, 138</sup> Damit die Flaschen mit Sleeves richtig sortiert werden können, müssten jedoch in vielen Fällen erst neue Sleeve-Materialien entwickelt und eingesetzt werden oder digitale Wasserzeichen als Sortiertechnologie etabliert sein.

Nicht nur die Recyclingfähigkeit, sondern auch der **Rezyklateinsatz** bei Waschmittelflaschen ist in der Praxis schon etabliert. Einige Hersteller nutzen bereits Post-Consumer-HDPE-Rezyklat – entweder gemischt mit Neuware oder auch reines Rezyklat – für die Herstellung neuer Flaschen.<sup>139, 140</sup> Eine Herausforderung hierbei besteht darin, eine genügend große Menge an hochwertiger und konstanter Rezyklatqualität zu generieren.

## 4.2 Käseverpackung (PET-Schale)

Der Anwendungsfall Polyethylenterephthalat(PET)-Schale als Käseverpackung ist aufgrund der hohen lebensmitteltechnischen Anforderungen vergleichsweise komplex. Anders als bei der Polyethylenflasche ist bisher kaum eine Käseverpackung recyclingfähig design, da insbesondere der Zielkonflikt zwischen Lebensmittelhaltbarkeit und recyclingfähigem Verpackungsdesign eine große Herausforderung darstellt. Das derzeit in den Schalen vorkommende Rezyklat stammt aus dem bepfandeten PET-Flaschenstrom. Da hier durch die separate Pfandsammlung ein bereits weitestgehend harmonisierter Materialstrom existiert und Kreuzkontaminationen ausgeschlossen werden können,

132 | Vgl. Teraz Media 2020.

133 | Vgl. MDR 2020.

134 | Vgl. RecyClass 2020.

135 | Vgl. FH Campus Wien 2019.

136 | Vgl. Henkel 2019.

137 | Vgl. Vernel s. a.

138 | Vgl. Packaging Journal 2020b.

139 | Vgl. Werner & Mertz Gruppe 2016.

140 | Vgl. ALPLA 2018.

ist dieser Rezyklateinsatz in Lebensmittelverpackungen mittels Extra-Reinigungsschritt möglich, qualitativ sicher und rechtlich erlaubt. Da das Rezyklat aber dem Flaschenstrom entzogen und nach dem zweiten Lebenszyklus als Schale verbrannt wird, ist die Entwicklung kritisch zu betrachten.

#### 4.2.1 Anforderungen an die Funktionalität einer Käseverpackung

Die folgende Grafik fasst die Anforderungen an Käseverpackungen entlang des Lebenszyklus zusammen. Diese setzen den Rahmen für Innovationen, um eine Verpackung für Käse im Kontext der Zirkularität neu zu denken.

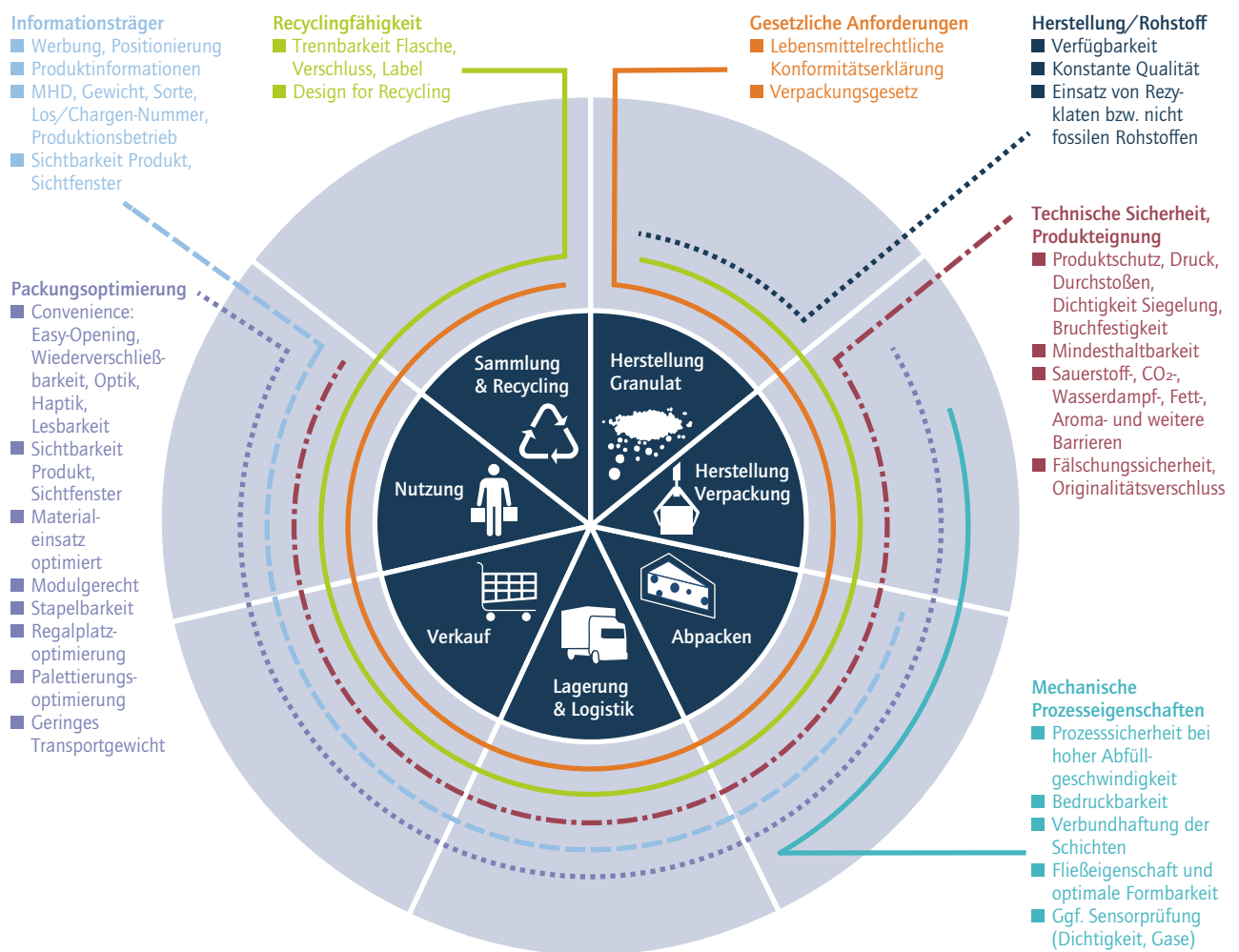


Abbildung 12: Exemplarische Darstellung einiger Anforderungen an eine Käseverpackung (Quelle: eigene Darstellung)



#### 4.2.2 Status quo

Auch für die Polyethylenterephthalat(PET)-Käseschale sind verschiedene Verpackungskonzepte im Umlauf. Die Schalen sind je nach Anforderung mit einer Polyethylen(PE)-Siegelsschicht oder zusätzlich mit einer Ethylen-Vinylalkohol-Copolymer(EVOH)-Barriere und notwendigem Kaschierkleber hergestellt. Die Polyethylen(PE)-Siegelsschicht dient vorrangig dem Verschweißen der Folie, die Ethylen-Vinylalkohol-Copolymer(EVOH)-Barriere unter anderem als Schutz gegen Sauerstoff und Wasserdampf. Die Schalen sind außerdem häufig mit Etiketten aus Papier beklebt. Die bedruckten Oberfolien zum Schließen der Käseverpackung sind üblicherweise aus biaxial orientierten Polyesterfolien (PET-BO) hergestellt, die ebenfalls mit einer PE-Siegelsschicht und gegebenenfalls einer EVOH-Barriere versehen sind. Zusätzlich ist häufig ein Wiederverschlusskleber für eine hohe Verbraucherfreundlichkeit oder ein Haptiklack für verbesserte Optik angebracht.

Die heute üblichen PET-Schalen für Käse sind daher nicht recyclingfähig. Mono-PET-Schalen gibt es zwar, diese sind aber lediglich für Anwendungen mit geringen Anforderungen etabliert, beispielsweise Verpackungen für Obst und Gemüse. Außerdem ist der Einsatz von biobasierten Rohstoffen technisch möglich, allerdings preislich noch nicht attraktiv.

Technisch wäre eine getrennte Sortierung von PET-Schalen durch Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) nach deren Sammlung im Dualen System möglich. Für PET im Allgemeinen besteht ein Verwertungsstrom. Bei den hier relevanten Schalen sind allerdings die Farbeinschränkungen durch die eingebrachten Multilayer und die Druckfarben so hoch, dass sie üblicherweise in die Restfraktion aussortiert und verbrannt werden. Einen weiteren Grund für die derzeit nicht flächendeckende Rezyklierbarkeit der PET-Schalen stellt der Kleber dar.

Ein geschlossener Kreislauf für Käseverpackungen wäre über das derzeitige Sammel- und Sortiersystem ohnehin nicht möglich, da eine etwaige Kreuzkontamination durch die gemischte Sammlung von Lebensmittel- und Nicht-Lebensmittelverpackungsabfällen den Lebensmittelkontakt des Rezyklats verbietet. Aktuelle Gutachten zur Lebensmittelsicherheit von PET-Verpackungen stellen die Forderung, dass nicht mehr als fünf Prozent des recycelten PET aus Non-Food-Anwendungen kommen dürfen.<sup>141</sup> Die Leitlinien der RAL Gütegemeinschaft Wertstoff PET gehen sogar

noch weiter und schließen die Mitverwertung von Material aus dem Dualen System faktisch aus.<sup>142</sup> Das bedeutet, dass der Rezyklateinsatz derzeit praktisch nur für Polyethylen aus dem Einwegpfandflaschenkreislauf (System der Deutschen Pfandsystem GmbH – DPG-System) im direkten Lebensmittelkontakt rechtlich möglich ist. In den heute am Markt verfügbaren PET-Schalen kann der Rezyklatanteil mehr als fünfzig Prozent des Gesamtkunststoffanteils betragen. Dieser Anteil könnte technisch gesehen noch erhöht werden, gegebenenfalls zulasten der Transparenz der Schalen und Folien.

#### 4.2.3 Zirkularitätsstrategien und Hebel für die Käseverpackung

Um die Zirkularität von Käseverpackungen zu verbessern, werden bereits einige Strategien und Hebel umgesetzt oder getestet.

Einige Händler mit Frischetheken erproben zur Verpackungsvermeidung **Re-Use-Systeme**, bei denen die Kundinnen und Kunden den Käse in eigens mitgebrachten Behältern verpacken.

Ein **kreislauffähiges Verpackungsdesign** bietet die Chance des Ressourcenerhalts. Dafür sollten die Oberfolie, die Schale und das Etikett entweder aus dem gleichen Material bestehen, beispielsweise aus amorphem Polyethylenterephthalat (APET) statt aus biaxial orientierten Polyesterfolien (PET-BO), oder die richtige Trennung für die Konsumentinnen und Konsumenten klar ersichtlich sein. Die Substitution von Barrierekunststoffen kann für einen reineren Recyclingstrom sorgen, indem fremdstoffliche Barrierschichten wie Ethylen-Vinylalkohol-Copolymer (EVOH) vermieden und durch Plasmabeschichtungen, zum Beispiel eine Siliziumoxid(SiOx)-Schicht, ersetzt werden.<sup>143</sup> Um ein qualitativ hochwertiges Rezyklat zu erhalten, wäre es empfehlenswert, eine Bedruckung vorzusehen, die im Recyclingprozess entfernt werden kann. Ansonsten ist generell eine Limitierung von Bedruckung und Einfärbung der Verpackung hilfreich für die Rezyklatqualität. Zudem ist darauf zu achten, keine Füllstoffe zu verwenden, die die Dichte des Materials verändern.

Selbst wenn eine Polyethylenterephthalat(PET)-Monomaterial-Käseverpackung hergestellt ist, bleibt die Frage der Verwertung. Nach heutigem Stand würde auch eine Mono-PET-Käseschale in den meisten Anlagen verbrannt, weil die Farbanforderungen an PET-Rezyklat so hoch sind, dass vorsichtshalber alle Schalen

141 | Vgl. EFSA CEF 2011.

142 | Vgl. Kauertz/Detzel 2017.

143 | Vgl. RecyClass s. a.



vom PET-Recycler aussortiert werden. Bei der Umsetzung dieser Lösung müssten Inverkehrbringer also intensiv mit den Verwertern zusammenarbeiten, damit aus „recyclingfähig“ auch „in der Praxis recycelbar“ wird. Erste PET-Schalensortierungen werden aktuell eingeführt.

Eine mögliche Strategie, die auf etablierte Recyclingströme baut, besteht darin, die Polyethylenterephthalat(PET)-Schalen durch **Mono-Polypropylen(PP)-Schalen** zu ersetzen.<sup>144</sup> Der Vorteil der Polypropylenlösung ist, dass diese Schalen nicht thermisch verwertet, sondern in die PP-Fraktion sortiert werden und damit auch in der Praxis recyclingfähig sind. Die Rezyklate können zwar derzeit aus den bereits genannten rechtlichen Gründen nicht wieder zu einer neuen Käseverpackung verarbeitet, aber einem weiteren Lebenszyklus für Produkte und Verpackungen mit geringeren Anforderungen zugeführt werden. Um künftig den Kreislauf für Polyolefine zu schließen, müssen weitere Möglichkeiten evaluiert werden, beispielsweise mittels separater Ausschleusung entsprechender Materialströme. Zudem wird für Polypropylen intensiv am Einsatz von biobasierten Rohstoffen der zweiten oder dritten Generation (also aus Reststoffen) gearbeitet.<sup>145, 146</sup> Die Änderung des Materials kann jedoch auch dazu führen, dass die Barrieren angepasst oder die Dicke gegenüber der PET-Schale erhöht werden muss oder ein höherer Temperaturbedarf in der Versiegelung besteht.<sup>147</sup>

Weder die Monomaterialverpackung aus Polyethylenterephthalat (PET) noch die aus Polypropylen (PP) ist im Status quo also eine wirklich kreislauffähige Lösung: Setzt man weiterhin auf PET, kann man als Eingangsmaterial Rezyklat aus dem Flaschenstrom nutzen, die Käseverpackung wird aber nach der Nutzung verbrannt. Verwendet man PP, muss man die Verpackung aus Neuware herstellen, da es kein lebensmittelrechtlich konformes PP-Rezyklat gibt. Gewonnene Sekundärrohstoffe können allerdings für andere Anwendungen genutzt werden.

Ein weiterer Lösungsweg ist der **Einsatz faserbasierter Verpackungen** mit entsprechendem Barriere-Coating.<sup>148, 149</sup> Für Papier gibt es in vielen Ländern eine gut funktionierende Sammel-, Sortier- und Recyclinginfrastruktur – in Europa werden über achtzig Prozent des Papiers recycelt –, sodass der Großteil der Verpackung dann recycelt würde. Je höher jedoch die funktionalen Anforderungen an die Verpackung sind, desto schwieriger

ist es, eine faserbasierte Verpackung so herzustellen, dass das Hauptmaterial recyclingfähiges Papier ist. Funktionelle Lacke und Beschichtungen könnten hier einen Lösungsbeitrag leisten, um recyclingfähige Papierverpackungen mit Barrierefunktionalitäten (gegen Fett, Wasser, Sauerstoff) und Siegfähigkeiten beziehungsweise -beständigkeiten auszurüsten. Auch hier sind Pauschalaussagen über den ökologischen Nutzen also nicht möglich, vielmehr wird eine Einzelfallbetrachtung unter Einbeziehung verschiedener Wirkungskategorien empfohlen.

### 4.3 Systemische Ansätze

Die bisher dargestellten Zirkularitätsstrategien aus Kapitel 4.1 und 4.2 spiegeln den aktuellen Stand einiger Umsetzungsversuche und Lösungsansätze für das Inverkehrbringen von Verpackungen wider. Weitere systemische Lösungen für die Kreislaufführung, die vor allem bei Sammlung und Sortierung ansetzen, sollten nicht aus einem Anwendungsfall heraus gedacht werden; die Infrastruktur muss möglichst für alle Verpackungen funktionieren, um Skaleneffekte zu nutzen. Das heißt: Beim Inverkehrbringen der Verpackung ging man von den Anforderungen des Produkts aus und überprüfte, welche Design-, Substitutions- und Vermeidungsstrategien angewendet werden können. In diesem Unterkapitel werden die in der öffentlichen Diskussion stehenden Ansätze erklärt, mit denen die Sammel- und Sortierinfrastruktur optimiert werden kann. Die aufgeführten Beispiele orientieren sich an bisher bekannten Handlungsspielräumen. Mögliche zukünftige technologische Neuentwicklungen, wie zum Beispiel die intelligente Mülltonne,<sup>150</sup> sollten regelmäßig danach bewertet werden, ob sie auch als systemische Lösung tauglich sind. Für die hier beschriebenen Ansätze werden, wenn möglich, Rückschlüsse in Bezug auf die Anwendungsfälle gezogen. Die in diesem Kapitel dargestellten vier Ansätze stehen sich nicht konträr gegenüber, sondern können auch kombiniert werden, beispielsweise eine Mehrweglösung mit Pfandsystem oder eine Wertstofftonne und Verpackungen mit Markern.

#### Pfandsysteme

Der erste Ansatz dient einer sortenreinen und mengenmäßig gesteigerten Sammlung von Verpackungen. **Pfandsysteme** motivieren als finanzieller Anreiz die Konsumentinnen und Konsu-

144 | Vgl. Borealis 2019.

145 | Vgl. Carus/Dammer 2018.

146 | Vgl. Frischenschlager et al. 2018.

147 | Vgl. Plastics Europe s. a.

148 | Vgl. neue Verpackung 2019.

149 | Vgl. Siegwark s. a.

150 | Vgl. reCIRCLE s. a. b.



menten, die Behältnisse zurückzubringen, und sorgen damit für eine hohe Rückgabequote der Verpackungen. Es gibt in Deutschland bereits etablierte Pfandsysteme sowohl für Einwegverpackungen (Polyethylenterephthalat(PET)-Getränkeflaschen) als auch für Mehrwegverpackungen (zum Beispiel Wasserflaschen, Bierflaschen, Joghurtgläser). Pfandsysteme sorgen für sortenreine Stoffströme. Den Vorteilen der mengenmäßig großen und sortenreinen Stoffströme stehen jedoch auch Herausforderungen gegenüber. So benötigt ein Rücknahmesystem viel Platz im Handel und verursacht damit höhere Kosten. Ein effektives Pfandsystem erfordert ein transparentes und sorgfältiges Management von Material- und Geldflüssen. Eine weitere Herausforderung ist die Verbraucherakzeptanz; diese würde durch optimierte Rücknahmesysteme erhöht. Im Mittelpunkt erster Überlegungen stehen flächendeckendere Rücknahmestationen, die nicht auf den Handel begrenzt sind, sondern beispielsweise auch an Tankstellen oder U-Bahnstationen zur Verfügung stehen. Auch die Pfandauszahlung sollte statt mit Bon an der Supermarktkasse beispielsweise per Handy-App organisiert werden. Langfristiges ökonomisches Ziel müsste sein, dass sich das System durch das gewonnene hochqualitative Rezyklat und durch die Kostenreduktion der Sortierung selbst finanziert.

Bezogen auf die Anwendungsfälle sind Pfandsysteme vor allem für die Käseschalen interessant. Polyethylen(HDPE)-Flaschen lassen sich in heute etablierten Sortierprozessen bereits gut aussortieren: Da die Verbraucherinnen und Verbraucher die Flaschen zu Hause verwenden und diese eindeutig als Kunststoffverpackung zu erkennen sind, kann davon ausgegangen werden, dass die Fehlwurfquote gering ist und somit der Großteil der Flaschen gesammelt wird. Bei der Käseverpackung jedoch würde ein Pfandsystem einen Lebensmittelstoffstrom gewährleisten, der der regulatorischen Anforderung standhält, dass nur Rezyklat aus Lebensmittelanwendungen auch wieder in diese fließen darf – ausgehend davon, dass die Verpackungsgestaltung hierauf ausgelegt wurde. Da auch eine Nachsortierung nicht erlaubt ist, wird in der Praxis derzeit nur durch Pfandsysteme ein geschlossener Kreislauf für Rezyklat für Lebensmittelanwendungen generiert.

In einem **Mehrwegsystem** geben Kundinnen und Kunden die leeren Verpackungen an den Händler oder Hersteller zurück, der diese reinigt und dann für den Verkauf des nächsten Produkts wiederverwendet. Etablierte Beispiele sind Wasserflaschen, Bierflaschen und Joghurtgläser. Vor allem im Bereich Take-away in der Gastronomie bauen derzeit zahlreiche Projekte und Startups neue Mehrwegpfandsysteme auf.<sup>151, 152, 153, 154</sup> Doch auch im Einzelhandel gibt es vermehrt Konzeptionsprojekte.<sup>155, 156, 157, 158</sup> Wichtig sind sowohl in ökologischer als auch in ökonomischer Hinsicht eine möglichst flächendeckende Einführung und ein offener Pool, damit Transportwege kurz gestaltet werden können und auch die Verbraucherinnen und Verbraucher die Möglichkeit haben, ihre Verpackung überall wieder abzugeben. Diese Notwendigkeit einer großskaligen Einführung ist gleichzeitig die große Herausforderung: die Entwicklung eines Mehrwegsystems, das alle Hersteller nutzen wollen. Das widerspricht nicht nur Marketingaspekten, sondern erfordert auch, dass Abfüllmaschinen umgerüstet und Mehrwegbehälter gekauft werden und dass eine komplette Infrastruktur mit Reinigungsanlagen aufgebaut wird. Die organisatorischen Herausforderungen mit Pfand wurden bereits im vorherigen Absatz erwähnt. Insbesondere bestehende Strukturen der Einwegverpackungsindustrie würden zu Verlierern werden. Ein etabliertes und systemisch optimiertes Mehrwegkonzept könnte jedoch langfristig Kosteneinsparungspotenziale gegenüber Einwegkonzepten bieten sowie die Möglichkeit eröffnen, Ressourcen einzusparen und die Umwelt zu schonen.<sup>159, 160</sup>

Bezogen auf die beiden beschriebenen Anwendungsfälle Waschmittel- und Käseverpackung wäre grundsätzlich für beide Produkte eine Mehrweglösung denkbar. Bei der Käseverpackung ist es aufgrund der hohen Barriereanforderungen eine große Herausforderung, eine Mehrwegverpackung inklusive entsprechendem Reinigungskonzept zu entwickeln, ohne Einbußen bei der Haltbarkeit hinnehmen zu müssen. Bei der Waschmittelflasche stellt sich die Frage, ob eine Refillstation, bei der die Flasche nicht in die Rückwärtslogistik geschickt wird, sondern bei der Konsumentin oder dem Konsumenten verbleibt, nicht die einfachere und CO<sub>2</sub>-sparendere Alternative ist.

151 | Vgl. Recup s. a.

152 | Vgl. Essen in Mehrweg s. a.

153 | Vgl. reCIRCLE s. a. a.

154 | Vgl. REBOWL s. a.

155 | Vgl. Packaging Journal 2020a.

156 | Vgl. Circolution s. a.

157 | Vgl. Mehrwelt s. a.

158 | Vgl. Loopstore s. a.

159 | Vgl. Coelho et al. 2020.

160 | Vgl. Ellen MacArthur Foundation 2019.

## Wertstofftonne

Ein weiteres Konzept ist die **Wertstofftonne** als einheitliche Art der Sammlung deutschlandweit in den Haushalten; in einigen Kommunen gibt es solche Tonnen bereits. Im Gegensatz zum derzeit verbreiteten Sammelkonzept des Gelben Sacks beziehungsweise der Gelben Tonne, bei dem die Trennung nach Verwendung (also Verpackung) und nicht nach Material (also Kunststoff) erfolgt, soll in der Wertstofftonne der gesamte Kunststoffabfall (und Metallabfall) gesammelt werden. Das heißt, es dürfen beispielsweise auch Dinge wie Kunststoffspielzeug oder -blumentöpfe in der Tonne gesammelt werden, die heute im Restmüll entsorgt werden müssen. Mit dieser Wertstofftonne würde deutlich mehr Kunststoffmaterial für den Recyclingprozess zur Verfügung stehen. Der Naturschutzbund Deutschland (NABU) spricht davon, dass pro Jahr und Haushalt etwa sieben Kilogramm mehr Kunststoffabfälle gesammelt würden.<sup>161</sup> Für Verbraucherinnen und Verbraucher würde die Mülltrennung deutlich vereinfacht und die Fehlwurfquoten reduziert. Aktuell können Kommunen in Abstimmung mit dem jeweiligen Dualen System zwar eine Wertstofftonne einführen, nicht jedoch das Duale System dazu verpflichten.

Bei den genannten Anwendungsfällen würde sich die Entsorgung nicht ändern, jedoch würde sich die Menge an zur Verfügung stehendem Rezyklat vergrößern, das zumindest bei Nicht-Lebensmittelverpackungen eingesetzt werden kann. Zu beachten sind hier mögliche Kreuzkontaminationen aufgrund unterschiedlicher Grenzwerte einzelner Produktgruppen.

## Markersysteme

Ein weiterer in der Industrie diskutierter Optimierungsansatz heutiger Sortierung sind **Markersysteme**. Mit der Nahinfrarotspektroskopie, die heute bei der Sortierung üblich ist, wird bei Mischmaterialien vielfach nur ein Material oder kein klares Prismabild erkannt. Marker stellen hingegen die eindeutige technische Detektierbarkeit sicher und ermöglichen damit die optimierte Sortierung nach Material (auch Mischmaterialien können sortiert werden), entsprechender Verarbeitung und Farbe. Damit schaffen sie einen sortenreineren Ausgangsstoff (Feedstock) fürs Recycling und eine höhere Sortierausbeute. Relevant könnte dies insbesondere dann werden, wenn sich neben dem werkstofflichen Recycling auch andere Recyclingtechnologien etablieren, mit denen vorsortierte Mischkunststoffe weiterverarbeitet werden können.

Digitale Wasserzeichen gelten derzeit als die vielversprechendste Markertechnologie. Im Projekt HolyGrail<sup>162</sup> existieren bereits Sortiertests bei industrierelevanten Geschwindigkeiten. Ein Vorteil der Technologie ist, dass schon bestehende Sortieranlagen damit nachgerüstet werden können und es keiner neuen Prozesse und Anlagen bedarf. Was digitale Wasserzeichen besonders vielversprechend macht, ist, dass sie auch einen Mehrwert in anderen Bereichen schaffen, beispielsweise Kostenvorteile bei Logistik, Inventur, Kasse („item per minute“) und Konsumentenkommunikation.

In unseren Anwendungsfällen sind Marker als Lösungsidee bei einer nicht eingefärbten Polyethylenrezyklatflasche mit einem Folienetikett als Kompletthülle (Full-Sleeve) interessant. Das digitale Wasserzeichen hält die benötigten Informationen zur Prozessführung von Sortierung und Recycling bereit. Somit wäre eine Sleeve-Lösung gut sortierbar und könnte im Kreislauf gehalten werden. Bei der Käseschale ist grundsätzlich interessant, dass es digitale Marker technisch ermöglichen, zwischen einer Lebensmittel- und einer Nicht-Lebensmittelverpackung zu unterscheiden. Da aber die Nachsortierung laut Bestimmungen der europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) nicht ausreicht, um das daraus entstehende Rezyklat für Lebensmittelanwendungen zu nutzen, weil Kreuzkontaminationen nicht ausgeschlossen werden können, helfen die Marker bei heutigen Rahmenbedingungen nicht, um mehr Rezyklat für die Lebensmittelanwendung zu bekommen.

## Rezyklatstandards

Ein letzter hier diskutierter Ansatz sind **Rezyklatstandards**. Die derzeit existierenden Standards reichen noch nicht aus, um ein Funktionieren von Rezyklatmärkten zu ermöglichen, weshalb die Transaktionskosten im Vergleich zum Einsatz von Neuware hoch sind. Denn ein Käufer muss vor jedem Einkauf sicherstellen, dass das Rezyklat seinen Anforderungen entspricht. Die Herausforderung beginnt sogar schon damit, überhaupt einen passenden Verkäufer zu finden. Das bedeutet, dem Kauf von Rezyklat geht heute ein aufwendiger und teurer Prozess der Verkäufersuche und Übersendung von Handmustern voraus. Standards verbunden mit entsprechenden Garantien können hier Abhilfe schaffen. Entsprechend wurde ein Standardisierungsprozess beim Deutschen Institut für Normung angestoßen, der auf das Funktionieren von Rezyklatmärkten abzielt.<sup>163</sup>

161 | Vgl. Nabu 2020.

162 | Vgl. Procter & Gamble 2019.

163 | Vgl. Deutsches Institut für Normung 2020.



Tatsächlich gibt es bereits eine Reihe von DIN-Normen für die Charakterisierung von Kunststoffrezyklaten, so zum Beispiel DIN EN 15342 für Polystyrol (PS), DIN EN 15344 für Polyethylen (PE), DIN EN 15345 für Polypropylen (PP), DIN EN 15346 für Polyvinylchlorid (PVC) und DIN EN 15348 für Polyethylenterephthalat (PET). Sie definieren chemisch-physikalische Eigenschaften, anhand derer Rezyklate beschrieben werden können, sowie die Verfahren, mit denen sich diese bestimmen lassen. Die genannten Normen sind bisweilen jedoch veraltet und stehen kaum mehr im Zusammenhang mit dem aktuellen Stand der technischen Anforderungen an Kunststoffrezyklate. Zudem sind sie als lückenhaft für das Funktionieren von Rezyklatmärkten anzusehen. Die Auswahl benötigter Kriterien wird auch stark vom beabsichtigten Verwendungszweck für ein Rezyklat abhängen.

Dies gilt umso mehr, wenn der Anteil an Rezyklat an der gesamten genutzten Kunststoffmenge und damit die Anwendungsfälle werkstofflich rezyklierter Kunststoffe steigen und wenn versucht wird, die Anzahl an werkstofflichen Rezyklierungsläufen vor einer chemischen Rezyklierung zu erhöhen.

Um das Funktionieren der Rezyklatmärkte zu gewährleisten, müssen die Eigenschaftsprofile vervollständigt werden. Außerdem bedarf es auch einer Einteilung der Rezyklate in Handelsklassen, in denen dann für eine bestimmte Auswahl von chemisch-physikalischen Eigenschaften Unter- oder Obergrenzen festgelegt sind. Und schließlich müssen Kriterien, insbesondere wenn sie sich auf Herkunft und Verarbeitungshistorie der Rezyklate beziehen, auch zertifiziert werden.

### EXKURS: Gedankenexperiment – eine zirkuläre Kunststoffverpackungsindustrie bis 2030

Das Gedankenexperiment ist eine unkonventionelle Herangehensweise der Arbeitsgruppe, um sich der Frage zu nähern, wie sich die technischen, ökonomischen und regulatorischen Rahmenbedingungen bis 2030 verändern müssten, damit Einkauf und Einsatz von vollständig defossilisierten Kunststoffen für ein Unternehmen die ökonomisch vorteilhaftere Wahl werden. Bewusst vernachlässigt werden dabei Fragen zu verfügbaren Recyclingkapazitäten, Rezyklatherkunft sowie Einschränkungen des Rezyklateinsatzes. Es handelt sich auch nicht um eine umfassende systemische Studie und/oder Modellierung. Vielmehr sollen Kernpunkte für eine ambitionierte zirkuläre Kunststoffverpackungsindustrie im Jahr 2030 skizziert und analysiert werden. Für diesen Blick in die Zukunft löst sich die Arbeitsgruppe vom Status quo und trifft basierend auf der vereinten Branchenexpertise Annahmen zu CO<sub>2</sub>-Fußabdrücken, Materialpreisen und politischen Instrumenten, aus denen sich ableiten lässt, wie sich der

Preis von Kunststoff im Jahr 2030 zusammensetzen könnte. Mittels einer Sensitivitätsanalyse werden die drei stärksten Einflussfaktoren für den Gesamtpreis ermittelt. Anschließend wird errechnet, wie sich unter den gegebenen Annahmen diese drei Einflussfaktoren entwickeln müssten, damit das „zirkuläre“ Szenario das ökonomisch attraktivere ist.

Im Gedankenexperiment werden folgende zwei Szenarien gegenübergestellt: Im Szenario „Basis“ werden 70 Prozent Neuware und 30 Prozent werkstoffliches Rezyklat eingesetzt. Diese Werte stimmen mit dem in Kapitel 3.3.2 aufgezeigten Zielbild überein und sollen ein realistisches Szenario darstellen. In Szenario „Zirkulär“ ist der Materialeinsatz vollständig defossilisiert. Somit ist das zweite Szenario deutlich ambitionierter. Chemisches Recycling ist in das Szenario integriert, davon ausgehend, dass bis 2030 alle ökologischen und humantoxikologischen Fragestellungen geklärt sind und chemisches Recycling einen um mindestens 50 Prozent kleineren Fußabdruck als der Einsatz von Neuware aufweist (siehe alle Annahmen in Anhang F, 1).

	Einsatz von Neuware			Einsatz von mechanischem Rezyklat			Einsatz von chemischem Rezyklat			Einsatz von biobasierten Kunststoffen		
	PET	PP	PE	PET	PP	PE	PET	PP	PE	PET	PP	PE
Basis*	70 %	70 %	70 %	30 %	30 %	30 %						
Zirkulär*				70 %	60 %	60 %	30 %	20 %	20 %		20 %	20 %

\* PET = Polyethylenterephthalat, PP = Polypropylen, PE = Polyethylen

Tabelle 2: Szenarien des Gedankenexperiments (Quelle: eigene Darstellung)

Das Gedankenexperiment soll die Auswirkungen des ambitionierten Szenarios aufzeigen und die Frage beantworten, unter welchen Voraussetzungen das ambitionierte zirkuläre Szenario vorteilhaft wäre. Um dies zu berechnen, wurden Annahmen zu folgenden Aspekten getroffen:

- **CO<sub>2</sub>-Fußabdrücke** jeweils für Neuware, werkstoffliches Rezyklat, chemisches Rezyklat und biobasiertes Material für Polyethylenterephthalat (PET), Polypropylen (PP) und Polyethylen (PE) im Jahr 2030
- **Materialpreise** jeweils für Neuware, werkstoffliches Rezyklat, chemisches Rezyklat und biobasiertes Material für PET, PP und PE im Jahr 2030
- **Materialbedarf** für die drei Massenkunststoffe PET, PP und PE im Jahr 2030
- **Politische Instrumente:** a) ökologische Gestaltung der Beteiligungsentgelte (kurz: EPR-Abgabe) durch einen Bonus für den Einsatz von defossilierten Kunststoffen und b) eine CO<sub>2</sub>-Abgabe im Jahr 2030

Die getroffenen Annahmen und deren Erläuterung finden sich in Anhang F, 1 und 2. Mit diesen Annahmen ergeben sich

folgende **Mehrkosten** für die zwei betrachteten Szenarien gegenüber dem Status quo. Die genaue Berechnung ist in Anhang F, 3 aufgeführt.

1. Mehrkosten Szenario Basis: 2.933.000.000 Euro
2. Mehrkosten Szenario Zirkulär: 3.059.000.000 Euro

Das bedeutet, dass eine Entwicklung der Parameter gemäß den Annahmen der Arbeitsgruppe nicht ausreichend wäre, um das zirkuläre Szenario am attraktivsten zu machen. Daher wird in einer Sensitivitätsanalyse (siehe Anhang F, 4) ermittelt, welche Parameter sich am stärksten auf den Preis auswirken und wie diese eingestellt werden müssen, um das „zirkuläre“ Szenario attraktiver werden zu lassen als das „Basis“-Szenario. Die Variation der angenommenen Parameter ergibt, dass (1) ein Bonus bei Einsatz von Rezyklat, (2) eine CO<sub>2</sub>-Abgabe und (3) die Mehrkosten für chemisches Recycling von PET die größten Einflussfaktoren für die gesamten Mehrkosten sind. Für die drei Faktoren mit dem größten Einfluss wird daher jeweils ermittelt, um wie viel Prozent sich der Faktor verändern müsste, damit eine Kostengleichheit der Szenarien bestünde:

	Ursprüngliche Annahme	Gleiche Mehrkosten bei	Gleiche Mehrkosten für Änderung um	Mehrkosten in beiden Szenarien (Kostengleichheit)
Bonus	200 €	260 €	30 %	2.879.000.000 €
CO <sub>2</sub> -Abgabe	100 €	146 €	46 %	3.169.000.000 €
Mehrkosten chemisches Recycling von PET	600 €	180 €	-70 %	2.933.000.000 €

Tabelle 3: Herstellung gleicher Mehrkosten für beide Szenarien (Quelle: eigene Darstellung)

Das bedeutet: Wenn man jeweils nur einen Parameter um den in der Tabelle angegebenen Mindestbetrag anheben oder senken würde, wäre das zirkuläre Szenario ökonomisch gleichwertig.

- Bonus: Vorteilhafter wäre es ab einem Bonus von 260 Euro pro Tonne.
- CO<sub>2</sub>-Abgabe: Eine Vorteilhaftigkeit ist ab 146 Euro pro Tonne CO<sub>2</sub> gegeben.

- Kosten für das chemische Recycling PET: Eine Vorteilhaftigkeit ist ab einem Preis von 1.380 Euro pro Tonne für chemisches PET-Rezyklat gegeben.

Die Veränderung nur eines einzelnen Parameters um einen großen Betrag ist rechnerisch möglich, aber verträgt sich nicht mit einer ökonomisch und gesellschaftlich akzeptablen Ausgestaltung. Eine dreißigprozentige Erhöhung des Bonus für den Einsatz von nicht-fossilbasiertem Kunststoff ist wünschenswert, weil die Gesamtkosten im System gesenkt



werden. Aber es ist fraglich, ob im Jahr 2030 die Lizenznehmer des Dualen Systems mit Lizenzeinnahmen im Wert von circa 540 Euro pro Tonne auskommen werden, um die Anforderung an die Sammlung der Verpackungsmengen darstellen zu können. Eine CO<sub>2</sub>-Abgabe von circa 150 Euro pro Tonne ist je nach Entwicklung und Verknappung des Gesamtsystems im EU-Emissionshandel durchaus denkbar, wirkt aber vor allem dadurch, dass sich das Basis-Szenario verteuert. Am unwahrscheinlichsten ist ein Preis für chemisches Rezyklat von 1.380 Euro pro Tonne, was nur knapp über dem angenommenen Preis für Neuware (1.200 Euro pro Tonne) liegt. Schon bei der Annahme, dass chemisches Rezyklat um fünfzig Prozent teurer sei als fossilbasierte Neuware, war der Arbeitsgruppe bewusst, dass dies sehr optimistisch gedacht ist.

Rational und praktikabel ist daher die moderate Adjustierung möglichst vieler Parameter. Das entspricht auch den Handlungsempfehlungen dieses Ergebnisberichts: Nur wenn bereits

heute alle Parameter schrittweise in Richtung eines zirkulären Szenarios verändert werden, können auch die ökonomischen Voraussetzungen erfüllt werden. Wenn beispielsweise der initial angenommene Bonus um circa 10 Prozent steigt, die CO<sub>2</sub>-Abgabe um 15 Prozent höher ist und die Mehrkosten für alle nicht-fossilbasierten Kunststoffe um jeweils 10 Prozent günstiger ausfallen als ursprünglich angenommen, ergibt sich eine ökonomisch leicht vorteilhafte Situation für ein zirkuläres Szenario (siehe Anhang F).

Insgesamt macht das Gedankenexperiment nochmals die bestehenden Herausforderungen bei der Herstellung nicht-fossilbasierter Kunststoffarten deutlich: Die Kosten für qualitativ hochwertiges werkstoffliches Rezyklat, die CO<sub>2</sub>-Fußabdrücke sowie die Kosten für chemisches Rezyklat und biobasierte Kunststoffe liegen heute noch nicht bei den für 2030 geeigneten Zielwerten. Entsprechend bedarf es intensiverer Forschung und Investitionshilfen (siehe Kapitel 5.5).



## 5 Handlungsempfehlungen

Abgeleitet aus den Kapiteln 1 bis 4 lässt sich zusammenfassen: **Die Circular Economy erfordert (1) einen Paradigmenwechsel mit umfassenden Veränderungen in Denkweise, Organisation und Strategie. Benötigt werden (2) systemische Veränderungen unseres Wirtschaftens und Konsumierens, die (3) nur gemeinsam mit Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft formuliert und umgesetzt werden können. Neue Formen der Zusammenarbeit und Kommunikation sind dafür unabdingbar.**

### 1. Eine neue Wertschöpfungslogik muss sich etablieren, in der Produkte und Materialien dauerhaft Wertstoffe bleiben.

Kunststoffverpackungen sind zu einem gesellschaftlich, politisch und ökologisch hochrelevanten Thema geworden. Ein tiefgreifendes Umdenken ist notwendig, damit Verpackungen nicht mehr als Wegwerfprodukte betrachtet werden. Es gilt, möglichst wenig Material einzusetzen und das eingesetzte Material möglichst effektiv und lange zu nutzen: Verpackungen werden in einer Circular Economy (CE) von einem schnelllebigen Abfallprodukt zu einem Wertstoff. Um diesen Paradigmenwechsel konsequent umzusetzen, muss die veraltete Denkweise, dass Kreislaufführung ein Synonym für werkstoffliches Recycling ist, überwunden und eine vielfältige Circular-Economy-Innovations- und Wiederverwendungslandschaft etabliert werden, die sukzessive das jeweils höchste Potenzial von Reduce, Re-Use und Recycling ausschöpft. Circular-Economy-Maßnahmen sind keine End-of-Life-Optimierung, sondern sollen vor allem den Primärmaterialereinsatz reduzieren, Nutzungsphasen intensivieren und das Halten von Produkten und Materialien in qualitativ hochwertigen Stoffströmen fokussieren.

Geschäftsmodelle müssen so gestaltet sein, dass nicht ein steigender Materialdurchsatz, sondern eine optimierte Ressourcenauslastung den Gewinn maximiert. Mit einer solchen Wertschöpfungslogik besteht für die Verpackungsindustrie auch die Chance, den Wettbewerb von einem etablierten Markt mit bestehenden Margen in einen neuen Markt zu überführen und in diesem neue Wertschöpfungspotenziale zu erschließen.

### 2. Veränderungen müssen das Gesamtsystem optimieren. Hierfür müssen die etablierten Systemgrenzen erweitert werden.

Systemgrenzen für Circular-Economy-Transformationen sind nicht die etablierten Industriestrukturen und Wertschöpfungsketten. Das Angebot muss vom Bedürfnis ausgehend neu gedacht werden. Dabei gilt: Durch die Verringerung von Systemverlusten werden auch Treibhausgasemissionen aus der Verpackungsindustrie reduziert. Damit hat (der Abfallhierarchie folgend) die Vermeidung von Verpackungen oberste Priorität, sofern dadurch nicht der ökologische Fußabdruck der Packung (also von Produkt und Verpackung insgesamt) zunimmt. Ebenso kann Potenzial in der Entkoppelung von fossilen Rohstoffen als Einsatzmaterial liegen – vorausgesetzt, die nicht-fossilen Rohmaterialien erzielen in einer Lebenszyklusbetrachtung (LCA) bessere Ergebnisse. In Verkehr gebrachte Verpackungen sollen auf ein effizientes und effektives Ressourcenmanagement ausgelegt werden, das auf eine möglichst lange Nutzungsphase abzielt, die Rückführung in qualitativ hochwertigen Stoffströmen ermöglicht und eine sachgerechte Entsorgung sicherstellt.

Das oberste Ziel der Transformation muss immer ein optimiertes Gesamtsystem sein. Daher ist es sowohl bei der Suche als auch bei der Evaluierung von Transformationsstrategien notwendig, immer über einzelne Industriezweige hinauszudenken und die Industrien und Abläufe zu vernetzen – Stichwort: Sektorkopplung.

### 3. Ein breiter Stakeholderdialog und neue Formen der Zusammenarbeit aller Akteure sind dafür unabdingbar.

Um diese Transformation umsetzen zu können, sind alle Akteure gefragt. Zusammenarbeit ist sowohl über Stakeholdergruppen hinweg als auch innerhalb der Wertschöpfungskette notwendig.

Die Zusammenarbeit über Stakeholdergruppen hinweg involviert die Systemdesigner und Rahmengeber (Politik), die gesamte Wertschöpfungskette von Verpackungen (Industrie), die Treiber von Innovations- und Forschungsk Kooperationen (Wissenschaft und Industrie) sowie die Endkonsumentinnen und -konsumenten (Zivilgesellschaft). Von ihnen allen muss eine gemeinsame, einheitliche Stoßrichtung und Zielsetzung entwickelt werden, um entsprechende Weichen zu stellen und Sicherheit für Investitionen zu schaffen.



Auch eine noch stärkere Zusammenarbeit innerhalb der Wertschöpfungskette ist erforderlich, denn Veränderungen an einzelnen Stellen der Wertschöpfungskette (zum Beispiel Materialwahl, Gestaltung der Verpackung, Verwertungsinfrastruktur) haben Auswirkungen auf das gesamte System. Für die Umsetzung zirkulärer Ansätze müssen daher der gesamte Produktlebenszyklus und auch die damit verbundenen Systeme in den Fokus genommen werden, um Wechselwirkungen mitzudenken und ganzheitlich zu optimieren. Hierfür gilt es, zum Beispiel die Brücke zwischen Abfallwirtschaft und Verfahrens-

mie zu schlagen und allgemein mehr Transparenz in Bezug auf Stoffströme über verschiedene Wertschöpfungsschritte hinweg zu schaffen. Für die Etablierung neuer Lösungen, wie beispielsweise Packaging-as-a-Service-Modelle, müssen sich zudem neue Akteurskonstellationen finden.

Um die Grundlagen für solche übergreifende Zusammenarbeit mit veränderter Wertschöpfungslogik zu schaffen, sind Bildungseinrichtungen, vor allem Schulen, gefragt, entsprechende Lehrinhalte und Fähigkeiten zu vermitteln.

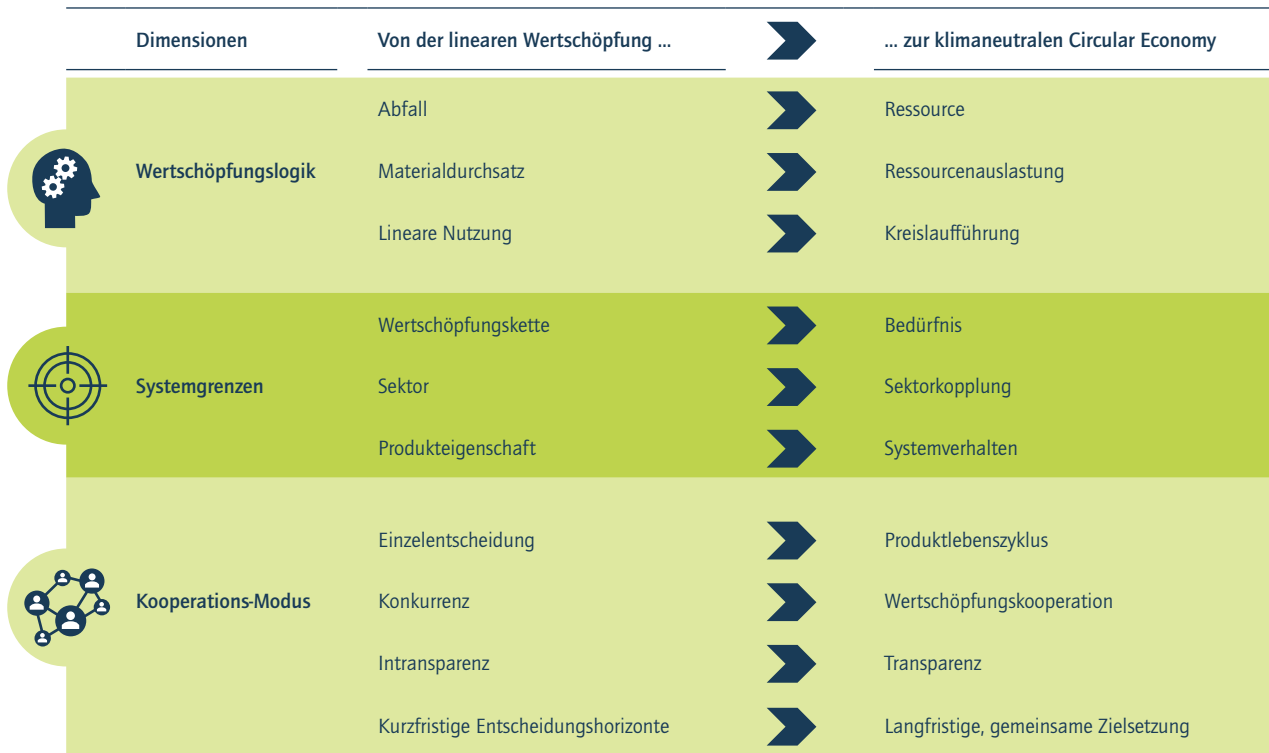
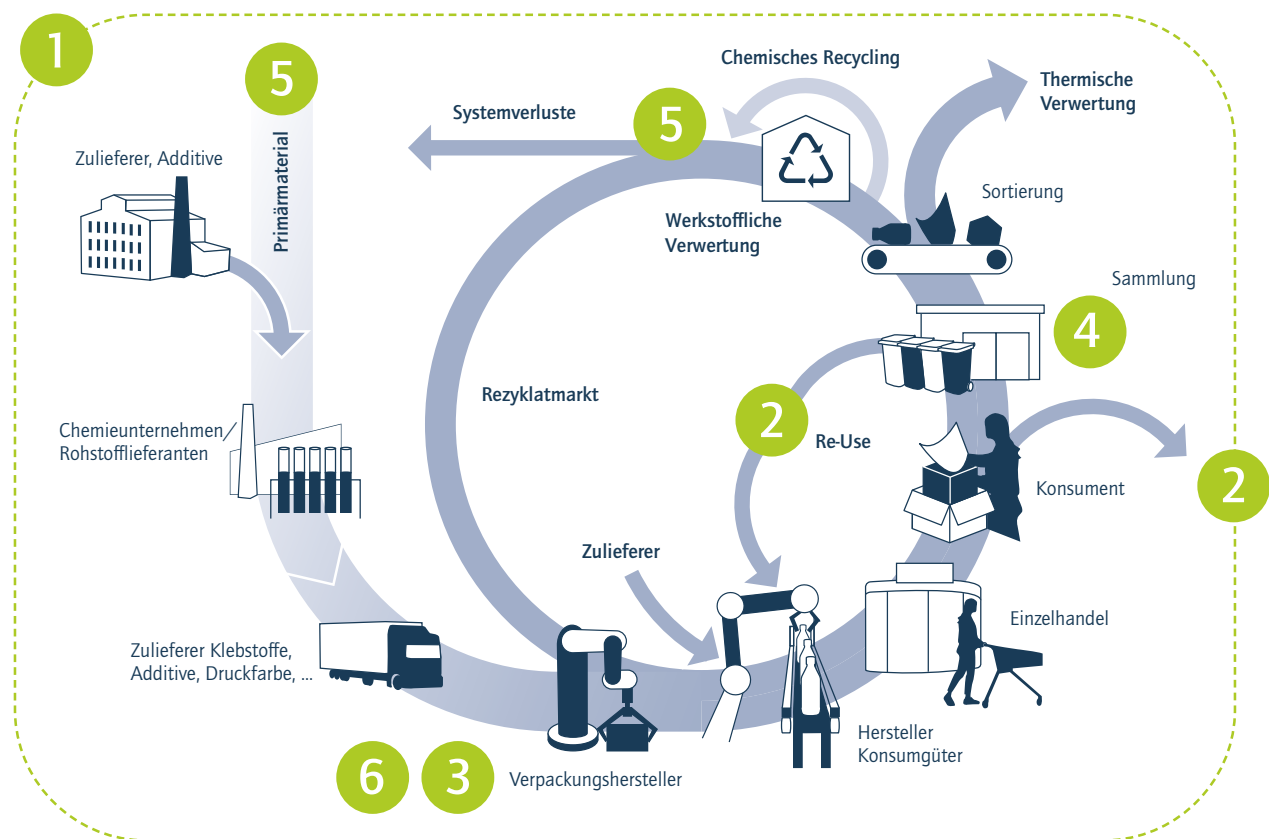


Abbildung 13: Circular Economy bedeutet eine Transformation der Wirtschaft entlang verschiedener Dimensionen (Quelle: eigene Darstellung)

## Ansatzpunkte für Maßnahmen

Um die Verpackungsindustrie zu einem System basierend auf zirkulärer Wertschöpfung zu transformieren, müssen Maßnahmen umgesetzt werden, die entlang der gesamten Wertschöpfungskette greifen. Die Arbeitsgruppe hat sechs Ansatzpunkte identifiziert, anhand derer die Maßnahmenpakete gegliedert sind:

1. Um verschiedene Verpackungsalternativen miteinander vergleichen zu können, bedarf es einer objektiven und allgemein anerkannten **Entscheidungshilfe**.
2. Oberste Priorität muss die **Vermeidung von Verpackungen, unnötigem Ressourceneinsatz und Verpackungsabfällen** haben.
3. Inverkehrbringer von Verpackungen müssen die funktionalen Anforderungen an ihre Verpackungen ausgehend von der Funktion des Produkts neu bewerten und vorhandene
4. Um Wertströme besser zu trennen, werden Investitionen in moderne **Sammel- und hochwertige Sortierkapazitäten** benötigt, inklusive Förderung von Track-and-Tracing-Technologien. Auch die Unterstützung sowie das Commitment (langfristige Verhaltensänderung) von Verbraucherinnen und Verbrauchern müssen gestärkt werden.
5. Das Angebot an defossilierten Materialien muss ausgebaut werden. Erforderlich sind hier geeignete Qualitäten, eine gesicherte Mengenverfügbarkeit und ein wettbewerbsfähiger Preis – und zwar alles unter Berücksichtigung von Herkunft und Nachgebrauchsphase.
6. Mehr Anwendungsbereiche für defossiliertes Material müssen erschlossen werden, um langfristig die Nachfrage anzukurbeln. Dazu bedarf es technischer Innovationen und regulatorischer Rahmenbedingungen.



- |   |   |
|---|---|
| 1 Entscheidungshilfe für Verpackungsalternativen schaffen | 4 Bessere und harmonisiertere Sammlung und Sortierung ermöglichen |
| 2 Verpackungen und Verpackungsabfälle vermeiden           | 5 Angebot an defossilierten Rohstoffquellen erhöhen               |
| 3 Design for Circularity and Sustainability umsetzen      | 6 Nachfrage nach defossiliertem Material steigern                 |

Abbildung 14: Ansatzpunkte für Maßnahmen (Quelle: eigene Darstellung)



Die Arbeitsgruppe Verpackungen der *Circular Economy Initiative Deutschland* (CEID) ist sich einig, dass eine zirkuläre Verpackungsindustrie europäisch gedacht werden muss. Die im Folgenden detailliert dargelegten Handlungsempfehlungen beschränken sich daher nicht auf Deutschland, sondern zeigen auch auf, welche Impulse Deutschland – als zentraler Akteur der Debatte – für Europa setzen sollte.

## 5.1 Allgemein anerkannte Entscheidungshilfe für Verpackungsalternativen schaffen

Die im Bericht beschriebenen Austauschbeziehungen (Trade-offs) zwischen verschiedenen Nachhaltigkeitszielen und zwischen verschiedenen Verpackungsalternativen haben zur Folge, dass nicht pauschal bestimmt werden kann, welche Verpackungsalternative die „nachhaltigste“ ist. Bei der Frage nach der besten Verpackungsalternative für ein Produkt ist demnach oftmals eine **Einzelfallentscheidung** notwendig, weil die Antwort von verschiedensten Produkt-, Prozess- und Marktfaktoren abhängt, zum Beispiel von den Anforderungen des Packguts, der Transportwege, der Anzahl der möglichen Wiederverwendungen sowie der in der Praxis vorhandenen Verwertungsinfrastruktur. Um jedoch auf miteinander vergleichbare Ergebnisse in Einzelfallbetrachtungen zurückgreifen zu können, **fehlt eine einheitliche Entscheidungsgrundlage** für die Bewertung, die objektive Kriterien und einheitliche Systemgrenzen vorgibt. Als prominente Kriterien für die Bewertung können in einem ersten Schritt die Vermeidung von Treibhausgasemissionen, aber auch die Wiedereinsatzquote beziehungsweise die damit verbundene direkte Vermeidung von primären Rohstoffen herangezogen werden. Es ist jedoch erforderlich, weitere Parameter einzubeziehen und eine breite Entscheidungsgrundlage zu schaffen. Die *Circular Economy Initiative Deutschland* schlägt vor, sich diesbezüglich an ihren vorgeschlagenen Zielen zu orientieren.

Um Unternehmen bei der Entscheidung zu unterstützen, welche Verpackungsalternative für ihr Produkt die beste ist, scheint aber auch eine standardisierte Einzelfallbewertung allein nicht ausreichend. Erstens müsste für alle potenziellen Verpackungstypen (und deren potenzielle Infrastruktur) eine Ökobilanzierung durchgeführt werden, was in der Praxis nicht möglich ist. Zweitens können die ökologischen Potenziale systemischer Veränderungen nur sehr begrenzt in einer Einzelfallbetrachtung abgebildet werden, beispielsweise die ökologischen Potenziale eines

offenen Pool-Mehrwegsystems. Um eine solche ganzheitliche und in der Praxis anwendbare Entscheidungshilfe zu entwickeln, ist daher ebenso eine Forschungsförderung notwendig.

Eine allgemein **anerkannte Entscheidungshilfe** kann auch Grundlage für ein eigenes „Verpackungsetikett“ sein: Dieses könnte als einfach verständliches und glaubhaftes Kommunikationsmittel die Nachfrage in Richtung nachhaltiger und zirkulärer Verpackungen lenken. Um ein solches Label mit entsprechenden Kriterien und Indikatoren – als sinnvolle Ergänzung oder Ersatz für alle existierenden Label – zu entwickeln, bedarf es eines interdisziplinären, wissenschaftlichen Konsortiums.

## 5.2 Abfall vermeiden

In der Vergangenheit konnten Effizienzgewinne im Verpackungsdesign die stark wachsende Menge der (Kunststoff-)Verpackungsabfälle nicht kompensieren. Das oberste Gebot des Verpackungsgesetzes (ehemals Verpackungsverordnung), die **Vermeidung von Verpackungsabfällen**, wird demnach seit Jahren verfehlt. Daher muss der verstärkten Vermeidung von Abfällen eine besondere Priorität eingeräumt werden. Hierfür bedarf es eines Konzepts mit **konkreten Zielen, Maßnahmen, ökonomischen Anreizsystemen und Zeitvorgaben**. Die Forschung kann hier einen Beitrag leisten, indem sie geeignete Indikatoren für die Zielsetzung und deren Monitoring vorschlägt. Grundsätzlich gilt, dass die im Verpackungsgesetz genannten Ziele und Vorgaben verbindlich umgesetzt werden müssen. In ein solches Konzept sollten **unabhängige Kontrollinstanzen** miteinbezogen werden, die a) über die transparente Darlegung von Zwischenergebnissen zu festgelegten Zielen und Vorgaben informieren, b) bei Drohung der Nichterreichung entsprechende Maßnahmen einleiten sowie c) zur Einführung von Sanktionsmaßnahmen bei Nichteinhaltung berechtigt sind.

Ein weiterer Schritt zur Vermeidung von Verpackungsabfällen ist der **Ausbau von Möglichkeiten, Verpackungen wiederzuverwenden**. Massentaugliche Re-Use-Konzepte, die ökologisch vorteilhaft und ökonomisch tragbar sind, gilt es weiterzuentwickeln, zu testen und umzusetzen. Dafür bedarf es einer verstärkten Kooperation in der Industrie, auch in neuen Akteurskonstellationen. Mehrwegsysteme beispielsweise sind besonders dann ökologisch vorteilhafter, wenn **standardisierte Verpackungen in einem offenen Poolsystem** verwendet werden, das von vielen Akteuren genutzt wird. Wichtig ist, die ökologische Vorteilhaftigkeit von Re-Use-Konzepten zu überprüfen. Die Politik sollte dies verstärkt unterstützen, indem sie beispielsweise **Dialogplatt-**

formen bietet sowie ihre **Start-up-Förderung** in diesem Bereich intensiviert. Wenn solche ökologisch und ökonomisch optimierten Re-Use-Konzepte entworfen sind, wäre die schrittweise Einführung verbindlicher Mehrwegquoten für weitere – über den Getränkebereich hinausgehende – Lebensmittel-, Transport- und Versandverpackungen eine weiterführende Maßnahme.

### 5.3 Design for Circularity and Sustainability umsetzen

Ein Haupthindernis für die Kreislaufschließung ist die mangelnde **Berücksichtigung von Circular-Economy-Prinzipien im Design von Verpackungen** (siehe Kapitel 3.3.1). Im Produktdesign müssen die Nutzungs- und die Nachgebrauchsphase der Verpackung stärker mitbedacht werden, das heißt, alle nicht vermeidbaren Verpackungen sollten möglichst lange nutzbar, wiederverwendbar und hochwertig recycelbar sein und damit auf ein effizientes und effektives Ressourcenmanagement ausgelegt werden. Zudem sollten Material- und Produktdesign so konsequent gestaltet sein, dass keine toxischen Wirkungen entlang der Wertschöpfungskette auftreten und die Folgenutzung negativ beeinträchtigt wird. Wo ökologisch sinnvoll und möglich, sollten unter Berücksichtigung des Gesamtsystems Sekundärmaterial oder Alternativen zu fossilbasiertem Primärmaterial zum Einsatz kommen.

Auf politischer Ebene wurde zur Verbesserung des Designs mit dem **Paragraphen 21 im Verpackungsgesetz** ein wichtiger Hebel eingeführt. Demnach soll es **Boni bei den Beteiligungsentgelten** für die Recyclingfähigkeit, den Einsatz von Recyclingmaterial oder die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen geben. Hier muss allerdings nachjustiert werden, um Belohnungssysteme zielführend und konsistent an ökologischen Vorteilen unter Betrachtung des Gesamtsystems Verpackung auszurichten. Für eine tatsächliche Wirksamkeit dieses Anreizes von Paragraph 21 des Verpackungsgesetzes bedarf es zudem eines **funktionierenden Finanzierungsmechanismus mit eindeutigen und einheitlichen Regeln**. Denn befinden sich die Dualen Systeme durch unterschiedliche Regelungen in Konkurrenz zueinander, besteht für diese keine Möglichkeit, ambitionierte Lenkungswirkungen zu erzeugen. Eine Option für eine einheitliche Lösung wäre hier beispielsweise die Einrichtung eines von privaten und öffentlichen Akteuren finanzierten Fonds, aus dem solche Bonusanreize finanziert werden könnten.<sup>164</sup> Eine kartellrechtskonforme Lösung sollte hierzu schnell gefunden werden; in dieser Lösung sollten auch sinnvolle Vermeidungsansätze und Mehrwegsysteme speziell gefördert werden.

Um eine zielgerichtete Wirkung entfalten zu können, müssten die Anforderungen an Duale Systeme neu formuliert werden. Die **Berechnung von Beteiligungsentgelten** sollte sich konsequent auf die Ziele einer Circular Economy beziehen und entsprechend danach ausgerichtet werden. Reduzierter Ressourceneinsatz (zum Beispiel über die Verwendung von Rezyklaten) und gute Recyclingfähigkeit oder die einheitliche Gestaltung von Verpackungen sind mit Anreizen zu versehen. Pauschale **Mengenrabatte ohne Bezug zu solchen Verpackungsgestaltungen sind wenig zielführend**. Sie benachteiligen kleine Anbieter und verhindern deren Innovationen. Die Bewertungskriterien für die Festsetzung von Zu- und Abschlägen bei Lizenzen müssen transparent sein. Dafür ist eine Systematik zu entwickeln, die auch nach Bedarf, aber unter Wahrung bereits vereinbarter Entgelte angepasst werden kann.

Um Unternehmen die Realisierung von Circular-Economy-Potenzialen zu erleichtern, wäre es zudem hilfreich, wenn **rechtliche Anforderungen**, die das Produkt und dessen Verpackung betreffen, **harmonisiert** würden, beispielsweise Produkt(-schutz) und Abfallrecht. Zudem sollten diese Regulierungen auch international vereinheitlicht werden, damit keine nationalen Insellösungen notwendig sind, sondern Skaleneffekte genutzt werden können und sich Kreislaufführung wirtschaftlich lohnt. Es bedarf also einer EU-weiten Vereinheitlichung von Definitionen und Anforderungen sowie der Harmonisierung von nationalen und kommunalen Vorgaben.

Um sortenreine und mengenmäßig große Stoffströme für die werkstoffliche Verwertung zu erhalten, müssten Verpackungen so gestaltet sein, dass die Konsumentinnen und Konsumenten sie ohne Weiteres trennen können, oder sie müssten konsequent aus Monomaterial designt sein. Zukünftig könnten auch solche Verbundverpackungen zu harmonisierten Stoffströmen beitragen, für die es skalierte und in der Praxis implementierte Trennverfahren gibt. Insgesamt muss aber die Vielzahl der auf dem Markt befindlichen Verpackungen reduziert werden. Dafür sollten Mindeststandards für die EU-weite **Harmonisierung von Verpackungsmaterialien** und deren Komponenten festgelegt werden. Ein erster Schritt sind dabei Eignungslisten für empfohlene Materialien, Bestandteile und Substanzen unter Berücksichtigung toxikologischer Aspekte sowie deren Verhalten in der Nutzungs- und Nachgebrauchsphase. Zudem ist zu prüfen, ob auch Farbstandardisierungen für bestimmte mengenrelevante Verpackungsarten (zum Beispiel Polyethylen(HDPE)-Hohlkörper) sinnvoll sind, um Qualitätsverbesserungen im Post-Consumer-Rezyklat zu erreichen. Die Umsetzung der Mindestanforderungen an Verpackungen, um Stoffströme zu harmonisieren, kann



ebenfalls über die Beteiligungsentgelte gesteuert werden. Sollte dies nicht zum Erfolg führen, könnten klare Verbote von bestimmten Materialien, Materialverbunden oder chemischen Bestandteilen eine ergänzende Maßnahme sein, sofern es für diese keine Recyclingmethode gibt und recyclingfähige Strukturen für andere Materialien existieren, die dieselben Produkthanforderungen erfüllen.

Damit Design-for-Circularity-and-Sustainability-Aspekte nachhaltig berücksichtigt werden können, müssen die Kerngedanken einer Circular Economy beispielsweise auch in Lehrplänen verankert und entsprechende spezifische **Ausbildungsinhalte**, beispielsweise für angehende Industriedesignerinnen oder Materialentwickler, bereitgestellt werden.

## 5.4 Bessere und harmonisiertere Sammlung und Sortierung ermöglichen

Trotz verstärkter Kommunikationsbemühungen der Dualen Systeme ist die **Fehlwurfquote der Post-Consumer-Verpackungsabfälle hoch**. Zu viele Verpackungen landen noch immer im Restmüll, zu viele Verschmutzungen in den Gelben Säcken und Tonnen. Das mindert zum einen die Rezyklatqualität, zum anderen gehen dem Dualen System auch erhebliche Mengen verloren, die potenziell recyclingfähig wären, aber durch die Entsorgung im Restmüll verbrannt werden. Um den Bürgerinnen und Bürgern die Sortierung zu erleichtern, sollte in deutschen Haushalten zukünftig vollständig nach Materialarten getrennt werden. Auch sollten für die Haushalte zusätzliche Anreize gesetzt werden, gebrauchte Verpackungen möglichst sortenrein zu entsorgen – zum Beispiel basierend auf Analysen der Sortierqualität, wie sie aktuell in Österreich getestet werden.<sup>165</sup>

Zahlreiche Faktoren können dazu beitragen, **Konsumentinnen und Konsumenten** bei der Sortierung von Verpackungsabfällen zu **unterstützen**. Damit Verpackungen als Wertstoff und nicht als Abfall verstanden werden, sind (frühkindliche) Bildung sowie eine einheitliche fakten- und handlungsorientierte Kommunikation wichtig, um Frustration bei den Kundinnen und Kunden aufgrund unübersichtlicher Recyclingsysteme abzubauen. Eine Kennzeichnungspflicht, wie zum Beispiel eine einheitliche Trennungssampel, würde eine fundiertere Kaufentscheidung ermöglichen. Ebenso können „zirkuläre Kaufentscheidungen“ durch positive Anreizsysteme wie ein Punktekonto oder Pfandsysteme incentiviert werden. Außerdem sollten **Hürden zur korrek-**

**ten Entsorgung** abgebaut werden. Dies kann durch die Standardisierung der Entsorgungssysteme über Landkreise hinweg, die vermehrte Bereitstellung von Abgabestationen sowie den Einsatz von intelligenten Mülltonnen oder einer digitalen Kennzeichnung zur Verwertung in Sortieranlagen erreicht werden.

**Moderne Sortiertechnologien**, beispielsweise basierend auf Markern, können die Konsumentinnen und Konsumenten bei der Sortierung unterstützen beziehungsweise deren Sortierergebnis optimieren. Der Einsatz dieser Technologien könnte zudem dazu beitragen, die Sortier- und Verwertungsinfrastruktur international aufzubauen, was bisher aufgrund national und regional unterschiedlicher Vorgaben im Abfallrecht weitgehend nicht möglich ist.

Ein Anreizsystem zur sortenreinen Sammlung, das heute bereits hervorragend funktioniert, ist das **Pfandsystem**. Hier ist zu prüfen, inwiefern eine Ausweitung der Pfandpflicht auf weitere Verpackungsarten sinnvoll ist, sowohl eine Ausweitung im Getränkebereich als auch eine Pfandpflicht für weitere Produktgruppen, deren Verpackungen relevante recyclefähige Massenströme produzieren. Voraussetzung ist, dass die bepfandeten Verpackungen standardisiert und von Beginn an kreislauffähig gestaltet sind.

## 5.5 Angebot an defossilierten Rohstoffquellen erhöhen

Es gibt derzeit zu wenige hochwertige Rezyklate und biobasierte Rohstoffe, mit denen fossilbasierte Neuware ersetzt werden kann. Ein Angebot an defossilierten Materialien muss daher in der erforderlichen Qualität und Menge aufgebaut werden.

Wie dieser Bericht zeigt, beginnt die Verpackungsindustrie gerade erst, die **Potenziale des werkstofflichen Recyclings** auszuschöpfen. Insbesondere die Umsetzung der Handlungsempfehlungen zum Design von Verpackungen spielt eine entscheidende Rolle für die Qualität des Rezyklats. Gleichzeitig sind signifikante **Investitionen in Recyclingtechnologie und -infrastruktur** zur Modernisierung der Anlagen (zum Beispiel durch gleichmäßige Stoffstromführung, die Integration mehrstufiger Sortierprozesse, Heißwaschprozesse, Deinking) und zum Aufbau der notwendigen Kapazitäten erforderlich. Hierzu sind einerseits qualitätsorientierte Geschäftsmodelle, andererseits technologische Maßnahmen zur gezielten Stoffstrommanipulation von Verpackungsmaterialien weiterzuentwickeln. An diesem Punkt zeigt sich, wie wichtig eine **intensivierte Kooperation** entlang der

165 | Vgl. Stadt Villach/Saubermacher Dienstleistungs AG 2018.

Wertschöpfungskette ist, damit qualitativ hochwertiges Rezyklat hergestellt werden kann. Derzeit bestehen ein Überangebot an Rezyklaten geringer Qualität und ein Mangel an hochwertigem Rezyklat, was sowohl für Verpackungshersteller als auch für Recycler nicht gewinnbringend ist.

Zu dieser Situation hat auch die derzeit gesetzlich vorgeschriebene werkstoffliche **Recyclingquote** mit ihrer rein quantitativen Zielsetzung beigetragen. Um Qualitäten zu erhöhen, muss der Fokus künftig neben der Verbesserung des Inputs in Recyclingsysteme auch auf der Qualität des Outputs liegen. Zudem sollen **Verwertungs- und Recyclingquoten**, vor allem bei Kunststoffen, **auf spezifische Sorten** heruntergebrochen werden. Dadurch kann zielgenauer berücksichtigt werden, dass sich in manchen Bereichen ambitioniertere Ziele setzen lassen als in anderen (zum Beispiel Lebensmittelverpackung versus Verpackung für Elektrogeräte). Hierzu sollte auf einheitliche Regelungen innerhalb der Europäischen Union (EU) abgezielt werden.

Werkstoffliches Recycling bietet ein großes und bisher bei Weitem nicht ausgeschöpftes Potenzial für die Wiederverwertung von Verpackungsmaterialien. Wie der Exkurs zum werkstofflichen Recycling jedoch zeigt, ist eine dauerhafte, geschlossene Kreislaufführung von Verpackungsmaterialien für gleiche Anwendungen allein mit werkstofflichem Recycling nicht möglich. Hier bedarf es zunächst weiterer Forschung dahingehend, welche Materialien sich besonders für die Kreislaufführung eignen und wie eine Erhöhung der Zyklenzahl realisiert werden kann. Dennoch müssten in einem geschlossenen Kreislaufmodell Material- und Qualitätsverluste im werkstofflichen Recycling durch **defossilierte Kunststoffe** mit Neuqualität ausgeglichen werden. Chemisches Recycling und biobasierte Kunststoffe stellen jedoch nur dann Lösungen dar, wenn sie ökologische Vorteile mit sich bringen – beziehungsweise gilt es, hier immer den konkreten Einzelfall zu betrachten. Bei biobasierten Kunststoffen muss beispielsweise die Konkurrenz zu Lebensmitteln ausgeschlossen sein. Nachhaltigkeitskriterien sollten in Form glaubhafter Zertifizierungssysteme umgesetzt werden. Bezüglich des chemischen Recyclings ist sicherzustellen, dass dieses nicht mit dem werkstofflichen Recycling gleichgesetzt, sondern als mögliche Ergänzungstechnologie definiert wird, solange werkstoffliches Recycling ökologisch vorteilhafter ist. Neben dem Energieaufwand gilt es, weitere Faktoren wie beispielsweise Toxizität und Reinheitsgrad, Rohstoffaufwand beziehungsweise -input noch in umfassenden Studien zu evaluieren. Unter der Annahme, dass die chemische Industrie ein zukünftiges Feedstock-Problem zu lösen hat, und anerkennend, dass international mit Hochdruck an skalierbaren Verfahren des chemischen Recyclings gearbeitet wird,

sollte Deutschland allerdings nicht nur eine beobachtende Rolle einnehmen, wenn es darum geht, genügend qualitativ hochwertige Ausgangsstoffe her- und bereitzustellen. Deutschland könnte innovativ vorgehen und den **Weg zu einem klimaneutralen chemischen Recycling** weisen. Insbesondere werden in der Zukunft technologieübergreifende Prozesse, eine Kaskadennutzung, von Relevanz sein, um Sekundärrohstoffe für eine effektivere Kreislaufwirtschaft bereitzustellen. Um besser verstehen zu können, wofür und in welchen Mengen chemisches Rezyklat und biobasierte Neuware notwendig sind, gilt es zu erforschen, was ein **ökologisch optimaler und technisch sinnvoller defossilierter Materialmix** ist. Damit anwendungsnahe Forschung zu diesen Themen betrieben und beispielsweise ganzheitliche Nachhaltigkeitsanalysen durchgeführt werden können, könnte dazu neben reiner Forschungsförderung auch ein **Reallabor** initiiert werden.

Gleichzeitig sollten Projekte gefördert werden, die **neue und verantwortungsvolle biobasierte Rohstoffquellen** erschließen. Der Fokus sollte auf der Nutzbarmachung von derzeitigen Reststoffen als Ausgangsstoff für die Synthese von biobasierten Kunststoffen liegen, beispielsweise verfügbare Agrar-, Handels- und Haushaltsabfälle sowie biologische Nebenströme wie Altholz, Molkeninhaltsstoffe und Bioabfälle.

Während der Umstellung chemischer Prozesse von rein fossilbasierten Rohstoffen auf vollständig defossilierte Rohstoffe werden Mischformen anfallen, die ein **zertifiziertes Massenbilanzverfahren** erfordern, sowohl für biobasierte Materialien als auch für chemisches Rezyklat. Denn die Konversionsprodukte werden schrittweise in die vorhandene chemische Infrastruktur eingebunden werden, um die Umstellung finanzieren zu können. Das bedeutet, dass das defossilierte Ausgangsmaterial nicht in physikalisch getrennten Stoffströmen von fossilen Rohstoffen gehalten wird und man somit auch nicht nachverfolgen kann, zu wie viel Prozent welches Ausgangsmaterial in welches Endprodukt gelangt. Der Massenbilanzansatz ersetzt in gewisser Weise diese nicht herzustellende Transparenz durch Regeln der Zurechnung. Er legt fest, wie die Menge des eingegangenen defossilierten Materials den Endprodukten zugeordnet werden darf, und bestimmt damit auch, was als „recycelt“ oder „biobasiert“ vermarktet werden darf. Damit der Massenbilanzansatz allgemein anerkannt wird, ist es entscheidend, dass dieser von einem unabhängigen Konsortium nach wissenschaftlichen Grundsätzen entwickelt und von unabhängiger Stelle zertifiziert wird.

Inwiefern die **Anrechnung auf gesetzlich vorgegebene Recyclingquoten** sinnvoll ist, um Investitionen in chemisches Re-





cycling zu fördern, oder ob die Gefahr überwiegt, dass die Potenziale des werkstofflichen Recyclings durch eine Öffnung der Quotenanrechnung nicht ausgeschöpft werden, gilt es tiefergehend und aus verschiedenen Perspektiven zu erörtern. Vor dem Hintergrund, dass die Umsetzung von Circular-Economy-Maßnahmen die Reduktion von Treibhausgasemissionen zum Ziel hat, sollten insbesondere Regelungen getroffen werden, die nicht per se Technologien ein- oder ausschließen, sondern die Lösungen fördern, die den niedrigsten CO<sub>2</sub>-Fußabdruck vorweisen können.

## 5.6 Nachfrage nach defossiliertem Material steigern

Defossiliertes Material, also Rezyklate und Neuware aus nachwachsenden Rohstoffen, steht im preislichen Wettbewerb zu fossilbasierter Neuware. Deswegen sind – gerade in Zeiten niedriger Ölpreise – ökonomische Anreize notwendig, um den Einsatz von defossiliertem Material zu steigern und eine stabile Nachfrage zu schaffen. Grundsätzlich gibt es dafür zwei Wege: erstens die Verteuerung von fossilbasierter Neuware und zweitens die Subvention von defossilierten Alternativen.

Die Verteuerung von fossilbasierter Neuware könnte durch eine allgemeine CO<sub>2</sub>-Abgabe oder eine **Rohstoffsteuer auf alle Verpackungsmaterialien** erfolgen. Die Auswirkungen solcher Instrumente gilt es zunächst zu evaluieren. Die bereits beschlossene „EU-Plastikabgabe“,<sup>166</sup> die bei entsprechender Ausgestaltung ähnlich wie eine Rohstoffsteuer wirken könnte, greift jedoch zu kurz. Da die Menge an nicht-recyclten Abfällen von Kunststoffverpackungen als Berechnungsgrundlage für die Höhe der nationalen Beiträge dient, setzt die Abgabe aus ökologischen Gesichtspunkten an der falschen Stelle an. Eine Lenkungswirkung hin zu weniger Abfällen, die thermisch verwertet werden müssen, hat eine solche Abgabe nur, wenn die Zusatzkosten den Inverkehrbringer von nicht-recyclingfähigen Verpackungen aus Primärmaterial belasten. Die Kosten müssten also umgelegt werden; dies sollte bei der nationalen Ausgestaltung bedacht werden. Da von der Abgabe zudem nur Kunststoffe betroffen sind, besteht die Gefahr, dass sie durch andere Materialien substituiert werden, die schlechter bis gar nicht recyclingfähig sind beziehungsweise einen höheren ökologischen Fußabdruck haben. Auch ist die Abgabe nicht zweckgebunden, um beispielsweise notwendige Verbesserungen im Materialmanagement und in

der Recyclinginfrastruktur zu finanzieren. In diesen Bereichen fehlen also weiterhin die benötigten Investitionen.

Um den Rezyklatmarkt im gebotenen Umfang zu beleben, ist die schrittweise Einführung eines festgelegten **Mindestanteils für den Einsatz von Post-Consumer-Recyclingkunststoffen** in bestimmten Bereichen sinnvoll. Diese verpflichtenden Einsatzquoten würden dazu führen, dass die Nachfrage nach Rezyklaten ansteigt und ein echter Recyclingrohstoffmarkt entsteht. Bei der Festlegung des Mindestanteils muss jedoch darauf geachtet werden, dass die notwendigen Rezyklatqualitäten auch am Markt vorhanden sind. Hierbei wäre eine entsprechend frühzeitige Festlegung auf Quoten und Qualitätsstandards für Rezyklate hilfreich, um für Investitionssicherheit bei den benötigten Kapazitäten zu sorgen. Es gilt jedoch auch, das Thema differenziert anzugehen. Wie in Kapitel 4 dargelegt, kann für Lebensmittelprodukte beispielsweise ein solcher Rezyklatanteil derzeit nur aus dem bepfandeten Flaschenstrom kommen. Das Material, das im Deutschen Pfandsystem (DPG) einer echten Kreislaufführung unterliegen könnte, wird damit einem hochwertigen Stoffstrom entzogen und oftmals nach dem zweiten Lebenszyklus verbrannt. Dieses Beispiel zeigt stellvertretend für ein systemisches Problem, dass die Verwendung von Rezyklat in Verpackungen nicht per se sinnvoll ist beziehungsweise dass neben Rezyklatherkunft und -menge immer auch die tatsächliche Folgenutzung betrachtet werden muss.

Wie der Anwendungsfall Käseverpackung (Kapitel 4.2) ebenfalls zeigt, ist die Anforderung der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA), dass Polyethylenterephthalat (PET)-Rezyklat für Lebensmittelverpackungen nur zu maximal fünf Prozent aus Non-Food-Anwendungen stammt – ein großes Hindernis für den Rezyklateinsatz. Diese Bedingung sollte kritisch hinterfragt werden. Grundsätzlich gilt es, für die Zukunft Mechanismen und Strategien auszuarbeiten, wie weitere Rezyklate – über Polyethylenterephthalat (PET) aus dem Pfandstrom hinaus – als **Sekundärrohstoff für den Lebensmittelkontakt** zugelassen werden können, beispielsweise durch die separate Ausschleusung zuvor optimierter Lebensmittelverpackungen aus Polyolefinen. Auch die Entwicklung geeigneter Barrirelacke als Migrationsbarriere kann dabei eine Rolle spielen. Die Einschränkung, dass für Lebensmittelverpackungen nur Rezyklate aus dem PET-Pfandflaschenstrom genutzt werden können, muss überwunden werden.

Die Festlegung von EU-weit geltenden **Sicherheitsanforderungen und -standards für Rezyklate** würde die Verwendung von

166 | Die Abgabe wurde im Juli 2020 beschlossen und dient als Instrument zur Berechnung der nationalen Beiträge zum Corona-gebeutelten EU-Haushalt. Als Berechnungsgrundlage für die Höhe der nationalen Beiträge soll die Menge an nicht-recyclten Abfällen von Kunststoffverpackungen dienen.



Rezyklaten vereinfachen. Diese sollen gewährleisten, dass Rezyklate stets in einer für die jeweilige Produktgruppe spezifischen Qualität zum Einsatz kommen und entsprechend produziert werden. Beispielsweise sind für Reinigungsmittel nicht die gleichen Qualitätsstandards notwendig wie für Verpackungen, die mit Lebensmitteln in Kontakt kommen. Es sollten also Mindestqualitäten für verschiedene Produktgruppen (Kosmetik, Reinigung, Food) festgelegt werden. Klar definierte Standards würden außerdem zur besseren Planbarkeit der Nachfrage beitragen und damit sicherstellen, dass ausreichend Rezyklat in den jeweiligen

Qualitäten zur Verfügung steht. Denn durch eine Standardisierung können **Abnahmegarantien** in der Industrie vereinbart werden, die wiederum Investitionssicherheit für die Recyclingunternehmen schaffen. Die Politik sollte die Etablierung dieser Standards fördern, beispielsweise durch Nutzung und gegebenenfalls Mandatierung der etablierten Normen- und Standardisierungsorganisationen. Die Forschung kann durch Entwicklung von **Prüfverfahren zur Sicherstellung von Material- und Produktsicherheitsstandards** beitragen.



## 6 Roadmap und Ausblick

Die im vorangehenden Kapitel ausführlich beschriebenen Handlungsempfehlungen an Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft wurden von den Mitgliedern der Arbeitsgrup-

pe priorisiert und zeitlich bis zur Erreichung des skizzierten Zielbilds einer Circular Economy für Verpackungen auf der folgenden Roadmap verortet.

Projekte	2021–2024: Kurzfristig „Weichen stellen“
 Politik	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Initiierung der Erarbeitung einer wissenschaftlich basierten <b>Entscheidungshilfe</b> für die Nachhaltigkeit von Verpackungen</li> <li>2. Erarbeitung verbindlicher <b>Konzepte zur Abfallvermeidung</b> und Etablierung einer unabhängigen Kontrollinstanz</li> <li>3. <b>Konkretisierung</b> der Ausgestaltung des <b>§ 21 VerpackG</b> (abgestimmt auf EU-Vorgaben)</li> <li>4. Etablierung eines national einheitlichen <b>Sammelsystems</b> mit Trennung <b>nach Materialien</b></li> <li>5. Vorlage eines verbindlichen EU-weiten gemeinsamen Konzepts zum Ausbau und zur Optimierung der <b>Sammel-, Sortier- und Recyclinginfrastruktur</b></li> <li>6. Investitionsförderung für <b>Sortier- und Recyclingtechnologien</b></li> <li>7. Initiierung von Standardsetzungsverfahren für <b>Rezyklat- und Recyclingstandards</b> auf EU-Ebene</li> <li>8. <b>Eindeutige Kommunikation</b> und <b>einheitliche Kennzeichnung</b> an Verbraucher</li> <li>9. Sicherstellung von Bildung und Ausbildung</li> </ol>
 Industrie	<ol style="list-style-type: none"> <li>10. Entwicklung und <b>Skalierung von (Geschäftsmodell-) Innovationen</b>, bei denen die <b>aktive Vermeidung nicht notwendiger Verpackungen</b> oberste Prämisse ist</li> <li>11. Sicherstellung der Wiederverwendung bzw. qualitativ möglichst hochwertigen werkstofflichen Verwertung von Verpackungen durch <b>entsprechendes Design</b></li> <li>12. Konsequente Gestaltung von Material- und Produktdesign, sodass <b>keine toxischen Wirkungen</b> entlang der Wertschöpfungskette auftreten und die Folgenutzung negativ beeinträchtigt wird</li> <li>13. Kollaborative Initiierung gemeinsamer <b>(Mindest-) Standards zur Harmonisierung</b> von Verpackungen und deren Komponenten</li> <li>14. Kollaborative Erarbeitung gemeinsamer <b>Rezyklat- und Recyclingstandards</b></li> <li>15. Optimierung der <b>Aufklärungsarbeit</b> hinsichtlich der Kaufentscheidung für nachhaltigstes Produkt sowie Funktionsweise der getrennten Wertstoffsammlung</li> </ol>
 Wissenschaft	<ol style="list-style-type: none"> <li>16. Bereitstellung einer <b>Bewertungsgrundlage bzw. Entscheidungsplattform</b> für Nachhaltigkeit von Verpackungen (unter Berücksichtigung gesamtsystemischer Effekte)</li> <li>17. Erstellung von Potenzialanalysen zu <b>Re-Use-Systemen</b></li> <li>18. Weitere Erforschung des <b>Konsumentenverhaltens</b></li> <li>19. Erstellung von <b>Eignungslisten für empfohlene Materialien</b>, Bestandteile und Substanzen unter Berücksichtigung von Human- und Ökotoxikologie sowie deren Verhalten in der Nutzungs- und Nachgebrauchsphase</li> <li>20. Erforschung und Weiterentwicklung von <b>Recyclingtechnologien und alternativen Rohstoffen</b> und deren Eignung für Verpackungen</li> <li>21. Bereitstellung entsprechender <b>Ausbildungsinhalte</b> (z. B. kreislauffähiges Produktdesign)</li> </ol>
 Zivilgesellschaft	<ol style="list-style-type: none"> <li>22. <b>Bewusstseinswandel</b>: Verpackungen sind Wertstoffe</li> <li>23. Vermeidung von <b>Produkt- und Lebensmittelabfällen</b></li> <li>24. Verzicht auf <b>unnötige Verpackungen</b> durch bewussten und verantwortungsvollen Konsum</li> <li>25. <b>Sachgerechte Vorsortierung</b> und Entsorgung, insb. kein Littering</li> </ol>



Abbildung 15: Roadmap zur Erreichung des Zielbilds (Quelle: eigene Darstellung)

Die Umsetzung dieser Roadmap kann den Systemwandel in Richtung einer Circular Economy für Verpackungen ermöglichen. Entscheidend für den Erfolg wird sein, dass kurzfristig ambitionierte Weichen gestellt und damit Investitionsanreize und -sicherheiten geschaffen werden. Die Etablierung eines zirkulären Modells ist notwendig, um die hohen Erwartungen der Gesellschaft zu erfüllen. Vor allem aber wird man bei steigender umweltpolitischer Regulierung auch langfristig ökonomisch davon profitieren, frühzeitig und zielstrebig die Transformation anzugehen.

Mit diesem Bericht hoffen die Mitglieder der Arbeitsgruppe Verpackungen der *Circular Economy Initiative Deutschland*, einen Beitrag zum Diskurs zugunsten einer Circular Economy für Verpackungen geleistet zu haben. Die Transformation steht noch am Anfang und ist auf weiteren kollaborativen Austausch angewiesen. Nun liegt es an allen beteiligten Akteuren aus Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft, die hier aufgezeigten Handlungsempfehlungen entschlossen umzusetzen.



# Anhang

## A Abkürzungsverzeichnis

APET	Amorphes Polyethylenterephthalat
APR	Association of Plastics Recyclers
B2B	Business-to-Business
B2C	Business-to-Consumer
BAU-Szenario	Business-as-Usual-Szenario
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CE	Circular Economy
CEID	<i>Circular Economy Initiative Deutschland</i>
CH <sub>4</sub>	Methan
CO	Kohlenstoffmonoxid
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CO <sub>2</sub> e	Kohlenstoffdioxid-Äquivalent
DPG-System	Einwegpfandsystem der Deutschen Pfandsystem GmbH
EFSA	Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit
EPK	Einweg-Plastikkisten
EPR	Extended Producer Responsibility/Erweiterte Herstellerverantwortung
EU	Europäische Union
EVOH	Ethylen-Vinylalkohol-Copolymer
EWV-System	Einwegverpackungssystem
H <sub>2</sub>	Wasserstoff
HDPE	High-Density-Polyethylen
ISCC	International Sustainability and Carbon Certification
JRC	Joint Research Centre
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
LCA	Lebenszyklusanalyse
LPDE	Low-Density-Polyethylen
MPK	Mehrwegplastikkisten
MWV-System	Mehrwegverpackungssystem
NABU	Naturschutzbund Deutschland
NIRS	Nahinfrarotspektroskopie
PE	Polyethylen
PET	Polyethylenterephthalat
PET-BO	Biaxial orientierte Polyesterfolien
PHA	Polyhydroxyalkanoate
PLA	Poly lactide
PO	Polyolefine
PP	Polypropylen
PS	Polystyrol
PVC	Polyvinylchlorid
SiO <sub>x</sub>	Siliziumsuboxid

## B Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b>	Ansatzpunkte für Circular-Economy-Maßnahmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Verpackungsindustrie	8
<b>Abbildung 2:</b>	Bedeutung von Verpackungen für die Ziele nachhaltiger Entwicklung der Vereinten Nationen	14
<b>Abbildung 3:</b>	Teilnehmer der Arbeitsgruppe Verpackungen	18
<b>Abbildung 4:</b>	Arten und Mengenanteile von Kunststoffen in verschiedenen Branchen	21
<b>Abbildung 5:</b>	Verluste im Recycling von Post-Consumer-Kunststoffabfällen im Jahr 2019	22
<b>Abbildung 6:</b>	Zwei Perspektiven auf Circular Economy	28
<b>Abbildung 7:</b>	Hebel zum Circular-Economy-konformen Inverkehrbringen von Verpackungen	29
<b>Abbildung 8:</b>	Biokunststoff	31
<b>Abbildung 9:</b>	Voraussetzungen für die Kreislaufführung	34
<b>Abbildung 10:</b>	Struktur des Zielbilds 2030/2050 und der Modellierung	40
<b>Abbildung 11:</b>	Exemplarische Darstellung von Anforderungen an eine Waschmittelverpackung	44
<b>Abbildung 12:</b>	Exemplarische Darstellung einiger Anforderungen an eine Käseverpackung	47
<b>Abbildung 13:</b>	Circular Economy bedeutet eine Transformation der Wirtschaft entlang verschiedener Dimensionen	56
<b>Abbildung 14:</b>	Ansatzpunkte für Maßnahmen	57
<b>Abbildung 15:</b>	Roadmap zur Erreichung des Zielbilds	65
<b>Abbildung 16:</b>	Organigramm und inhaltlicher Fokus der Circular Economy Initiative Deutschland	68
<b>Abbildung 17:</b>	Die <i>Circular Economy Initiative Deutschland</i> verbindet konkrete Anwendungsfälle mit übergeordneten Themen	69
<b>Abbildung 18:</b>	Gesamtenergiebedarfe für Rezyklate im Vergleich zu Neuware berechnet mit und ohne Energieinhalt der Neuware	73
<b>Abbildung 19:</b>	Reduktionspotenziale von Treibhausgas bei verschiedenen Verwertungswegen	74
<b>Abbildung 20:</b>	Ausstoß CO <sub>2</sub> -Äquivalente von MPK im Vergleich zu EPK	75
<b>Abbildung 21:</b>	Vergleich der Treibhausgasemissionen von PET-Mehrweg und Einweg	76
<b>Abbildung 22:</b>	Variation der zentralen Parameter	79

## C Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b>	Zielbild für die Zirkularitätshelpe bei Kunststoffverpackungen	41
<b>Tabelle 2:</b>	Szenarien des Gedankenexperiments	52
<b>Tabelle 3:</b>	Herstellung gleicher Mehrkosten für beide Szenarien	53
<b>Tabelle 4:</b>	Hochgerechnete Kunststoffmengen im Business-as-Usual Szenario für 2030/2050	71
<b>Tabelle 5:</b>	Zielbild 2030/2050	72
<b>Tabelle 6:</b>	Annahmen zu Kunststoffbedarf, -preisen und CO <sub>2</sub> -Fußabdrücken	77
<b>Tabelle 7:</b>	Politische Instrumente 2030	78
<b>Tabelle 8:</b>	Kostenberechnung	78
<b>Tabelle 9:</b>	Kostenberechnung mit angepassten Annahmen, um ökonomische Vorteilhaftigkeit für das Szenario „zirkulär“ herzustellen	80
<b>Tabelle 10:</b>	Notwendige Zielwerte für Kunststoffpreise und CO <sub>2</sub> -Fußabdrücke, um ökonomische Vorteilhaftigkeit für das Szenario „zirkulär“ herzustellen	80
<b>Tabelle 11:</b>	Notwendige politische Instrumente, um ökonomische Vorteilhaftigkeit für das Szenario „zirkulär“ herzustellen	80

## D Hintergrund zur Circular Economy Initiative Deutschland

Die *Circular Economy Initiative Deutschland (CEID)* entwickelt unter Einbindung von Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft ein gemeinsames Zielbild für Deutschland und identifizieren bestehende wie erforderliche Rahmenbedingungen. Die Arbeit findet in unterschiedlichen Gremien statt; der Lenkungskreis bildet die Leitungs- und Strategieebene der Initiative. Der Arbeitskreis besteht aus Vertreterinnen und Vertretern von im Lenkungskreis vertretenen Unternehmen, wissenschaftlichen Institutionen und zivilgesellschaftlichen Organisationen sowie Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Geschäftsstelle der *Circular Economy Initiative* und des Kooperationspartners SYSTEMIQ. Hauptaufgabe des Arbeitskreises ist die Erarbeitung einer Circular-Economy-Roadmap. Innerhalb der Arbeitsgruppen findet der Austausch zu speziellen Themen wie Verpackungen oder Batterien statt. Dabei werden Chancen und Herausforderungen hinsichtlich der Umsetzung der Circular Economy erarbeitet.

Die Förderung für das Projekt wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) bereitgestellt. Durch die Beteiligung der Ministerien im Lenkungskreis wird der ressortübergreifende Anschluss an die Politik sichergestellt; acatech und SYSTEMIQ gewährleisten als Geschäftsstelle der Initiative sowohl Prozesskoordination als auch unabhängige und inhaltliche Zuarbeit. Den Vorsitz hat der acatech Vizepräsident Thomas Weber inne.

Die Arbeit der *Circular Economy Initiative Deutschland* ist in drei Arbeitsgruppen strukturiert:

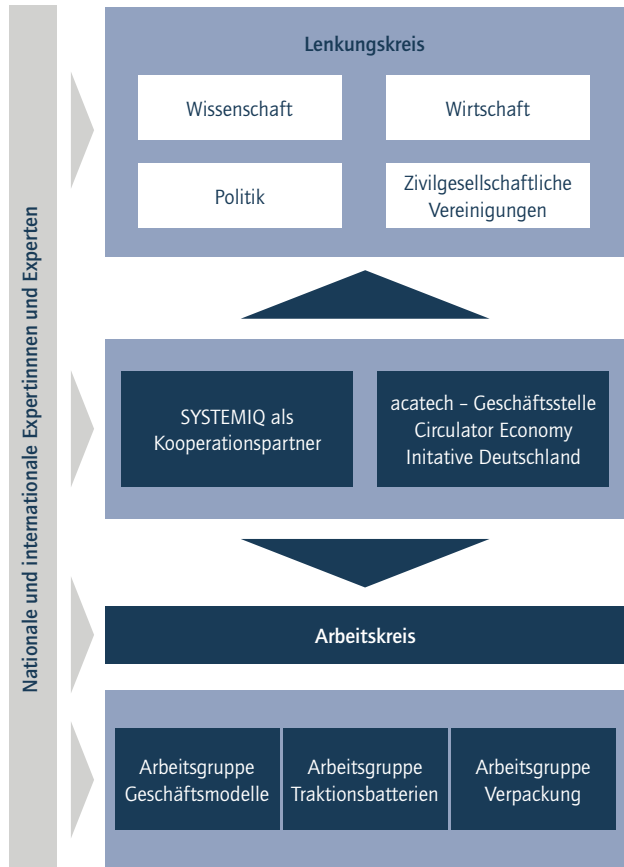


Abbildung 16: Organigramm und inhaltlicher Fokus der Circular Economy Initiative Deutschland (Quelle: eigene Darstellung)



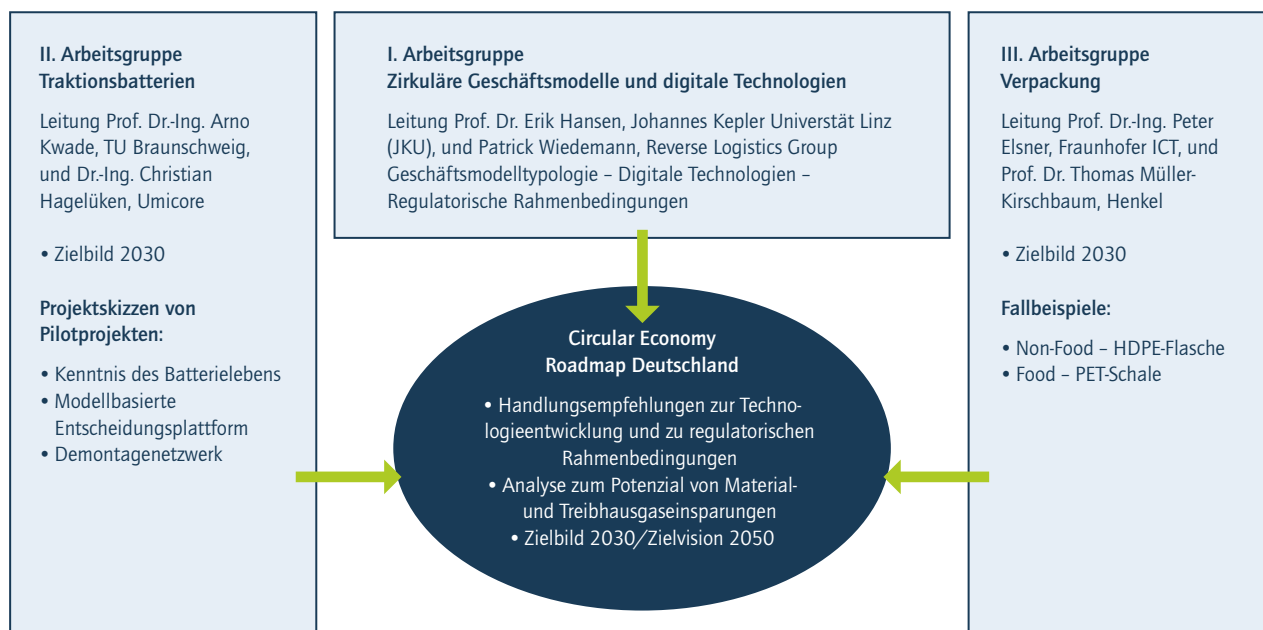


Abbildung 17: Die Circular Economy Initiative Deutschland verbindet konkrete Anwendungsfälle mit übergeordneten Themen (Quelle: eigene Darstellung)

- Die Arbeitsgruppe Geschäftsmodelle befasst sich auf konzeptioneller Ebene mit den Potenzialen zirkulärer Geschäftsmodelle und digitaler Technologien als Innovationstreiber.
  - Die beiden anderen Arbeitsgruppen arbeiten entlang der sektorspezifischen Funktionssysteme Traktionsbatterien und Verpackung.
  - der Relevanz für den Wirtschaftsstandort Deutschland,
  - dem Potenzial für eine konkrete Umsetzung in Form von Unternehmenskooperationen über die Laufzeit der Initiative hinaus,
  - der Möglichkeit, sektorübergreifend neue Wertschöpfungsnetzwerke zu etablieren, sowie
  - dem Mehrwert im internationalen Kontext, zum Beispiel durch einen neuen Blickwinkel auf die Circular-Economy-Debatte in Europa oder durch eine Anschlussfähigkeit mit europäischen Wirtschaftspartnern.
- Die Auswahl der beiden Funktionssysteme für die Arbeitsgruppen Traktionsbatterien und Verpackungen orientierte sich an verschiedenen Kriterien, insbesondere an



## E Grundlagen für die Zielbildentwicklung

Kunststoffverpackungen haben sich zu einem zentralen Bestandteil unserer Konsummuster entwickelt und erfüllen verschiedenste Funktionen, die unter anderem signifikant zum Klima- und Ressourcenschutz beitragen; unter anderem wäre unser aktuelles Ernährungssystem ohne Kunststoffverpackungen mit noch höheren Lebensmittelverlusten verbunden, was in der Regel mit deutlich höheren Ressourcenverlusten verbunden wäre als Herstellung, Nutzung und Recycling der Verpackungen.<sup>167</sup>

Gleichzeitig stellt sich jedoch auch für das System der Kunststoffverpackungen die Herausforderung, von einem linearen System des „Make – Use – Dispose“ zu zirkulären Lösungen zu kommen, bei denen der Wert des Produkts Verpackung und der für ihre Herstellung verwendeten natürlichen Ressourcen möglichst optimal erhalten bleibt.<sup>168</sup> Vor diesem Hintergrund fokussiert sich unter anderem der Aktionsplan Kreislaufwirtschaft speziell auf das Thema der Kunststoffverpackungen und sieht hier besondere Potenziale für das gesetzte Ziel einer „saubereren und wettbewerbsfähigeren Kreislaufwirtschaft“ für Europa.<sup>169</sup>

Ziel dieses Berichts ist der Aufbau einer Datengrundlage, die als Ausgangspunkt für die Arbeiten der Arbeitsgruppe Verpackungen im Rahmen der *Circular Economy Initiative Deutschland* dienen soll. Im Folgenden werden dazu die zentralen Annahmen für ein mögliches Zielbild „Optimierte Verpackungssysteme“ im Jahr 2030/2050 und die damit verbundenen Umwelteffekte diskutiert.

### Methodik und Vorgehen

Mit dieser Zielvorgabe sollen im Folgenden mögliche Szenarien betrachtet werden, die sich aus der Optimierung einzelner Stell-schrauben wie der Nutzung von Sekundärrohstoffen oder biobasierten Kunststoffen ergeben. Es handelt sich damit um eine Partialanalyse, die von ansonsten konstanten Rahmenbedingungen ausgeht und somit nicht den Anspruch erhebt, Prognosen zu entwickeln – insbesondere nicht für das Jahr 2050. Die hier zugrunde liegenden Annahmen wurden exogen getroffen und basieren entweder auf dem Stand der wissenschaftlichen Litera-

tur oder den Ergebnissen der Expertendiskussion im Rahmen der Arbeitsgruppe – die zentralen Annahmen und ihre Quellen werden hier transparent dargestellt; für besonders relevante Punkte oder solche Themen, bei denen auch im Rahmen der Arbeitsgruppe unterschiedliche Perspektiven existieren, wurden Sensitivitäten gerechnet und die Ergebnisse hier nebeneinander gestellt, ohne dabei Aussagen darüber zu treffen, welche davon als wahrscheinlicher oder realistischer angesehen werden könnten.

Für die Betrachtungen wird insbesondere angenommen, dass Qualität und Funktionalität der Verpackungen als konstant gelten können, das heißt, es werden beispielsweise keine Trade-offs auf das Aufkommen an Lebensmittelabfällen betrachtet. Gleichzeitig wird mit Blick auf Verpackungen davon ausgegangen, dass bis zum Jahr 2050 keine disruptiven Innovationen zu erwarten sind, die zum Beispiel über neue Herstellungsmethoden für Lebensmittel den Einsatz von Verpackungen überflüssig machen könnten. Der Fokus liegt auf den in Deutschland in Verkehr gebrachten Verpackungen und den damit entlang der gesamten Wertschöpfungskette verbundenen Umwelteffekten; wenn von dieser Systemgrenze abgewichen wurde, ist dies explizit dargestellt.

### Szenario 2030/2050

Vor dem Hintergrund der dargestellten Zirkularität von Kunststoffverpackungen in Deutschland soll im Folgenden ein Szenario optimierter Verpackungssysteme für den Zeitraum 2030/2050 entwickelt werden. Die dabei betrachteten Parameter umfassen die folgenden Punkte:

1. Entwicklung der Menge eingesetzter Kunststoffverpackungen im Business-as-Usual(BAU)-Szenario bis 2030/2050 durch steigende Nachfrage
2. Entwicklung der Materialeffizienz beim Einsatz von Kunststoffen für Verpackungen
3. Entwicklung des Anteils an Rezyklaten im Verpackungsssektor, differenziert nach Mengen aus chemischem und werkstofflichem Recycling
4. Entwicklung des Anteils biobasierter Kunststoffe im Verpackungsssektor
5. Entwicklung des Anteils wiederverwendbarer Verpackungen

167 | Vgl. Markwardt/Wellenreuther 2017.

168 | Vgl. Ellen MacArthur Foundation 2017a.

169 | Vgl. Europäische Kommission 2020.

## Zu den Punkten 1. und 2.: Entwicklung Business-as-Usual-Szenario und Materialeffizienz im Verpackungsbereich

Wie dargestellt hat sich die Menge der in Verkehr gebrachten Kunststoffverpackungen in den letzten Jahren kontinuierlich erhöht. Darüber hinaus gibt es einige Trends, die absehbar auch in Zukunft zu steigenden Verpackungsmengen führen werden, beispielsweise der Trend zu verpackter Scheibenware bei Wurst und Käse.<sup>170</sup>

Gleichzeitig haben Hersteller und Einzelhandel in den letzten Jahren massiv in die Optimierung der Materialeffizienz von Ver-

packungen investiert, um so Kosten für Material und Logistik einzusparen. Aus diesem Grund waren im Markt deutlich abnehmende Einsatzgewichte speziell bei formstabilen Kunststoffverpackungen zu beobachten, ebenso leicht abnehmende Flächengewichte bei Folien. Der private Endverbrauch von Kunststoffverpackungen im Jahr 2013 wäre um insgesamt 955.000 Tonnen höher gewesen, wären die Einsatzgewichte des Jahres 1991 zugrunde gelegt worden.<sup>171</sup>

Das BAU-Szenario ergibt sich damit als Nettoeffekt aus Mengenwachstum bei gleichzeitig steigender Materialeffizienz. Ausgehend vom Status quo ergäben sich damit für die relevanten Kunststoffsorten folgende Mengen für die Jahre 2030/2050.

	Kunststoffmengen gesamt in 2017 [Angaben in T t]	Anteil Verpackungen [Angaben in T t]		
		2017	2030	2050
HDPE	1.828	731,2	887	1.195
LDPE	2.144	1.286,4	1.561	2.103
PS	452	113	137	185
PP	2.453	809,49	982	1.323
PVC	1.843	276,45	335	452
PET	916	732,8	889	1.198
<b>Gesamt</b>	<b>9.636</b>			
davon Verpackungen		3.949,34	4.793	6.455

Tabelle 4: Hochgerechnete Kunststoffmengen im Business-as-Usual-Szenario für 2030/2050 (Quelle: eigene Darstellung)  
Daten von: Conversio 2018 und Schüler 2019

170 | Vgl. Schüler 2020.

171 | Vgl. Schüler 2019.

### Zu den Punkten 3. und 4.: Annahmen zu Rezyklatanteilen aus dem werkstofflichen und chemischen Recycling

Einer der zentralen Hebel für die Zirkularität des Kunststoffverpackungssektors ist, wie dargestellt, der Anteil von nicht-erdölbasiertem, primärem Kunststoff. Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen der Arbeitsgruppe ein Zielbild abgestimmt, das die Grundlage für das hier berechnete Szenario darstellen soll.

Ausgehend vom dargestellten Startwert von 90,9 Prozent primärem Kunststoff im Jahr 2017<sup>172</sup> sollen bis 2030/2050 die in der folgenden Tabelle aufgelisteten Ziele erreicht werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich diese Werte auf den Kunststoffverpackungssektor insgesamt beziehen; speziell im Nicht-Lebensmittelbereich haben sich eine Reihe von zentralen Akteuren auf noch ambitioniertere Zielwerte verpflichtet,<sup>173</sup> so dass diese Werte als Durchschnitt aus Verpackungen mit und ohne Lebensmittelkontakt zu verstehen sind. Die Werte liegen

	2030	2050
Rezyklat aus dem werkstofflichen Recycling	25 %	40 %
Rezyklat aus dem chemischen Recycling	0 %	20 %

Tabelle 5: Zielbild 2030/2050 (Quelle: eigene Darstellung)

damit in Größenordnungen, wie sie auch in anderen Szenarien zum Verpackungssektor zugrunde gelegt wurden.<sup>174, 175, 176</sup>

Für die Bewertung der damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Einsparungen wurde auf eine Studie der Association of Plastics Recyclers (APR) zurückgegriffen, die für einzelne Materialien umfassende Lebenszyklusanalysen vorgenommen hat.<sup>177</sup>

Die folgende Abbildung verdeutlicht, dass sich dabei je nach Allokationsmechanismus sehr markante Unterschiede im Verhältnis Primär-/Sekundärmaterial ergeben: Die Vorgaben für die Durchführung von Lebenszyklusanalysen erlauben es, die Einsparungen durch den Einsatz von Rezyklat sowohl dem Ausgangsprodukt als auch dem Produkt zuzurechnen, in dem das Rezyklat eingesetzt wird. Da das entwickelte Zielbild darauf ausgelegt ist, dass Material möglichst häufig wieder einem Recycling zugeführt wird, wurde hier nach der Open-Loop-Methodik bilanziert.

172 | Vgl. Conversio 2018.

173 | Vgl. Henkel 2020a.

174 | Vgl. Ellen MacArthur Foundation 2013.

175 | Vgl. Material Economics 2019.

176 | Vgl. Kaeb et al. 2016.

177 | Vgl. Franklin Associates 2018.

	Post Consumer Abfall Sammlung & Sortierung	Post Consumer Abfall Transport zum Wiederaufbereiter	Prozess Wasser & Chemikalien	Prozess Energie, Bale to Flake	Prozess Energie, Flake to Pellet	Prozess Emissionen & Abfall	Rezyklat (Pellets) Gesamt
<b>CUT-OFF</b>							
<b>MJ (Megajoule) pro kg Rohstoff</b>							
Recycltes PET	1.19	0.87	0.21	6.44	6.14	0	14.8
Recycltes HDPE	1.52	0.92	0.13	2.55	3.57	0	8.69
Recycltes PP	1.64	1.04	0.11	6.09	6.09	0	8.89
<b>OPEN LOOP</b>							
<b>MJ pro kg Rohstoff</b>							
Recycltes PET	0.60	0.43	0.10	3.22	3.07	0	42.3
Recycltes HDPE	0.76	0.46	0.067	1.27	1.78	0	42.0
Recycltes PP	0.82	0.52	0.057	3.04	3.04	0	41.6

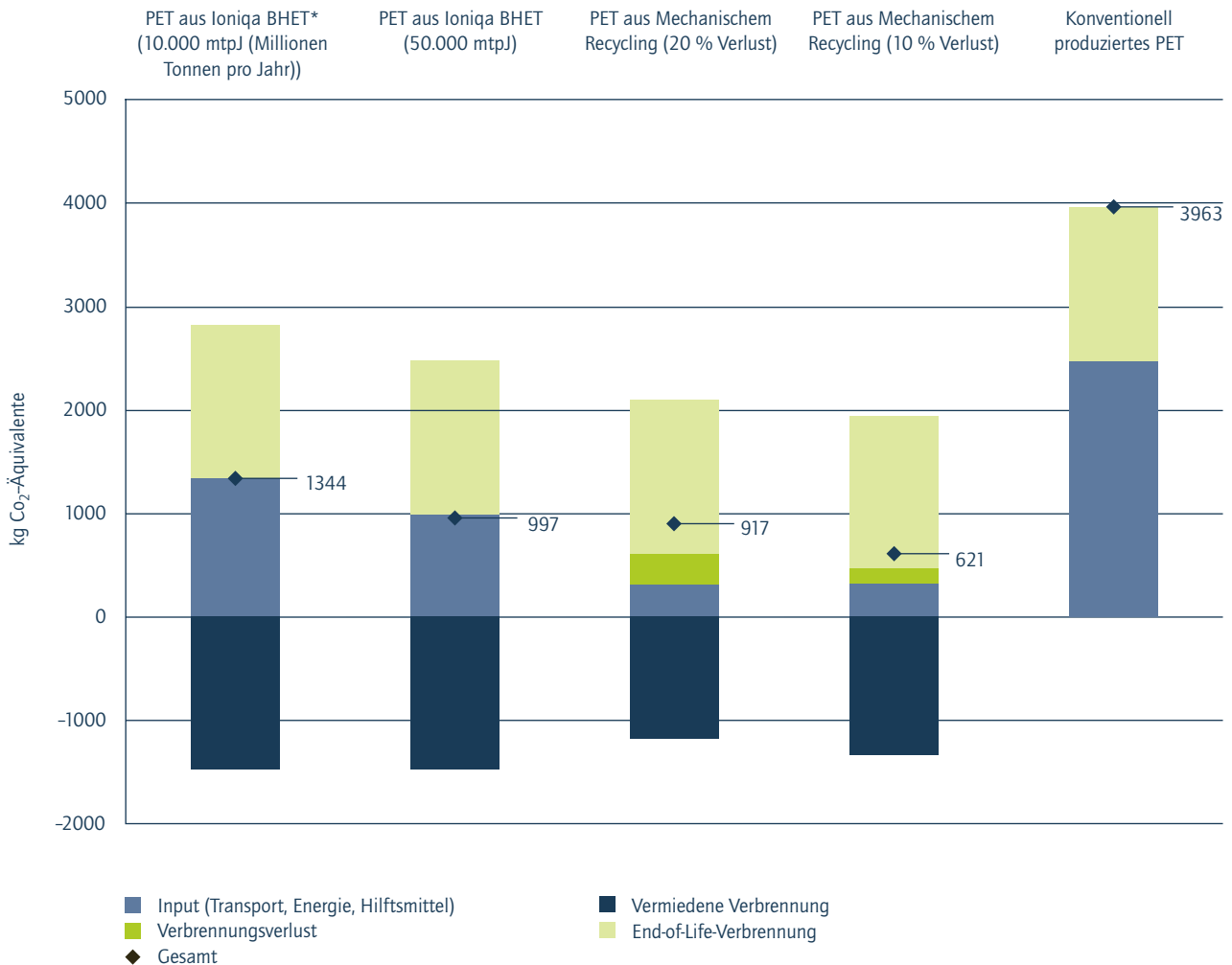
	Neuware (Pellets) inklusive des Energieinhalts des Rohstoffs	Gesamtenergiebedarf Rezyklat im Verhältnis zu Neuware	Energieeinsparung Rezyklat im Vergleich zu Neuware	Neuware (Pellets) exklusive des Energieinhalts des Rohstoffs	Gesamtenergiebedarf Rezyklat im Verhältnis zu Neuware	Energieeinsparung Rezyklat im Vergleich zu Neuware
<b>CUT-OFF</b>						
<b>MJ pro kg Rohstoff</b>						
Recycltes PET	69.8	21 %	79 %	33.3	45 %	55 %
Recycltes HDPE	75.3	12 %	88 %	25.0	35 %	65 %
Recycltes PP	74.4	12 %	88 %	25.1	35 %	65 %
<b>OPEN LOOP</b>						
<b>MJ pro kg Rohstoff</b>						
Recycltes PET	69.8	61 %	39 %	33.3	72 %	28 %
Recycltes HDPE	75.3	56 %	44 %	25.0	67 %	33 %
Recycltes PP	74.4	56 %	44 %	25.1	68 %	32 %

Abbildung 18: Gesamtenergiebedarfe für Rezyklate im Vergleich zu Neuware berechnet mit und ohne Energieinhalt der Neuware (Quelle: Franklin Associates 2018)

Hierbei wurde vereinfachend angenommen, dass sich die unterschiedlichen Treibhausgaseffekte unterschiedlicher Materialien für ansonsten identische Verpackungen allein aus dem Produktionsprozess für die Ausgangsmaterialien ergeben (Polymer Production Stage), das heißt, dass sowohl der weitere Verarbeitungsprozess als auch das Produktdesign oder die Nachnutzungsphase unverändert bleiben.

Das Joint Research Centre der Europäischen Kommission hat in diesem Kontext auf die Studie Comparative Life-Cycle Assessment of Alternative Feedstock for Plastics Production zurückgegriffen,

die darauf abzielte, eine umfassende Datengrundlage für die Bewertung unterschiedlicher Ausgangsmaterialien für Verpackungen zu entwickeln.<sup>178</sup> Dieses Projekt wurde von der Europäischen Kommission im Kontext der Strategie zu Kunststoffen in der Kreislaufwirtschaft initiiert und stellt die Gesamteffekte unter anderem des Rezyklateinsatzes bezogen auf die Verpackung als funktionale Einheit dar. Dabei zeigt sich, dass die Unterschiede zwischen Primärmaterial und Rezyklat deutlich niedriger ausfallen; Ursache hierfür ist unter anderem die komplexere Verarbeitung von Kunststoffen mit höheren Rezyklatanteilen, die bei verschiedenen Verpackungen beispielsweise höhere Wandstärken erfordern.



\* Bis(hydroxyethyl)terephthalat (kurz: BHET) ist ein Zwischenprodukt bei der industriellen Synthese des Polyesters Polyethylenterephthalat (kurz: PET).

Abbildung 19: Reduktionspotenziale von Treibhausgas bei verschiedenen Verwertungswegen (Quelle: Bergsma/Lindgreen 2018)



Auch beim chemischen Recycling gibt es deutlich abweichende Definitionen und damit auch unterschiedliche Bewertungen (siehe Exkurs: Chemisches Recycling, Seite 38).<sup>179</sup> Für die Bewertung wurde ein an der Technischen Universität Delft entwickeltes Verfahren herangezogen, für das eine umfassende Lebenszyklusanalyse für Polyethylenterephthalat (PET) vorgenommen wurde.<sup>180</sup> Die dort ermittelten relativen Reduktionspotenziale wurden vereinfachend auch auf die anderen hier betrachteten Kunststoffsorten übertragen.

### Zu Punkt 5.: Mehrwegverpackungen

Eine mögliche Optimierung des Systems von Kunststoffverpackungen besteht auch in der Etablierung von Mehrwegsystemen, bei denen eine identische Verpackung mehrfach für den gleichen Zweck eingesetzt werden kann – anstatt sie nach einmaliger Verwendung zu entsorgen.

Studien haben gezeigt, dass der Verbrauch von Verpackungsmaterialien im Business-to-Consumer(B2C)- und Business-to-Business(B2B)-Bereich durch die verstärkte Nutzung von Mehrwegverpackungen(MWV)-Systemen grundsätzlich erheblich gesenkt und dadurch auch die negativen ökologischen Auswir-

kungen reduziert werden können.<sup>181</sup> Allgemein werden MWV-Systeme zwar öfter im B2B-Bereich genutzt, allerdings bestehen auch in einzelnen B2C-Märkten langjährig etablierte Systeme (Bier, Mineralwasser ...).

Um jedoch zu entscheiden, ob ein MWV- einem Einwegverpackungs(EWV)-System vorzuziehen ist, bedarf es jeweils einer umfassenden Analyse des ökologischen Impacts in Form einer Lebenszyklusanalyse. Vor diesem Hintergrund erfolgte für die hier vorgenommenen Abschätzungen eine Differenzierung zwischen Endverbraucherpackungen und gewerblichen Verpackungen. Dabei wurden die potenziellen Einsparungen auf Basis folgender konkreter Produkte vorgenommen:

- Getränke (PET-Einweg versus PET-Mehrweg)
- Plastikkartons für den Transport von Lebensmitteln

### Mehrwegplastikkisten

In Italien werden circa 36 Prozent des Obstes und Gemüses mittels Mehrwegplastikkisten (MPK) vertrieben, wie eine umfassende Lebenszyklusanalyse zur Bewertung der Umweltleistungen zeigt.<sup>182</sup> Vergleicht man MPK für den Transport von Früchten

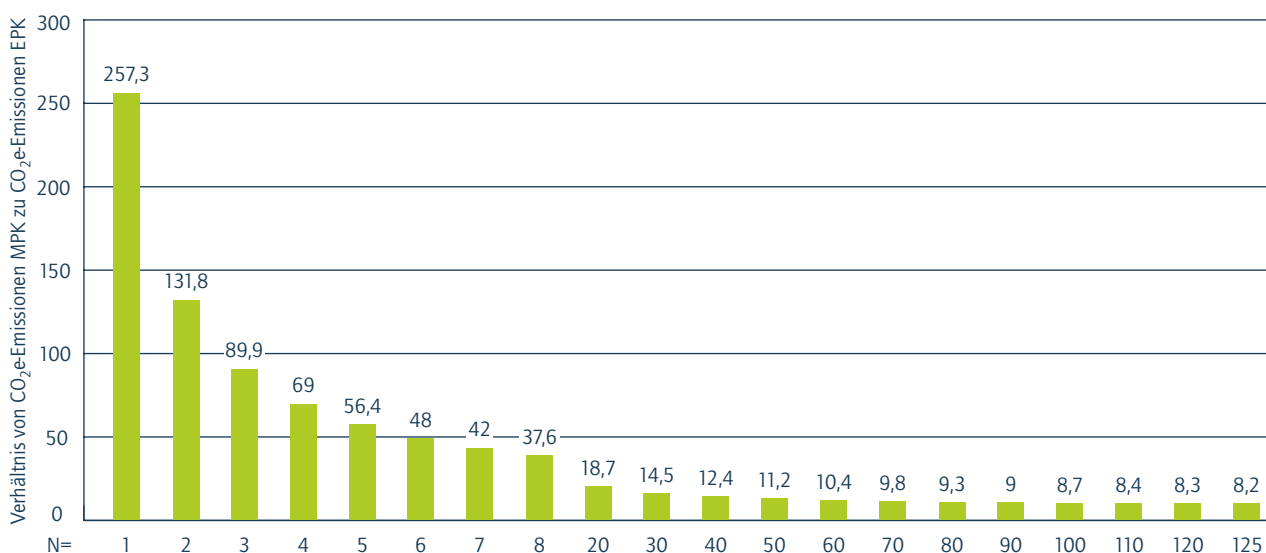


Abbildung 20: Ausstoß CO<sub>2</sub>-Äquivalente von MPK im Vergleich zu EPK (Quelle: Tua et al. 2019)

179 | Vgl. Ramesohl et al. 2020.

180 | Vgl. Bergsma/Lindgreen 2018.

181 | Vgl. Coelho et al. 2020.

182 | Vgl. Tua et al. 2019.

und Gemüse mit einem auf Einwegplastikkisten (EPK) basierenden System, wird deutlich, dass die ökologischen Auswirkungen maßgeblich von der Anzahl der Nutzungen abhängen.<sup>183</sup> Abbildung 20 zeigt, dass MPK erst ab der dritten Nutzung eine bessere Ökobilanz als EPK aufweisen.

Die Einwegplastikkisten fassen dieselbe Menge wie die Mehrwegplastikkisten, sind allerdings um sechzig Prozent leichter – daher verursacht ihre Produktion bedeutend weniger CO<sub>2</sub>. Bei einmaliger Nutzung sind die klimatischen Auswirkungen der Mehrwegplastikkisten somit 2,6 Mal so hoch wie die der Einwegplastikkisten.<sup>184</sup> Bei 125-facher Nutzung betragen die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Mehrwegplastikkisten hingegen nur noch 8,2 Prozent der Einwegplastikkisten.

### PET-Mehrwegflaschen

Analog sind auch bei der Betrachtung von Mehrwegsystemen für Getränke verschiedene Annahmen zu treffen, die sich maßgeblich auf die Vorteilhaftigkeit der konkreten Systeme auswirken. Eine Lebenszyklusanalyse zur Ökobilanz von Mehrweg- und Einwegflaschen im deutschen Mineralwassermarkt, die insbesondere die Höhe des Carbon Footprint in Abhängigkeit von den jeweiligen Transportentfernungen untersucht hat, zeigt, dass die negativen Umweltauswirkungen von Einwegplastikflaschen signifikant höher sind als die der PET-Mehrwegflaschen.<sup>185</sup>

Wie die Abbildung zeigt, liegen die CO<sub>2</sub>-Emissionen der PET-Mehrwegflaschen pro 1.000 Liter um etwa 30 Prozent unter den Emissionen von PET-Einwegflaschen. Durch den konsequenten Einsatz von PET-Mehrwegflaschen für die Abfüllung alkoholfreier Getränke könnten daher in erheblichem Maße CO<sub>2</sub>-Emissionen eingespart werden. Diese Einsparpotenziale resultieren vor allem daraus, dass der Primärverbrauch fossiler Rohstoffe durch die mehrmalige Verwendung der PET-Flaschen um über ein Drittel reduziert werden kann.<sup>186</sup> Dabei ist die Vorteilhaftigkeit von PET-Mehrweg gegenüber PET-Einweg maßgeblich von den jeweiligen Umlaufzahlen der Flaschen abhängig.<sup>187</sup> Die Genossenschaft Deutscher Brunnen eG nutzt ein PET-Mehrwegsystem mit

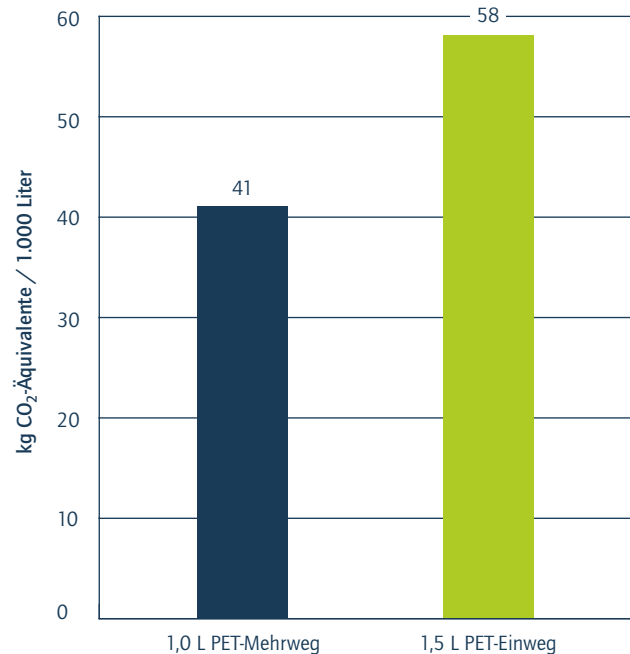


Abbildung 21: Vergleich der Treibhausgasemissionen von PET-Mehrweg und PET-Einweg (Quelle: eigene Darstellung, angelehnt an ifeu 2020)

einheitlichen Flaschen, die bis zu 25 Mal neu befüllt und in regionalen Kreisläufen vertrieben werden können.<sup>188</sup> Bislang liegen keine exakten Daten dazu vor, ab welcher Nutzungshäufigkeit die PET-Mehrwegflasche der Einwegvariante aus ökologischer Sicht vorzuziehen ist. PET-Einwegflaschen sind aufgrund der geringeren Materialstärke etwas leichter und verbrauchen damit weniger Material, allerdings werden sie im Schnitt über deutlich weitere Strecken transportiert. Daher ist davon auszugehen, dass die PET-Mehrwegflasche der Einwegflasche ökobilanziell spätestens ab der zweiten Nutzung überlegen ist.<sup>189</sup> Auch laut Umweltbundesamt ist der Ressourcen- und Energieverbrauch für Transport und Reinigung der Mehrwegflaschen in regionalen Kreisläufen deutlich geringer als der Aufwand für Recycling und Herstellung der PET-Einwegflaschen.<sup>190</sup>

183 | Vgl. ebd.

184 | Vgl. Europäische Kommission et al. 2010.

185 | Vgl. Genossenschaft Deutscher Brunnen eG 2008.

186 | Vgl. ebd.

187 | Vgl. Kauertz/Detzel 2017.

188 | Vgl. Genossenschaft Deutscher Brunnen eG 2020.

189 | Vgl. Kauertz/Detzel 2017.

190 | Vgl. Umweltbundesamt 2018.

## F Annahmen und Rechnungen für Gedankenexperiment 2030

### 1. Annahmen zu Kunststoffbedarf, -preisen und CO<sub>2</sub>-Fußabdrücken

Das Gedankenexperiment wagt einen Blick in die Zukunft und beruht vollständig auf Annahmen. Zunächst wurde für die benötigten Parameter der Status quo recherchiert. Aufbauend darauf diskutierte die Arbeitsgruppe die potenzielle Entwicklung der Parameter und einigte sich anschließend auf einen Wert. Diese Annahmen basieren daher auf der vereinten Branchenexpertise der Arbeitsgruppenmitglieder und deren Einschätzung über die künftigen Entwicklungen.

#### a. Materialbedarf

Es werden ausschließlich die drei Massenkunststoffe Polyethylenterephthalat (PET), Polyethylen (HDPE) und Polypropylen (PP) betrachtet. Für alle drei Materialien wird ein Jahresbedarf von jeweils circa einer Million Tonnen angenommen, was in etwa der Größenordnung im Jahr 2020 entspricht und damit bei einem als steigend angenommenen Verpackungsbedarf bereits eine absolute Reduktionskomponente des Kunststoffverbrauchs einschließt.

#### b. Fußabdrücke für das Sekundärmaterial

Bei den angenommenen Fußabdrücken handelt es sich ausdrücklich nicht um eine möglichst realitätsnahe Prognose aufgrund heutiger Entwicklungen. Vielmehr sind die Annahmen der Versuch, sich dem schmalen Grat zwischen notwendiger Senkung der CO<sub>2</sub>-Fußabdrücke und technischer Realisierbarkeit zu nähern.

Es wurde angenommen, dass die Fußabdrücke für Neuware im Jahr 2030 den heutigen entsprechen.

Bei der Prognose der CO<sub>2</sub>-Einsparungen für werkstoffliches Rezyklat wurde auf eine Studie der Association of Plastics Recyclers (APR) zurückgegriffen, die für einzelne Materialien umfassende Lebenszyklusanalysen vorgenommen hat.<sup>191</sup>

Als Ausgangswert für die Prognose des Fußabdrucks von chemischem Rezyklat diente ein an der Technischen Universität Delft entwickeltes chemisches Verfahren, für das eine umfassende Lebenszyklusanalyse für PET vorgenommen wurde.<sup>192</sup> Die dort ermittelten relativen Reduktionspotenziale wurden vereinfachend auch auf die anderen hier betrachteten Kunststoffsorten übertragen. Diese Literaturdaten wurden mit Branchenkenntnissen und -erwartungen gespiegelt. Beispielsweise gibt es unternehmensinterne Zielsetzungen, denen zufolge der Fußabdruck für chemisches Recycling im Jahr 2030 mindestens fünfzig Prozent unter dem von Neuware liegen muss.

	PET	PP	PE
<b>Annahmen für Materialbedarf (in t/a)</b>			
	1 Mio.	1 Mio.	1 Mio.
<b>Annahmen zu CO<sub>2</sub>-Fußabdrücken (in kg CO<sub>2</sub>e/kg)</b>			
Neuware	2,8	1,8	1,9
Mechanisches Rezyklat	0,9	0,5	0,6
Chemisches Rezyklat	1,0	1,0	1,0
Biobasierte Neuware	1,0	1,0	1,0
<b>Annahmen zu Materialpreisen (in Euro/t)</b>			
Neuware	1.200	1.100	1.000
Mechanisches Rezyklat	1.440	1.320	1.200
Chemisches Rezyklat	1.800	1.650	1.500
Biobasierte Neuware	1.800	1.650	1.500

Tabelle 6: Annahmen zu Kunststoffbedarf, -preisen und CO<sub>2</sub>-Fußabdrücken (Quelle: eigene Darstellung)

191 | Vgl. Franklin Associates 2018.

192 | Vgl. Bergsma/Lindgreen 2018.

Der Fußabdruck von biobasierter Neuware wurde von der Arbeitsgruppe auf das gleiche Niveau geschätzt wie der für chemisches Rezyklat.

### c. Preise

Es wird angenommen, dass der Preis für Neuware im Jahr 2030 etwa den heutigen Preisen entspricht. Die Kosten für werkstoffliches Rezyklat liegen wegen erforderlicher verbesserter Technologien und Investitionsbedarfen bei 120 Prozent von Neuware. Die Kosten von chemischem Rezyklat werden mit 150 Prozent von Neuware angenommen, was unter Berücksichtigung der notwendigen Investitionen eher eine optimistische Untergrenze darstellt. Für biobasiertes PET, HDPE und PP liegt das Preisniveau laut Annahme der Arbeitsgruppe bei etwa 150 Prozent von Neuware.

## 2. Annahmen zu politischen Instrumenten im Jahr 2030

Politisches Instrument	Angenommene Höhe im Jahr 2030
EPR-Basisbetrag (in Euro/t)	800
EPR-Bonus (in Euro/t)	200
CO <sub>2</sub> -Abgabe (in Euro/t CO <sub>2</sub> )	100

Tabelle 7: Politische Instrumente 2030 (Quelle: eigene Darstellung)

Für die Extended-Producer-Responsibility-Abgabe (**EPR-Abgabe**) wird ein Basisbetrag von 800 Euro pro Tonne angenommen. Der

Einsatz von defossilierten Kunststoffen wird mit einem Bonus von 200 Euro pro Tonne vergütet. Im Gedankenexperiment wird damit gerechnet, dass der Bonus auf jede Art von Rezyklat und auch auf biobasierte Kunststoffe gezahlt beziehungsweise dieser Betrag von der EPR-Abgabe abgezogen wird.

Basierend auf den aktuellen Entwicklungen wird eine CO<sub>2</sub>-Abgabe auf alle fossilen CO<sub>2</sub>-Anteile mit 100 Euro pro Tonne CO<sub>2</sub> angenommen. Der Betrag als Untergrenze scheint vereinbar mit der Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Steuer beziehungsweise eines zu erwartenden CO<sub>2</sub>-Preises in einem auf alle fossilen CO<sub>2</sub>-Quellen erweiterten EU-Emissionshandel. Für die Bemessung dieses Betrags sowie die Preisentwicklung der Sensitivitätsanalyse wurde auf die Studien des Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change<sup>193</sup> und des Umweltbundesamts<sup>194</sup> zurückgegriffen.

## 3. Berechnung der Mehrkosten der Szenarien unter den getroffenen Annahmen

[Angaben in Mio. Euro]	Basis	Zirkulär
Kosten Lizenzierung (EPR-Basispreis)	2.400	2.400
Bonus bei Einsatz von Rezyklat	-180	-600
Mehrkosten für werkstoffliches Rezyklat	198	420
Kosten chemisches Rezyklat	-	390
Kosten biobasierte Neuware	-	210
CO <sub>2</sub> -Abgabe	515	239
<b>Mehrkosten</b>	<b>2.933</b>	<b>3.059</b>

Tabelle 8: Kostenberechnung (Quelle: eigene Darstellung)

193 | Vgl. Edenhofer et al. 2019.

194 | Vgl. Burger et al. 2019.

#### 4. Variation der zentralen Parameter

In Abbildung 22 wird ermittelt, welche Parameter die größten Einflussfaktoren für die Mehrkosten sind.

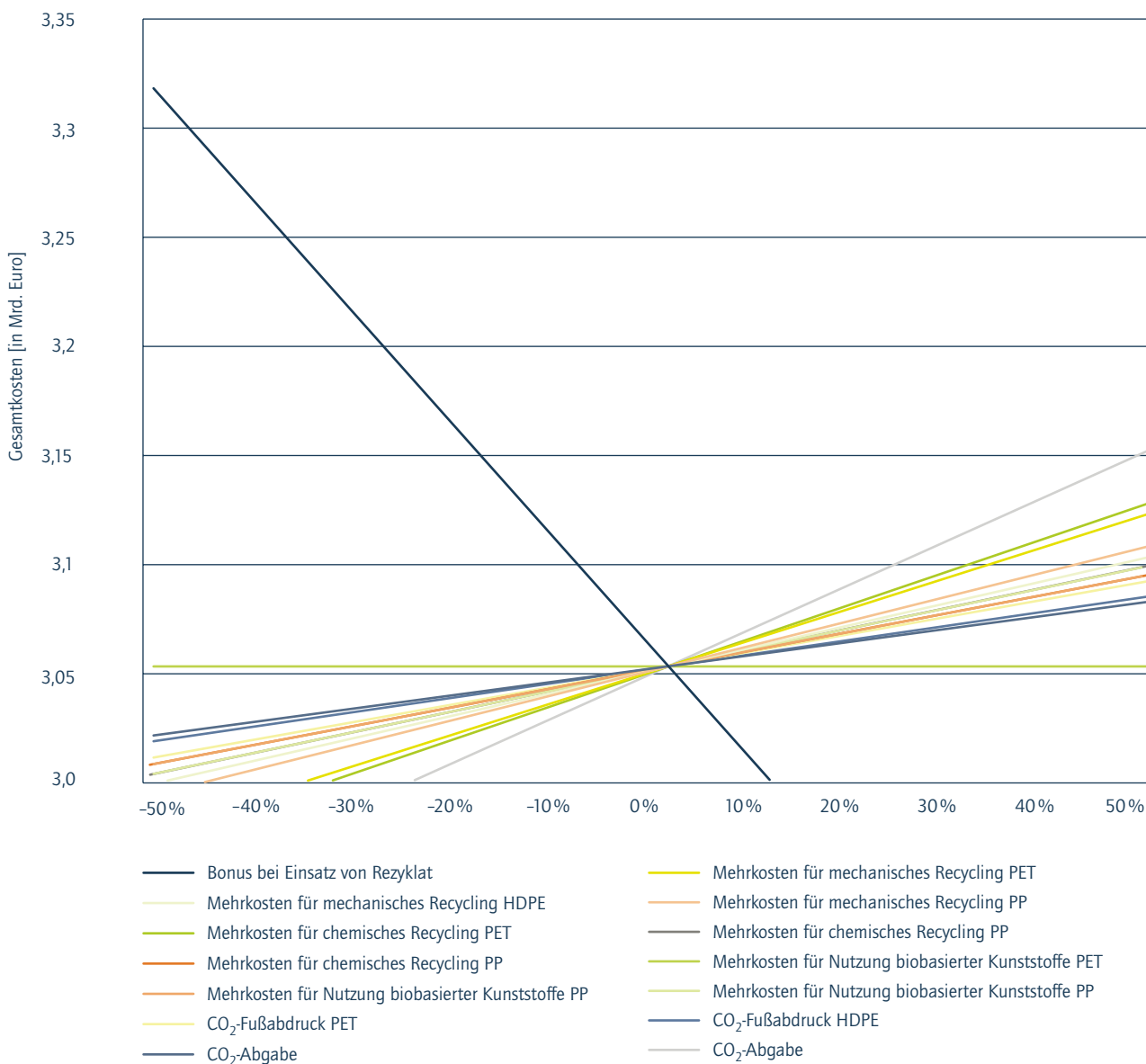


Abbildung 22: Variation der zentralen Parameter (Quelle: eigene Darstellung)

Die Variation der angenommenen Parameter ergibt, dass (1) ein Bonus bei Einsatz von Rezyklat, (2) eine CO<sub>2</sub>-Abgabe und (3) die Mehrkosten für chemisches Recycling von PET die größten Einflussfaktoren für die Gesamtkosten sind.

## 5. Berechnung der Mehrkosten beider Szenarien mit angepassten Annahmen

Die folgende Rechnung wurde aufgestellt, um ein beispielhaftes Set an Annahmen zu erhalten, mit dem die resultierenden ökonomischen Voraussetzungen für das zirkuläre Szenario vorteilhafter sind.

[Angaben in Mio. Euro]	Basis	Zirkulär
Kosten Lizenzierung (EPR-Basispreis)	+ 2.400	+ 2.400
Bonus bei Einsatz von Rezyklat (10 % mehr Bonus)	- 198	- 660
Mehrkosten für werkstoffliches Rezyklat (10 % weniger Mehrkosten)	+ 178	+ 378
Kosten chemisches Rezyklat (10 % weniger Mehrkosten)	-	+ 351
Kosten biobasierte Neuware (10 % weniger Mehrkosten)	--	+ 189
CO <sub>2</sub> -Abgabe (15 % höher)	+ 592	+ 275
<b>Mehrkosten</b>	<b>2.972</b>	<b>2.933</b>

Tabelle 9: Kostenberechnung mit angepassten Annahmen, um ökonomische Vorteilhaftigkeit für das Szenario „zirkulär“ herzustellen (Quelle: eigene Darstellung)

Daraus ergeben sich die in Tabelle 10 und Tabelle 11 aufgeführten Zielwerte für die einzelnen Parameter. Auch wenn das Gedankenexperiment insgesamt eine sehr komplexitätsreduzierte Berechnung darstellt, so zeigt sich deutlich: Alle Stakeholder

aus Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft müssen erhebliche Anstrengungen unternehmen, um eine zirkuläre Kunststoffverpackungsindustrie zu realisieren (siehe Kapitel 5, Handlungsempfehlungen).

	PET	PP	PE
<b>Zielwerte für CO<sub>2</sub>-Fußabdrücke (in kg CO<sub>2</sub>e/kg)</b>			
Neuware	2,8	1,8	1,9
Mechanisches Rezyklat	0,9	0,5	0,6
Chemisches Rezyklat	1,0	1,0	1,0
Biobasierte Neuware	1,0	1,0	1,0
<b>Zielwerte für Materialpreise (in Euro/t)</b>			
Neuware	1.200	990	900
Mechanisches Rezyklat	1.416	1.298	1.180
Chemisches Rezyklat	1.740	1.595	1.450
Biobasierte Neuware	1.740	1.595	1.450

Tabelle 10: Notwendige Zielwerte für Kunststoffpreise und CO<sub>2</sub>-Fußabdrücke, um ökonomische Vorteilhaftigkeit für das Szenario „zirkulär“ herzustellen (Quelle: eigene Darstellung)

Politisches Instrument	Angepasste Annahme, um ökonomische Vorteilhaftigkeit für das Szenario „zirkulär“ herzustellen
EPR-Basisbetrag (in Euro/t)	800
EPR-Bonus (in Euro/t)	220
CO <sub>2</sub> -Abgabe (in Euro/t CO <sub>2</sub> )	115

Tabelle 11: Notwendige politische Instrumente, um ökonomische Vorteilhaftigkeit für das Szenario „zirkulär“ herzustellen (Quelle: eigene Darstellung)



## G Die Auswirkungen der Covid-19-Krise auf die Verpackungsindustrie

Anfang 2020 hat die Corona-Pandemie Europa erfasst. Über praktisch alle Staaten der Europäischen Union wurde ein Lockdown verhängt, der sich gravierend auf die unterschiedlichen Bereiche des Alltags und der Wirtschaft ausgewirkt hat. In diesem Abschnitt sollen Effekte auf die Verpackungsindustrie in Deutschland beleuchtet werden – mit besonderem Augenmerk auf die Kunststoffverpackung, die sich in der Transformationsphase zu einer Kreislaufwirtschaft befindet.<sup>195</sup>

### Beobachtbare Phänomene

Nach dem Ausbruch der Pandemie war in verschiedenen Ländern ein ähnliches Kaufverhalten zu beobachten – je nachdem, in welcher Phase der Pandemie sich das jeweilige Land befand. Vor allem haltbare Lebensmittel und Hygieneartikel wurden auf Vorrat gekauft.<sup>196</sup> Zudem stieg die Nachfrage im Onlinehandel nach Kleidung, Drogerieartikeln und Lebensmitteln stark an.<sup>197</sup>

Bezogen auf die Verpackung konnte ein Perspektivenwechsel beobachtet werden: Mit der Pandemie war eine größere Akzeptanz von Einwegprodukten aus Kunststoff, zum Beispiel Gesichtsmasken und Lebensmittelverpackungen, vorhanden – gestützt durch Argumente wie Hygiene, Produktsicherheit und Unterbrechung von Infektionsketten.<sup>198</sup> Demgegenüber wurden Mehrwegsysteme, zum Beispiel bei Trinkbechern oder Tragetaschen, kritischer betrachtet, weil das Virus je nach Oberfläche eine Lebensdauer von mehreren Tagen aufweist.<sup>199</sup> Zu Beginn der Krise wurde die Verpackungsindustrie von der Politik als systemrelevant eingestuft, um die Versorgungssicherheit der Bevölkerung mit Nahrung und Produkten des täglichen Bedarfs sicherzustellen.<sup>200</sup>

Das Social Distancing während des Lockdowns und der damit einhergehende veränderte Alltag machten auch die Bedeutung eines funktionierenden Abfallmanagements sichtbar. Während

sich Müllberge – auch abseits von Sammelstellen – türmten, fehlten in Industrien mit hohem Wiederverwertungsgrad wichtige Ressourcen.<sup>201</sup>

### Auswirkungen für die Kunststoff- und Verpackungsindustrie

Eine teilweise enorm steigende Nachfrage nach Lebensmitteln und Drogerieprodukten mit damit einhergehender sprunghafter Zunahme von Kunststoffverpackungen stand einem signifikanten Geschäftsausfall in anderen Branchen gegenüber. Dazu gehören beispielsweise Kunststoffe für als nicht systemrelevant eingestufte Industriegüter.<sup>202</sup> Somit trifft die Pandemie die Hersteller von Kunststoffverpackungen unterschiedlich stark. In einer Umfrage von Euwid im Mai 2020<sup>203</sup> gaben 37 von 120 befragten Unternehmen starke Umsatzrückgänge an, während mehr als die Hälfte Umsatzzuwächse zu vermelden hatte. Achtzig Prozent der Unternehmen können ihre Aufträge nach wie vor erfüllen.

Parallel dazu sank der Ölpreis auf einen Tiefststand, in dessen Sog auch die Preise für erdölbasierte Produkte nach unten gingen.<sup>204</sup> Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass typischerweise die Kunststoffpreise über Preisformeln in festen Lieferbeziehungen erst nach mehreren Monaten der Preisentwicklung des Erdöls folgen. Erste Nachverhandlungen zwischen Rohstoffherzeugern, Convertern und Brand Ownern sind bereits im Gange.

Diese Entwicklung hat die Kunststoffrecyclingbranche besonders getroffen, da die Produktionskosten nicht an den Ölpreis gekoppelt sind und somit die Rezyklate in Relation zu Neumaterial teurer geworden sind. Zudem wurden teilweise Verluste verzeichnet, da Rezyklate derzeit nahezu ausschließlich mittels werkstofflicher Recyclingverfahren hergestellt werden und daher aus Qualitätsgründen (dunkle Farbe, olfaktorische Belastung) fast ausschließlich in Industrieanwendungen (zum Beispiel Bausektor, Dichtfolien oder Bewässerungsleitungen) zum Einsatz kommen können, die jedoch von den Umsatzeinbrüchen am meisten betroffen waren.<sup>205</sup>

195 | Vgl. Newsroom.Kunststoffverpackungen 2020.

196 | Vgl. Strobl 2020.

197 | Vgl. Statista 2020.

198 | Vgl. Kaufman 2020.

199 | Vgl. Miyares 2020.

200 | Vgl. Folkesson 2020.

201 | Vgl. Roberts et al. 2020.

202 | Vgl. Folkesson 2020.

203 | Vgl. EUWID Recycling und Entsorgung 2020c.

204 | Vgl. Krishnamoort 2020.

205 | Vgl. Messenger 2020.



Der Rezyklateinsatz in Konsumgüterverpackungen, zu dem sich viele Markenartikelhersteller verpflichtet haben, ist auch weiterhin eher von einem Nachfrageüberhang geprägt. Der Recyclingmarkt für Polyethylenterephthalat (PET) basiert im Wesentlichen auf den Materialströmen der PET-Pfandflaschensammlung; er ist von der Pandemie unberührt. Rezyklate aus der Plastikfraktion der Leichtverpackungen (Gelbe Tonne/Gelber Sack) konnten aufgrund der fehlenden Verfügbarkeit in der für Konsumgüterverpackungen notwendigen Qualität (natur/weiß, geruchlos) schon bisher nicht in großem Umfang eingesetzt werden. Der Überhang von grau-schwarzem und geruchlich teilweise belasteten Material konnte daher durch den Rezyklatbedarf für Konsumgüterverpackungen nicht ausgeglichen werden. Ein Corona-bedingter Rückgang des Bedarfs von Rezyklat im Konsumgüterbereich kann trotz verschlechterter Preisschere derzeit nicht beobachtet werden, auch wenn das vereinzelt vor allem aufgrund der verfallenden Neuwarenpreise berichtet wird.<sup>206, 207</sup> Ein weiterer Anstieg in der Nachfrage nach Rezyklat wird erwartet. Diese Entwicklungen scheinen derzeit nicht durch die Pandemie beeinflusst zu sein.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Verpackungsindustrie in Deutschland nur teilweise von der ersten Welle der Corona-Krise betroffen war (zu differenzieren je nach hergestelltem Produkt). Die Schwierigkeiten der Recyclingindustrie bestanden bereits vorher, sind jedoch durch Corona noch einmal deutlicher geworden: Die Abfallmengen haben drastisch zugenommen, die Systemlücken zwischen Entsorgern/Recyclern und Kunststoffherzeugern treten stärker hervor, und in der Recyclingindustrie verschärft sich der Diskurs um den Stellenwert etablierter und neuer Technologien. Chancen liegen in der Digitalisierung, die – getriggert durch die Pandemie – nun auch stärker in die Abfallwirtschaft Einzug hält und eine dringend erforderliche Schnittstelle zu den Rohstoffmärkten für die Verpackungsindustrie sein könnte. Insgesamt hat die Krise bestehende Bruchstellen im System offengelegt und weist damit den Weg in eine resilientere Zukunft. Dieser Weg muss nun auch gegangen werden. Denn die Verpackungsindustrie ist systemrelevant für die sichere Versorgung der Bevölkerung mit Lebensmitteln und Konsumgütern. Das zukünftige Zielsystem ist eine Kreislaufwirtschaft. Damit müssen auch systemrelevante Bereiche diesem Ziel folgen, das heißt, es resultiert für die Verpackungsindustrie eine Verpflichtung zur Systemkompatibilität in einer zirkulären Zukunft.

206 | Vgl. EUWID Recycling und Entsorgung 2020b.

207 | Vgl. EUWID Recycling und Entsorgung 2020a.

# Literatur

## Albrecht et al. 2011

Albrecht, P./Brodersen, J./Horst, D./Scherf, M.: *Mehrweg- und Recyclingsysteme für ausgewählte Getränkeverpackungen aus Nachhaltigkeitssicht*, 2011. URL: [https://www.duh.de/uploads/tx\\_duhdownloads/DUH\\_Getraenkeverpackungssysteme.pdf](https://www.duh.de/uploads/tx_duhdownloads/DUH_Getraenkeverpackungssysteme.pdf) [Stand: 11.11.2020].

## Allwood 2014

Allwood, J. M.: „Chapter 30 – Squaring the Circular Economy: The Role of Recycling within a Hierarchy of Material Management Strategies“. In: Worrell, E./Reuter, M. A. (Hrsg.): *Handbook of Recycling*, Amsterdam u. a.: Elsevier 2014, S. 445–477.

## ALPLA 2018

ALPLA: *Recycling*, 2018. URL: <https://sustainability.alpla.com/de/recycling> [Stand: 05.08.2020].

## Al-Salem et al. 2009

Al-Salem, S. M./Lettieri, P./Baeyens, J.: „Recycling and Recovery Routes of Plastic Solid Waste (PSW): a Review“. In: *Waste Management (New York, N.Y.)*, 29: 10, 2009, S. 2625–2643.

## BASF 2020

BASF: *ChemCycling™: Environmental Evaluation by Life Cycle Assessment (LCA)*, 2020. URL: <https://www.basf.com/global/de/who-we-are/sustainability/we-drive-sustainable-solutions/circular-economy/mass-balance-approach/chemcycling/lca-for-chemcycling.html> [Stand: 17.08.2020].

## Bergsma/Lindgreen 2018

Bergsma, G./Lindgreen, E. R.: *Summary of Ioniqa LCA. Screening Carbon Footprint Analysis*, 2018. URL: <https://www.cedelft.eu/en/publications/2154/summary-of-ioniqa-lca-screening-carbon-footprint-analysis> [Stand: 17.08.2020].

## Bertling et al. 2018

Bertling, J./Hamann, L./Bertling, R.: *Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik*, Oberhausen, 2018.

## Bishop et al. 2020

Bishop, G./Styles, D./Lens, P. N. L.: „Recycling of European Plastic is a Pathway for Plastic Debris in the Ocean“. In: *Environment International*, 142, 2020, S. 105893.

## Blum et al. 2020

Blum, N. U./Haupt, M./Bening, C. R.: „Why ‚Circular‘ doesn't always Mean ‚Sustainable‘“. In: *Resources, Conservation and Recycling*, 162, 2020.

## Borealis 2019

Borealis: „Zusammenarbeit von Borealis und Mondi liefert einfacher rezyklierbare polypropylenbasierte Lebensmittelverpackungen“ (Pressemitteilung vom 02.09.2019). URL: <https://www.borealisgroup.com/news/zusammenarbeit-von-borealis-und-mondi-liefert-einfacher-rezyklierbare-polypropylenbasierte-lebensmittelverpackungen> [Stand: 05.08.2020].

## Bringezu 2014

Bringezu, S.: „Carbon Recycling for Renewable Materials and Energy Supply“. In: *Journal of Industrial Ecology*, 18: 3, 2014, S. 327–340.

## Bundesanzeiger 2017

Bundesanzeiger: *Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die hochwertige Verwertung von Verpackungen. Verpackungsgesetz – VerpackG*, 2017.

## Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2013

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: *Abfallvermeidungsprogramm des Bundes unter Beteiligung der Länder*, Bonn, 2013.

## Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2019

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: „Svenja Schulze: Fragwürdige Plastikmüll-Exporte können wir jetzt stoppen“ (Pressemitteilung vom 11.05.2019). URL: <https://www.bmu.de/pressemitteilung/svenja-schulze-fragwuerdige-plastikmuell-exporte-koennen-wir-jetzt-stoppen/> [Stand: 31.08.2020].

## Bundesministerium für Bildung und Forschung 2020

Bundesministerium für Bildung und Forschung: ReziProK. Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Innovative Produktkreisläufe, 2020. URL: <https://innovative-produktkreislaeufe.de/Verbundprojekte/%C3%9Cb ersicht.html> [Stand: 30.06.2020].

## Burger et al. 2019

Burger, A./Lünenbürger, B./Kühleis, C.: *CO<sub>2</sub>-Bepreisung in Deutschland*, 2019.



#### **Carus/Dammer 2018**

Carus, M./Dammer, L.: *The "Circular Bioeconomy" – Concepts, Opportunities and Limitations*, 2018. URL: <http://bio-based.eu/download/?did=120804&file=0> [Stand: 09.09.2020].

#### **Circolution s. a.**

Circolution: *We are Building a Scalable System of Reusable Packaging for all Food Segments*, s. a. URL: <https://www.circolution.com/> [Stand: 05.08.2020].

#### **Circular Plastics Alliance 2019**

Circular Plastics Alliance: *Declaration of the Circular Plastics Alliance*, 2019. URL: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/36361> [Stand: 12.05.2020].

#### **Coelho et al. 2020**

Coelho, P. M./Corona, B./Klooster, R. ten/Worrell, E.: „Sustainability of Reusable Packaging-Current Situation and Trends“. In: *Resources, Conservation & Recycling: X*, 6, 2020, S. 100037.

#### **Conversio 2018**

Conversio: *Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2017. Kurzfassung*, 2018. URL: [https://www.conversio-gmbh.com/res/Kurzfassung\\_Stoffstrombild\\_2017\\_190918.pdf](https://www.conversio-gmbh.com/res/Kurzfassung_Stoffstrombild_2017_190918.pdf) [Stand: 18.11.2020].

#### **Conversio 2020**

Conversio: *Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2019. Kurzfassung der Conversio Studie*, 2020. URL: [https://www.conversio-gmbh.com/res/Kurzfassung\\_Stoffstrombild\\_2019.pdf](https://www.conversio-gmbh.com/res/Kurzfassung_Stoffstrombild_2019.pdf) [Stand: 05.01.2021].

#### **Crippa et al. 2019**

Crippa, M./Wilde, B. de/Koopmans, R./Leyssens, J./Muncke, J./Ritschkoff A-C./van Doorselaer, K./Velis, C./Wagner, M.: *A Circular Economy for Plastics*, Brussels, Belgium, 2019.

#### **Da Costa et al. 2007**

Da Costa, H. M./Ramos, V. D./Oliveira, M. G. de: „Degradation of Polypropylene (PP) during Multiple Extrusions: Thermal Analysis, Mechanical Properties and Analysis of Variance“. In: *Polymer Testing*, 26: 5, 2007, S. 676–684.

#### **Deutsches Institut für Normung 2020**

Deutsches Institut für Normung: *Standards für den (internet-basierten) Handel mit und Verarbeitung von Kunststoffabfällen und Rezyklaten*, 2020. URL: <https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/din-spec/alle-geschaeftsplaene/wdc-beuth:din21:326130420> [Stand: 06.08.2020].

#### **Edenhofer et al. 2019**

Edenhofer, O./Flachland, C./Kalkuhl, M./Knopf, B./Pahle, M.: *Optionen für eine CO2-Preisreform*, 2019.

#### **EFSA CEF 2011**

EFSA CEF: *Scientific Opinion on the Criteria to be Used for Safety Evaluation of a Mechanical Recycling Process to Produce Recycled PET Intended to be Used for Manufacture of Materials and Articles in Contact with Food (7)*, 2011.

#### **Ellen MacArthur Foundation 2013**

Ellen MacArthur Foundation: *Towards the Circular Economy Vol. 1. Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition*, 2013. URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an-accelerated-transition> [Stand: 31.08.2020].

#### **Ellen MacArthur Foundation 2017a**

Ellen MacArthur Foundation: *New Plastics Economy. A Circular Economy for Plastic in which it never Becomes Waste*, 2017. URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/our-work/activities/new-plastics-economy> [Stand: 17.08.2020].

#### **Ellen MacArthur Foundation 2017b**

Ellen MacArthur Foundation: *The New Plastics Economy. Catalysing Action*, 2017. URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/new-plastics-economy-catalysing-action> [Stand: 09.09.2020].

#### **Ellen MacArthur Foundation 2019**

Ellen MacArthur Foundation: *Reuse. Rethinking Packaging*, 2019. URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/reuse> [Stand: 09.09.2020].

#### **Ellen MacArthur Foundation/Material Economics 2019**

Ellen MacArthur Foundation/Material Economics: *Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change*, 2019. URL: [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Completing\\_The\\_Picture\\_How\\_The\\_Circular\\_Economy\\_Tackles\\_Climate\\_Change\\_V3\\_26\\_September.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Completing_The_Picture_How_The_Circular_Economy_Tackles_Climate_Change_V3_26_September.pdf) [Stand: 09.09.2020].

**Essen in Mehrweg s. a.**

Essen in Mehrweg: *Die Kampagne*, s. a. URL: <https://www.esseninmehrweg.de/die-kampagne/> [Stand: 05.08.2020].

**Europäische Kommission 2018a**

Europäische Kommission: *Bericht der Kommission an das Europäische Parlament und den Rat über die Auswirkungen der Verwendung von oxo-abbaubarem Kunststoff, einschließlich oxo-abbaubarer Kunststofftragetaschen, auf die Umwelt*, 2018. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1516986702401&uri=CELEX:52018DC0035> [Stand: 05.01.2021].

**Europäische Kommission 2018b**

Europäische Kommission: *Eine europäische Strategie für Kunststoffe in der Kreislaufwirtschaft*, 2018. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC0028> [Stand: 12.05.2020].

**Europäische Kommission 2019a**

Europäische Kommission: *Environmental Impact Assessments of Innovative Bio-based Products*. Summary of Methodology and Conclusions, 2019. URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9ab51539-2e79-11e9-8d04-01aa75ed71a1> [Stand: 09.12.2020].

**Europäische Kommission 2019b**

Europäische Kommission: *Preparatory Study for the Ecodesign Working Plan 2020-2024*, 2019. URL: [https://ec.europa.eu/growth/content/preparatory-study-ecodesign-working-plan-2020-2024\\_en](https://ec.europa.eu/growth/content/preparatory-study-ecodesign-working-plan-2020-2024_en) [Stand: 12.05.2020].

**Europäische Kommission 2020**

Europäische Kommission: *A New Circular Economy Action Plan. For a Cleaner and more Competitive Europe*, 2020. URL: [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0017.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0017.02/DOC_1&format=PDF) [Stand: 11.06.2020].

**Europäische Kommission et al. 2010**

Europäische Kommission/Joint Research Centre/Institute for Environment and Sustainability: *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook*, Luxemburg, 2010.

**Europäische Union 2018**

Europäische Union: *Richtlinie (EU) 2018/852 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 94/62/EG über Verpackungen und Verpackungsfälle*. Richtlinie (EU) 2018/852 2018.

**Europäische Union 2019**

Europäische Union: *Richtlinie (EU) 2019/904 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juni 2019 über die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt*. Richtlinie (EU) 2019/904 2019.

**European Bioplastics 2016**

European Bioplastics: *What are Bioplastics?* Material Types, Terminology, and Labels – An Introduction, 2016. URL: [https://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/fs/EUBP\\_fs\\_what\\_are\\_bioplastics.pdf](https://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/fs/EUBP_fs_what_are_bioplastics.pdf) [Stand: 10.11.2020].

**European Plastics Pact 2020**

European Plastics Pact: *The European Plastics Pact*. Bringing together Frontrunner Companies and Governments to Accelerate the Transition towards a European Circular Plastics Economy, 2020. URL: <https://europeanplasticspact.org/> [Stand: 31.08.2020].

**Eurostat 2018**

Eurostat: *Packaging Waste by Waste Management Operations (env\_waspac)*, 2018. URL: [http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env\\_waspac](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_waspac) [Stand: 12.01.2021].

**Eurostat 2020**

Eurostat: *Packaging Waste Statistics*. Development of all Packaging Waste Generated, Recovered and Recycled, EU-27, 2007-2017, 2020. URL: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Packaging\\_waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Packaging_waste_statistics) [Stand: 31.08.2020].

**EUWID Recycling und Entsorgung 2020a**

EUWID Recycling und Entsorgung: *Viele private Entsorger leiden bereits stark unter Auswirkungen der Coronakrise (19/2020)*, 2020.

**EUWID Recycling und Entsorgung 2020b**

EUWID Recycling und Entsorgung: *Coronakrise und Verfall der Neuwarenpreise bringen Kunststoffrecycler in Existenznöte (20/2020)*, 2020.

**EUWID Recycling und Entsorgung 2020c**

EUWID Recycling und Entsorgung: *Corona trifft Hersteller von Verpackungen unterschiedlich (21/2020)*, 2020.

**everdrop s. a.**

everdrop: *Tschüss Plastik! Lass uns die Welt ein bisschen sauberer machen*, s. a. URL: <https://www.everdrop.de/> [Stand: 31.08.2020].



#### **Fehringer 2019**

Fehringer, R.: *Ökobilanz für Gebinde aus PET und anderen Materialien*. Akronym: ALPLA LCA Packaging, 2019. URL: <https://www.challengingplastics.com/sites/default/files/2019-09/ALPLA%20LCA%20Packaging%20Report%20%281.2%29.pdf> [Stand: 11.11.2020].

#### **Feil/Pretz 2020**

Feil, A./Pretz, T.: „Mechanical Recycling of Packaging Waste“. In: Elsevier (Hrsg.): *Plastic Waste and Recycling*: Elsevier 2020, S. 283-319.

#### **Feil et al. 2017**

Feil, A./Pretz, T./Jansen, M./van Thoden Velzen, E. U.: „Separate Collection of Plastic Waste, Better than Technical Sorting from Municipal Solid Waste?“. In: *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 35: 2, 2017, S. 172-180.

#### **FH Campus Wien 2019**

FH Campus Wien: *Circular Packaging Design Guideline*. Empfehlungen für die Gestaltung recyclinggerechter Verpackungen, 2019. URL: <https://www.fh-campuswien.ac.at/forschung/kompetenzzentren-fuer-forschung-und-entwicklung/kompetenzzentrum-fuer-sustainable-and-future-oriented-packaging-solutions/circular-packaging-design-guideline.html> [Stand: 03.08.2020].

#### **Folkesson 2020**

Folkesson, M.: *Så har Covid-19 påverkat plastindustrin i Europa*, 2020. URL: [https://www.plastnet.se/article/view/722710/sa\\_har\\_covid19\\_paverkat\\_plastindustrin\\_i\\_europa?ref=newsletter&utm\\_medium=email&utm\\_source=newsletter&utm\\_campaign=daily](https://www.plastnet.se/article/view/722710/sa_har_covid19_paverkat_plastindustrin_i_europa?ref=newsletter&utm_medium=email&utm_source=newsletter&utm_campaign=daily) [Stand: 28.07.2020].

#### **Franklin Associates 2018**

Franklin Associates: *Life Cycle Impacts for Postconsumer Recycled Resins: PET, HDPE, and PP*, 2018. URL: <https://plasticsrecycling.org/images/apr/2018-APR-Recycled-Resin-Report.pdf> [Stand: 17.08.2020].

#### **Frischenschlager et al. 2018**

Frischenschlager, H./Reinberg, V./Kisser, J.: *Roadmap 2050 Biobasierter Kunststoff – Kunststoff aus nachwachsenden Rohstoffen* (Nachhaltig Wirtschaften 6/2018), 2018.

#### **Gemeinsame Stelle dualer Systeme Deutschlands GmbH s. a.**

Gemeinsame Stelle dualer Systeme Deutschlands GmbH: *Mülltrennung wirkt. Wir zeigen, wie und warum*, s. a. URL: <https://www.muelltrennung-wirkt.de/> [Stand: 08.09.2020].

#### **Genossenschaft Deutscher Brunnen eG 2008**

Genossenschaft Deutscher Brunnen eG: *Ökobilanz. Vorsprung für Mehrweg. Mehrweg- und Einwegflaschen im Mineralwassermarkt*, 2008. URL: [https://www.gdb.de/fileadmin/content/Sonstiges/GDB\\_IFEU\\_Oekobilanz\\_MW\\_2008\\_broschuere.pdf](https://www.gdb.de/fileadmin/content/Sonstiges/GDB_IFEU_Oekobilanz_MW_2008_broschuere.pdf). [Stand: 17.08.2020].

#### **Genossenschaft Deutscher Brunnen eG 2020**

Genossenschaft Deutscher Brunnen eG: *Flaschen und Kästen*. Für jeden Konsumanlass die richtige Verpackung, 2020. URL: <https://www.gdb.de/mehrweg/flaschen-und-kaesten/> [Stand: 05.10.2020].

#### **Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH 2018**

Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH: *Recycling-Bilanz für Verpackungen*. Berichtsjahr 2017 – Zusammenfassung der Ergebnisse, 2018. URL: [https://gymonline.de/files/recycling/Recycling\\_2017\\_Zusammenfassung\\_Ergebnisse.pdf](https://gymonline.de/files/recycling/Recycling_2017_Zusammenfassung_Ergebnisse.pdf) [Stand: 28.10.2020].

#### **Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH/BKV GmbH 2020**

Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH/BKV GmbH: *Kurzfassung der Studie „Potenzial zur Verwendung von Recycling-Kunststoffen in der Produktion von Kunststoffverpackungen in Deutschland“*, 2020.

#### **Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH/Denkstatt 2018**

Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH/Denkstatt: *Nutzen von Verpackungen: Verpackungen nutzen – auch in ökologischer Hinsicht*, 2018. URL: [https://kunststoff.swiss/Downloads/Nachhaltigkeit/ds\\_Verpackungen-nutzen-auch-in-%C3%B6kologischer-Hinsicht.pdf](https://kunststoff.swiss/Downloads/Nachhaltigkeit/ds_Verpackungen-nutzen-auch-in-%C3%B6kologischer-Hinsicht.pdf) [Stand: 03.08.2020].

#### **Geyer et al. 2017**

Geyer, R./Jambeck, J. R./Law, K. L.: „Production, Use, and Fate of all Plastics ever Made“. In: *Science Advances*, 3: 7, 2017, e1700782.

**Graedel et al. 2019**

Graedel, T./Reck, B./Ciacci, L./Passarini, F.: „On the Spatial Dimension of the Circular Economy“. In: *Resources*, 8: 1, 2019, S. 32.

**Hahladakis/Iacovidou 2018**

Hahladakis, J. N./Iacovidou, E.: „Closing the Loop on Plastic Packaging Materials: What is Quality and How does it Affect their Circularity?“. In: *The Science of the Total Environment*, 630, 2018, S. 1394-1400.

**Hanich 2019**

Hanich, R.: „Chemical Recycling of Post-Consumer Mattress Materials“. In: Teipel, U./Schweppe, R. (Hrsg.): *5. Symposium Rohstoffinnovation und Rohstoffeffizienz*, Stuttgart: Fraunhofer Verlag 2019.

**Haupt et al. 2018**

Haupt, M./Kägi, T./Hellweg, S.: „Modular Life Cycle Assessment of Municipal Solid Waste Management“. In: *Waste Management (New York, N.Y.)*, 79, 2018, S. 815-827.

**Hellerich et al. 2010**

Hellerich, W./Harsch, G./Haenle, S.: *Werkstoff-Führer Kunststoffe. Eigenschaften, Prüfungen, Kennwerte*, s. I.: Carl Hanser Fachbuchverlag 2010.

**Henkel 2019**

Henkel: „Henkel's RE Klebstoffe und Beschichtungen ermöglichen verbessertes Verpackungsrecycling“ (Pressemitteilung vom 16.10.2019). URL: <https://www.henkel.de/presse-und-medien/presseinformationen-und-pressemappen/2019-10-16-henkels-re-klebstoffe-und-beschichtungen-ermoeneglichen-verbessertes-verpackungsrecycling-990800> [Stand: 03.08.2020].

**Henkel 2020a**

Henkel: „Ambitionierte Verpackungsziele für 2025“ (Pressemitteilung vom 20.03.2020). URL: <https://www.henkel.de/presse-und-medien/presseinformationen-und-pressemappen/2020-03-20-henkel-wird-50-prozent-weniger-neue-kunststoffe-aus-fossilen-quellen-einsetzen-1046428>. [Stand: 17.08.2020].

**Henkel 2020b**

Henkel: „Henkel wird 50 Prozent weniger neue Kunststoffe aus fossilen Quellen einsetzen“ (Pressemitteilung vom 20.03.2020). URL: <https://www.henkel.de/presse-und-medien/presseinformationen-und-pressemappen/2020-03-20-henkel-wird-50-prozent-weniger-neue-kunststoffe-aus-fossilen-quellen-einsetzen-1046428> [Stand: 09.09.2020].

**Hoornweg et al. 2013**

Hoornweg, D./Bhada-Tata, P./Kennedy, C.: „Environment: Waste Production Must Peak this Century“. In: *Nature*, 502: 7473, 2013, S. 615-617.

**ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH 2020**

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH: *Klimabilanz von Mineral- und Leitungswasser*, 2020. URL: <https://www.ifeu.de/klimabilanz-von-mineral-und-leitungswasser/> [Stand: 22.10.2020].

**IK Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e. V. 2019**

IK Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e. V.: *Wie können wir Recyclate aus Kunststoffverpackungen verstärkt im Kreislauf führen?* Stellungnahme der IK Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e. V. im Rahmen des öffentlichen Fachgesprächs im Ausschuss für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit des Deutschen Bundestags am 10. April 2019, 2019. URL: [https://www.bundestag.de/resource/blob/633596/9fbdfddad6c3865f86ccae554f5b64f5/19-16-186-B\\_Fachgespraech\\_Recyclate\\_Dr-Isabell-Schmidt-data.pdf?\\_sm\\_byp=iVV0HrLPJ3SLG4qs](https://www.bundestag.de/resource/blob/633596/9fbdfddad6c3865f86ccae554f5b64f5/19-16-186-B_Fachgespraech_Recyclate_Dr-Isabell-Schmidt-data.pdf?_sm_byp=iVV0HrLPJ3SLG4qs) [Stand: 07.09.2020].

**Institute for Bioplastics and Biocomposites 2020**

Institute for Bioplastics and Biocomposites: *Wie steht es um die Entsorgung von Biokunststoffen?*, 2020. URL: <https://www.ifbb-hannover.de/de/faq/wie-steht-es-um-die-entsorgung-von-biokunststoffen.html> [Stand: 19.08.2020].

**Jambeck et al. 2015**

Jambeck, J. R./Geyer, R./Wilcox, C./Siegler, T. R./Perryman, M./Andrady, A./Narayan, R./Law, K. L.: „Marine Pollution. Plastic Waste Inputs from Land into the Ocean“. In: *Science (New York, N.Y.)*, 347: 6223, 2015, S. 768-771.





#### Joint Research Centre 2020

Joint Research Centre: *Comparative Life-Cycle Assessment of Alternative Feedstock for Plastics Production* (Draft report for stakeholder consultation), 2020. URL: [https://eplca.jrc.ec.europa.eu//permalink/PLASTIC\\_LCI/Plastics%20LCA\\_Report%2011\\_LCA%20Case%20Studies\\_2020.06.03.pdf](https://eplca.jrc.ec.europa.eu//permalink/PLASTIC_LCI/Plastics%20LCA_Report%2011_LCA%20Case%20Studies_2020.06.03.pdf) [Stand: 16.11.2020].

#### Kaeb et al. 2016

Kaeb, H./Aeschelmann, F./Dammer, L./Carus, M.: *Market Study on the Consumption of Biodegradable and Compostable Plastic Products in Europe 2015 and 2020*, 2016.

#### Kauertz/Detzel 2017

Kauertz, B./Detzel, A.: *Verwendung und Recycling von PET in Deutschland. Verwendung von PET und PET-Rezyklaten aus Verpackungen in Deutschland*, 2017.

#### Kaufman 2020

Kaufman, L.: „Plastics Had Been Falling Out of Favor. Then Came the Virus“. In: *Bloomberg Green*, 15.03.2020.

#### Krause et al. 2020

Krause, L./Dietrich, F./Carus, M./Skoczinski, P./Ruiz, P./Dammer, L./Raschka, A.: *Chemical Recycling – Status, Trends, and Challenges*, Hürth, 2020.

#### Krishnamoort 2020

Krishnamoort, R.: „Lower For Longer: COVID-19's Impact On Crude Oil And Refined Products“. In: *Forbes*, 22.03.2020.

#### Lau et al. 2020

Lau, W. W. Y./Shiran, Y./Bailey, R. M./Cook, E./Stuchtey, M. R./Koskella, J./Velis, C. A./Godfrey, L./Boucher, J./Murphy, M. B./Thompson, R. C./Jankowska, E./Castillo Castillo, A./Pilditch, T. D./Dixon, B./Koerselman, L./Kosior, E./Favoio, E./Gutberlet, J./Baulch, S./Atreya, M. E./Fischer, D./He, K. K./Petit, M. M./Sumaila, U. R./Neil, E./Bernhofen, M. V./Lawrence, K./Palarly, J. E.: „Evaluating scenarios toward zero plastic pollution“. In: *Science (New York, N. Y.)*, 2020.

#### Lechleitner et al. 2020

Lechleitner, A./Schwabl, D./Schubert, T./Bauer, M./Lehner, M.: „Chemisches Recycling von gemischten Kunststoffabfällen als ergänzender Recyclingpfad zur Erhöhung der Recyclingquote“. In: *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 72: 1–2, 2020, S. 47–60.

#### Loopstore s. a.

Loopstore: *How It Works*, s. a. URL: <https://loopstore.com/how-it-works> [Stand: 05.08.2020].

#### Markwardt/Wellenreuther 2017

Markwardt, S./Wellenreuther, F.: *Key Findings of LCA Study on Tetra Recart*, Heidelberg, 2017.

#### Material Economics 2019

Material Economics: *Industrial Transformation 2050*, 2019.

#### MDR 2020

MDR: *Abfüllen im großen Stil. Rossmann und DM testen Zapfstationen*, 2020. URL: <https://www.mdr.de/brisant/ratgeber/abfuellen-drogerie-rossmann-dm-test-100.html> [Stand: 03.08.2020].

#### Mehrwelt s. a.

Mehrwelt: *Zurück für die Zukunft*, s. a. URL: <https://www.mehrwelt.com/> [Stand: 05.08.2020].

#### Messenger 2020

Messenger, B.: „Plastics Recyclers Europe: European Plastics Recyclers Cease Production“. In: *Waste Management World*, 15.05.2020.

#### Milios/Dalhammar 2020

Milios, L./Dalhammar, C.: „Ascending the Waste Hierarchy: Re-use Potential in Swedish Recycling Centres“. In: *Detritus*, In Press: 0, 2020.

#### Miyares 2020

Miyares, B.: „Opinion: COVID-19 Swings “Reusable” from Good to Bad“. In: *Packaging World*, 25.05.2020.

#### NABU 2020

NABU: *Was ist die Wertstofftonne? Vorteile der gemeinsamen Sammlung von Plastik, Metall und Verbundstoffen*, 2020. URL: <https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/abfall-und-recycling/recycling/14906.html> [Stand: 31.08.2020].

#### Nessi et al. 2020

Nessi, S./Sinkko, T./Bulgheroni, C./Garcia-Gutierrez, P./Giuntoli, J./Konti, A./Sanye-Mengual, E./Tonini, D./Pant, R./Marelli, L.: *Comparative Life-Cycle Assessment of Alternative Feedstock for Plastics Production*. Draft Report for Stakeholder Consultation -Part 2-10 LCA Case Studies (Annexes), 2020. URL: [https://eplca.jrc.ec.europa.eu//permalink/PLASTIC\\_LCI/Plastics%20LCA\\_Report%2011\\_Annexes\\_2020.06.03.pdf](https://eplca.jrc.ec.europa.eu//permalink/PLASTIC_LCI/Plastics%20LCA_Report%2011_Annexes_2020.06.03.pdf) [Stand: 17.08.2020].

**Neue Verpackung 2019**

Neue Verpackung: *Gemeinsame Entwicklung von Rewe und Mondi*, 2019. URL: <https://www.neue-verpackung.de/64681/gemeinsame-entwicklung-von-rewe-und-mondi/> [Stand: 05.08.2020].

**New Plastics Economy 2019**

New Plastics Economy: *The New Plastics Economy Global Commitment*. 2019 Progress Report, 2019. URL: <https://www.newplasticseconomy.org/assets/doc/Global-Commitment-2019-Progress-Report.pdf> [Stand: 12.05.2020].

**Newman et al. 2015**

Newman, S./Watkins, E./Farmer, A./Brink, P. ten/Schweitzer, J.-P.: „The Economics of Marine Litter“. In: Klages, M./Gutow, L./Bergmann, M. (Hrsg.): *Marine Anthropogenic Litter*, Cham u. a.: Springer 2015, S. 367–394.

**Newsroom.Kunststoffverpackungen 2020**

Newsroom.Kunststoffverpackungen: *Der Weg der Kunststoffverpackungsindustrie zur Kreislaufwirtschaft*, 2020. URL: <https://newsroom.kunststoffverpackungen.de/2020/06/18/kunststoffverpackungsindustrie-auf-dem-weg-zur-kreislaufwirtschaft/> [Stand: 28.07.2020].

**Obermeier/Lehmann 2019**

Obermeier, T./Lehmann, S.: *Recycling-Quotenzauber*. Schaffen wir in Deutschland die europäischen Recyclingziele?, 2019. URL: [https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/abfallpolitik/191010-obermeier\\_-\\_recycling-quotenzauber.pdf](https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/abfallpolitik/191010-obermeier_-_recycling-quotenzauber.pdf) [Stand: 31.08.2020].

**Packaging Journal 2020a**

Packaging Journal: *Chips in Mehrwegverpackungen*. Nachhaltige Verpackungen und Ansätze für die Zukunft, 2020. URL: [http://ftp.pacoon.de/downloads/packaging\\_journal\\_2\\_2020\\_Mehrwegkonzept.pdf](http://ftp.pacoon.de/downloads/packaging_journal_2_2020_Mehrwegkonzept.pdf) [Stand: 05.08.2020].

**Packaging Journal 2020b**

Packaging Journal: *Design for Recycling – Pionierarbeit von Werner & Mertz*, 2020. URL: <https://packaging-journal.de/design-for-recycling-pionierarbeit-werner-mertz/> [Stand: 03.08.2020].

**pacoon s. a.**

pacoon: *PACOON treibt das internationale REUSE-System CYRCOL voran*, s. a. URL: <https://www.pacoon.de/cyrcol-reuse-system> [Stand: 05.02.2021].

**Plastics Europe s. a.**

Plastics Europe: *Eco-Profiles*, s. a. URL: <https://www.plastics-europe.org/en/resources/eco-profiles> [Stand: 09.09.2020].

**Procter & Gamble 2019**

Procter & Gamble: *HolyGrail: Tagging Packaging for Accurate Sorting and High-Quality Recycling*, 2019. URL: [https://assets.ctfassets.net/oggad6svuzkv/1Mp2tj3PM4L5FR8O5RnC1X/2d498b0c8f0f55540b3b297bc5bf67d2/Holy\\_Grail\\_project\\_summary.pdf](https://assets.ctfassets.net/oggad6svuzkv/1Mp2tj3PM4L5FR8O5RnC1X/2d498b0c8f0f55540b3b297bc5bf67d2/Holy_Grail_project_summary.pdf) [Stand: 06.08.2020].

**Prognos/Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH 2016**

Prognos/Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH: *Potenziale zur Steigerung der werkstofflichen Verwertung von Kunststoffverpackungen – recyclinggerechtes Design, Sortiertechnik (Prognos/GVM)*, Berlin, 2016.

**Ragaert et al. 2017**

Ragaert, K./Delva, L./van Geem, K.: „Mechanical and Chemical Recycling of Solid Plastic Waste“. In: *Waste Management (New York, N. Y.)*, 69, 2017, S. 24–58.

**Ramesohl et al. 2020**

Ramesohl, S./Vetter, L./Meys, R./Steger, S.: *Chemisches Kunststoffrecycling – Potenziale und Entwicklungsperspektiven*, Gelsenkirchen, 2020.

**REBOWL s. a.**

REBOWL: *Reuse. Return. Repeat*, s. a. URL: <https://rebowl.de/> [Stand: 05.08.2020].

**reCIRCLE s. a. a**

reCIRCLE: *Mehr Mehrweg für dein Food to go*, s. a. URL: <https://www.recircle.de/> [Stand: 05.08.2020].

**reCIRCLE s. a. b**

reCIRCLE: *ReCircle Recycling*, s. a. URL: <https://www.recircle-recycling.com/> [Stand: 28.10.2020].

**Recup s. a.**

Recup: *Hier gibt's Mehrweg statt Einweg!*, s. a. URL: <https://recup.de/der-recup> [Stand: 05.08.2020].

**RecyClass s. a.**

RecyClass: *Richtlinien für recyclingorientiertes Produktdesign*, s. a. URL: <https://recyclass.eu/de/uber-recyclass/richtlinien-fuer-recyclingorientiertes-produktdesign/> [Stand: 09.09.2020].



#### RecyClass 2020

RecyClass: *HDPE Colored Containers Guideline*, 2020. URL: [https://recyclclass.eu/wp-content/uploads/2020/07/HDPE-colored-containers\\_guideline-1.pdf](https://recyclclass.eu/wp-content/uploads/2020/07/HDPE-colored-containers_guideline-1.pdf) [Stand: 09.09.2020].

#### RecyclingNews 2020

RecyclingNews: *Wir brauchen ökonomische Anreize für den Rezyklateinsatz*. Interview mit Markus Müller-Drexel, 2020. URL: <https://www.recyclingnews.de/recycling/wir-brauchen-oekonomische-anreize-fuer-den-rezyklateinsatz/> [Stand: 30.09.2020].

#### Roberts et al. 2020

Roberts, K. P./Stringfellow, A./Williams, I.: „Rubbish is Piling Up and Recycling has Stalled – Waste Systems must Adapt“. In: *The Conversation*, 30.04.2020.

#### Rollinson/Oladejo 2020

Rollinson, A. N./Oladejo, J.: *Chemical Recycling: Status, Sustainability, and Environmental Impacts*, 2020.

#### Rudolph et al. 2020

Rudolph, N./Kiesel, R./Aumnate, C.: *Einführung Kunststoffrecycling*. Ökonomische, ökologische und technische Aspekte der Kunststoffabfallverwertung 2020.

#### Schüler 2013

Schüler, K.: *Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2013*, 2013. URL: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte\\_101\\_2015\\_verpackungsabfaelle\\_2013.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_101_2015_verpackungsabfaelle_2013.pdf) [Stand: 12.05.2020].

#### Schüler 2019

Schüler, K.: *Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2017*. Abschlussbericht, 2019. URL: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/publikationen/2019\\_11\\_19\\_aufkommen\\_u\\_verwertung\\_verpackungsabfaelle\\_2017\\_final.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/publikationen/2019_11_19_aufkommen_u_verwertung_verpackungsabfaelle_2017_final.pdf) [Stand: 21.04.2020].

#### Schüler 2020

Schüler, K.: *Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2018*. Abschlussbericht, 2020. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/aufkommen-verwertung-von-verpackungsabfaellen-in-13> [Stand: 19.01.2021].

#### Science Advice for Policy by European Academies 2019

Science Advice for Policy by European Academies: *A Scientific Perspective on Microplastics in Nature and Society*, Berlin, 2019.

#### Siegwerk s. a.

Siegwerk: *Our Circular Solutions*, s. a. URL: <https://www.siegwerk.com/en/circular-economy/our-circular-solutions.html> [Stand: 05.08.2020].

#### Solis/Silveira 2020

Solis, M./Silveira, S.: „Technologies for Chemical Recycling of Household Plastics - A Technical Review and TRL Assessment“. In: *Waste Management (New York, N.Y.)*, 105, 2020, S. 128–38.

#### Speight 2010

Speight, J. G.: *The Refinery of the Future*, Norwich, N.Y.-Oxford: William Andrew; Elsevier Science distributor 2010.

#### Splosh 2020

Splosh: *Zero-Waste*, 2020. URL: <https://www.splosh.com/about-us/zero-waste> [Stand: 03.08.2020].

#### Stadt Villach/Saubermacher Dienstleistungs AG 2018

Stadt Villach/Saubermacher Dienstleistungs AG: *Smart Waste – Villach und Saubermacher testen „schlaue“ Services für BürgerInnen und ihre Stadt*. Presseinformation, 2018. URL: [https://saubermacher.at/content/uploads/fileadmin/pdfs/Presse\\_DE/2018/Presseinformation\\_Smart\\_Waste\\_Villach.pdf](https://saubermacher.at/content/uploads/fileadmin/pdfs/Presse_DE/2018/Presseinformation_Smart_Waste_Villach.pdf) [Stand: 31.08.2020].

#### Statista 2020

Statista: *Ursprung der gesteigerten Online-Nachfrage in verschiedenen Produktkategorien*, 2020. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1114179/umfrage/ursache-des-nachfrageanstiegs-nach-produktkategorien-waehrend-der-corona-krise/> [Stand: 28.07.2020].

#### Strobl 2020

Strobl, S.: *Der Einfluss von COVID-19 auf den österreichischen Handel*, 2020. URL: <https://www.nielsen.com/at/de/insights/article/2020/einfluss-von-covid-19-auf-osterreichischen-handel/> [Stand: 09.09.2020].

#### Tabrizi et al. 2020

Tabrizi, S./Rollinson, A. N./Hoffmann, M./Favoio, E.: *Understanding the Environmental Impacts of Chemical Recycling – Ten Concerns with Existing Life Cycle Assessments*, 2020.

**Teraz Media 2020**

Teraz Media: *Kaufland v bratislavskej predajni začína s predajom čapovanej drogérie*, 2020. URL: <https://www.teraz.sk/ekonomika/kaufland-v-bratislavskej-predajni-zaci/469805-clanok.html> [Stand: 21.09.2020].

**Thøgersen 2014**

Thøgersen, J.: „Unsustainable Consumption“. In: *European Psychologist*, 19: 2, 2014, S. 84-95.

**Truman's s. a.**

Truman's: *If Only World Domination Could Be Boxed Up*, s. a. URL: <https://www.trumans.com/pages/packaging> [Stand: 03.08.2020].

**Tua et al. 2019**

Tua, C./Biganzoli, L./Grosso, M./Rigamonti, L.: „Life Cycle Assessment of Reusable Plastic Crates (RPCs)“. In: *Resources*, 8: 2, 2019, S. 110.

**Umweltbundesamt 2016**

Umweltbundesamt: *Steigerung des Kunststoffrecyclings und des Rezyklateinsatzes*, 2016. URL: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/170601\\_uba\\_pos\\_kunststoffrecycling\\_dt\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/170601_uba_pos_kunststoffrecycling_dt_bf.pdf) [Stand: 31.08.2020].

**Umweltbundesamt 2018**

Umweltbundesamt: *Neuer Tiefststand: Immer weniger Mehrwegflaschen*, 2018. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/neuer-tiefststand-immer-weniger-mehrwegflaschen> [Stand: 17.08.2020].

**Umweltbundesamt 2019**

Umweltbundesamt: *Entwicklung des Verpackungsaufkommens in Tausend Tonnen*, 2019. URL: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2\\_tab\\_entwicklung-verpackungsaufkommen\\_2019-12-23.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2_tab_entwicklung-verpackungsaufkommen_2019-12-23.pdf) [Stand: 31.08.2020].

**Umweltbundesamt 2020a**

Umweltbundesamt: *Biobasierte und biologisch abbaubare Kunststoffe*, 2020. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/biobasierte-biologisch-abbaubare-kunststoffe#11-was-ist-der-unterschied-zwischen-biobasierten-und-biologisch-abbaubaren-kunststoffen> [Stand: 31.08.2020].

**Umweltbundesamt 2020b**

Umweltbundesamt: *Chemisches Recycling*, 2020. URL: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-17\\_hgp\\_chemisches-recycling\\_online.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-17_hgp_chemisches-recycling_online.pdf) [Stand: 10.08.2020].

**Umweltprogramm der Vereinten Nationen 2015**

Umweltprogramm der Vereinten Nationen: *Global Waste Management Outlook*, 2015. URL: <https://www.unenvironment.org/resources/report/global-waste-management-outlook> [Stand: 09.09.2020].

**Vernel s. a.**

Vernel: *Vernel-Verpackungen richtig recyceln*, s.a. URL: <https://www.vernel.de/de/home/alles-ueber-vernel/alles-ueber-social-plastic.html> [Stand: 04.08.2020].

**Weber/Stuchtey 2019**

Weber, T./Stuchtey, M. (Hrsg.): *Deutschland auf dem Weg zur Circular Economy – Erkenntnisse aus europäischen Strategien (Vorstudie)*, München, 2019.

**Weiss et al. 2012**

Weiss, M./Haufe, J./Carus, M./Brandão, M./Bringezu, S./Hermann, B./Patel, M. K.: „A Review of the Environmental Impacts of Biobased Materials“. In: *Journal of Industrial Ecology*, 16: 1, 2012, S. 169-181.

**Werner & Mertz Gruppe 2016:** „Weltneuheit: Werner & Mertz startet mit 100-Prozent HDPE-Recyclat“ (Pressemitteilung vom 19.08.2016). URL: [https://werner-mertz.de/Pressecenter/Pressetexte/Detail\\_3776.html](https://werner-mertz.de/Pressecenter/Pressetexte/Detail_3776.html) [Stand: 05.08.2020].

**World Wide Fund For Nature 2019**

World Wide Fund For Nature: *Plastikmüll in den Weltmeeren*. Faktenblatt, 2019. URL: <https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF-Faktenblatt-Plastikmuell.pdf> [Stand: 02.09.2020].



Circular Economy  
Initiative  
Deutschland



## acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

acatech berät Politik und Gesellschaft, unterstützt die innovationspolitische Willensbildung und vertritt die Technikwissenschaften international. Ihren von Bund und Ländern erteilten Beratungsauftrag erfüllt die Akademie unabhängig, wissenschaftsbasiert und gemeinwohlorientiert. acatech verdeutlicht Chancen und Risiken technologischer Entwicklungen und setzt sich dafür ein, dass aus Ideen Innovationen und aus Innovationen Wohlstand, Wohlfahrt und Lebensqualität erwachsen. acatech bringt Wissenschaft und Wirtschaft zusammen. Die Mitglieder der Akademie sind herausragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Ingenieur- und den Naturwissenschaften, der Medizin sowie aus den Geistes- und Sozialwissenschaften. Die Senatorinnen und Senatoren sind Persönlichkeiten aus technologieorientierten Unternehmen und Vereinigungen sowie den großen Wissenschaftsorganisationen. Neben dem acatech FORUM in München als Hauptsitz unterhält acatech Büros in Berlin und Brüssel.

Weitere Informationen unter [www.acatech.de](http://www.acatech.de).



**Herausgeber:**

**acatech – Deutsche Akademie  
der Technikwissenschaften**  
Karolinenplatz 4  
80333 München

**Geschäftsstelle Circular Economy  
Initiative Deutschland**  
Karolinenplatz 4  
80333 München

**SYSTEMIQ Ltd**  
69 Carter Lane  
London EC4V  
Vereinigtes Königreich

**Reihenherausgeber:**

**acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2021**

Geschäftsstelle  
Karolinenplatz 4  
80333 München  
T +49 (0)89/52 03 09-0  
F +49 (0)89/52 03 09-900

Hauptstadtbüro  
Pariser Platz 4a  
10117 Berlin  
T +49 (0)30/2 06 30 96-0  
F +49 (0)30/2 06 30 96-11

Brüssel-Büro  
Rue d'Egmont/Egmontstraat 13  
1000 Brüssel (Belgien)  
T +32 (0)2/2 13 81-80  
F +32 (0)2/2 13 81-89

info@acatech.de  
www.acatech.de

Vorstand i.S.v. § 26 BGB: Karl-Heinz Streibich, Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Prof. Dr. Reinhard F. Hüttl (Amt ruht derzeit), Dr. Stefan Oschmann, Dr.-Ing. Reinhard Ploss, Prof. Dr. Christoph M. Schmidt, Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber, Manfred Rauhmeier, Prof. Dr. Martina Schraudner

**Empfohlene Zitierweise:**

Circular Economy Initiative Deutschland (Hrsg.): *Kunststoffverpackungen im geschlossenen Kreislauf – Potenziale, Bedingungen, Herausforderungen*, \*Elsner, P., Müller-Kirschbaum, T., Schweitzer, K., Wolf, R., Seiler, E., Désilets, P., Detsch, R., Dornack, C., Ferber, J., Fleck, C., Fröhling, M., Hagspiel, K., Hahn, R., Haupts, C., Hoffmann, C., Krüger, P., Lange, M., Leopold, T., Löscher, M., Niedersüß, P., Ohlendorf, T., Pattberg, J., Renner, M., Schlarb, A. K., Schmidt, M., Siebert, H., Siggelkow, B. A., Stadelmann, S., Thielen, J., Wilts, H., Beermann, M., Dieterle, M., Ecke, N., Klose, S., Kobus, J., Krause, L., Maletz, R., Marm, A. und Kadner, S., acatech/SYSTEMIQ, München/London 2021. DOI: [https://doi.org/10.48669/ceid\\_2021-5](https://doi.org/10.48669/ceid_2021-5)

\* Alle Mitglieder außer PE, TMK, KS, RW und ES sowie alle inhaltlichen Unterstützerinnen und Unterstützer und SK werden in alphabetischer Reihenfolge gelistet.

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften • 2021

Koordination und Text: Geschäftsstelle Circular Economy Initiative Deutschland und SYSTEMIQ

Redaktion: Alrun Straudi

Lektorat: Lektorat Berlin

Logo und Covergestaltung: Lisa Metzger

Titelfoto: [istockphoto.com/vadimguzhva](http://istockphoto.com/vadimguzhva)

Layout-Konzeption und Satz: GROOTHUIS. Gesellschaft der Ideen und Passionen mbH  
für Kommunikation und Medien, Marketing und Gestaltung; [groothuis.de](http://groothuis.de)

Die Originalfassung der Publikation ist verfügbar auf [www.circular-economy-initiative.de](http://www.circular-economy-initiative.de) und [www.acatech.de](http://www.acatech.de)



