



Zwei Verpackungssysteme im Wettbewerb

---

# Mehrwegsteige aus Kunststoff vs. Einwegkarton aus Pappe

# MEHRWEGSTEIGE AUS KUNSTSTOFF vs. EINWEGKARTON AUS PAPPE

## - zwei Verpackungssysteme im Wettbewerb

**Autoren:** Stefan Albrecht, Jürgen Bertling\*, Matthias Fischer, Florian Gehring\*\*, Stephan Kabasci, Tim Prescher, Anna Schulte

**Kontakte:** **Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT**  
Osterfelder Straße 3, 46047 Oberhausen  
[www.umsicht.fraunhofer.de](http://www.umsicht.fraunhofer.de)

\*Jürgen Bertling  
[juergen.bertling@umsicht.fraunhofer.de](mailto:juergen.bertling@umsicht.fraunhofer.de)

**Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP**  
Wankelstraße 5, 70563 Stuttgart  
[www.ibp.fraunhofer.de](http://www.ibp.fraunhofer.de)

\*\*Florian Gehring  
[florian.gehring@ibp.fraunhofer.de](mailto:florian.gehring@ibp.fraunhofer.de)

**Auftraggeberin:** **STIFTUNG INITIATIVE MEHRWEG**  
Taubenstraße 26, 10117 Berlin

**Ansprechpartner:**  
Dr. Jens Oldenburg  
[j.oldenburg@stiftung-mehrweg.de](mailto:j.oldenburg@stiftung-mehrweg.de)

**Ausgabe:** November 2022

**Im Internet verfügbar:** [publica.fraunhofer.de](http://publica.fraunhofer.de)  
DOI:10.24406/publica-424

**Nutzungsbedingung:** CC-BY-NC-SA 3.0

**Zitierweise:** Albrecht, S., Bertling, J., Fischer, M., Gehring, F., Kabasci, S., Prescher, T., Schulte, A.: Mehrwegsteige aus Kunststoff vs. Einwegkarton aus Pappe – zwei Verpackungssysteme im Wettbewerb, Oberhausen/Stuttgart 2022

# Inhalt

	Erklärung zu Finanzierung, Verantwortlichkeiten und Nutzungsbedingungen	1
<b>1</b>	<b>Executive Summary</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Vorbemerkung und Anlass für diese Stellungnahme</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Ein generischer Blick auf Mehrweg- und Einwegsysteme</b>	<b>6</b>
3.1	Die Abfallhierarchie ist ein sinnvoller, aber bislang wenig umgesetzter Bestandteil der Kreislaufwirtschaft.	6
3.2	Hohe Wiedereinsatzquoten, nicht Recyclingquoten, sind die Grundlage für eine Kreislaufwirtschaft.	9
3.3	Umlaufzahlen, Bruch- und Schwundquoten sind die wichtigsten Performance-Parameter für Mehrwegsysteme.	12
3.4	Der Vergleich mit Ökobilanzen ist aufwendig, manchmal unsicher, aber letztlich unumgänglich.	14
3.5	Zur Erreichung der Klimaziele müssen auch Verpackungen einen Beitrag leisten.	17
3.6	Verpackungen sollten »Fit-for-purpose« sein.	18
3.7	Der Zusammenhang zwischen Lebensmittelverlusten und Verpackungen ist kompliziert.	20
3.8	Die Vermeidung von Plastik Littering benötigt effiziente Anreizsysteme.	21
3.9	Systemische Risiken sind mehr als nur Investitionsrisiken, wie die aktuelle Rohstoffkrise zeigt.	22
<b>4</b>	<b>Ein detaillierter Blick auf die vergleichende Ökobilanz von Mehrwegbehältern aus Kunststoff und Einwegbehältern aus Karton</b>	<b>24</b>
4.1	Gegenstand der Ökobilanzen	24
4.2	Untersuchungsrahmen und variierte Parameterwerte	24
4.2.1	Einwegsysteme aus Kartonage CB	25
4.2.2	Mehrwegbehälter aus Kunststoff	27
4.3	Einfluss gewählter Parameterwerte	29
4.4	Betrachtung Umläufe	30
4.5	Betrachtung Bruchrate	30
4.6	Betrachtung stoffliche Verwertung	30
4.7	Fazit zum Vergleich der beiden Ökobilanzstudien	31
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen und Empfehlungen</b>	<b>33</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>35</b>

## Erklärung zu Finanzierung, Verantwortlichkeiten und Nutzungsbedingungen

Die Erstellung des vorliegenden Berichts wurde von der Stiftung-Initiative-Mehrweg (SIM) beauftragt. Dazu wurden Literatur und statistische Daten ausgewertet sowie zwei Interviews geführt. Im Weiteren stellen zwei von der European Federation of Corrugated Board Manufacturers (FEFCO) beauftragte Studien die Arbeitsgrundlage dar. Der vorliegende Bericht ist als Replik auf diese Studien zu verstehen, um einen systemübergreifenden Diskurs der beiden zentralen Lösungsansätze für Verpackungsaufgaben – Einweg und Mehrweg – zu initiieren.

Die Replik stellt eine wissenschaftliche Meinungsäußerung dar, die sich auf verfügbaren Daten stützt, in der Interpretation aber auch normativen Charakter besitzt. Experimente oder eigene Datenerhebungen wurden nicht durchgeführt, sind aber zum Teil in der zitierten Literatur enthalten. Die Aussagen in diesem Bericht betreffen Ökobilanzen, die nach dem Standard ISO 14040 durchgeführt wurden. Der Bericht selbst unterliegt aber nicht den Anforderungen der ISO 14040. Nicht in jedem Fall waren die Aussagen in den FEFCO-Studien, ohne weitere Hintergrunddaten nachvollziehbar, hieraus resultieren Unsicherheiten in der Bewertung.

In der Formulierung des Berichts waren die Autor\*Innen frei; eine Einflussnahme durch den Auftraggeber, befragte Expert\*Innen oder andere Dritte fand nicht statt. Dennoch hatte die Auftraggeberin die Möglichkeit, Vorversionen des Berichts in einem Durchgang kritisch zu kommentieren. Die Ergebnisse des Berichts stellen nicht in jedem Fall die Sicht der beauftragenden Organisationen oder der Fraunhofer-Institute UMSICHT und IBP dar, sondern in erster Linie die Sichtweise der beteiligten Autor\*Innen. Ein interner Reviewprozess fand an beiden Instituten statt.

Fraunhofer haftet nicht für Verluste, Schäden, die Dritten dadurch entstehen, dass diese sich auf die in diesem Bericht enthaltenen Informationen verlassen, ohne die Unsicherheiten dieser wissenschaftlichen Meinungsäußerung angemessen zu berücksichtigen. Referenzierungen dieser Studie sollten sich nicht auf isolierte Textpassagen beziehen, sondern ausreichend und sinngemäß kontextualisiert sein und mit einem Verweis auf den vollständigen Bericht versehen werden.

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt. Des Weiteren ist es unter einer Creative-Commons-Lizenz verfügbar (CC-BY-NC-SA 3.0 DE; Download-Link und Zitierweise siehe Bibliografische Daten auf Seite I dieses Berichts). Das Werk oder Teile davon dürfen für nicht kommerzielle Zwecke vielfältig, verbreitet und öffentlich zugänglich gemacht werden, sofern auf die Urhebenden (Autor\*innen, Herausgebende) verwiesen wird. Im Falle einer Verbreitung sind die gleichen Lizenzbedingungen, unter welche dieses Werk fällt, anzuwenden. Jede kommerzielle Verwertung ohne schriftliche Genehmigung der Autor\*innen ist unzulässig. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in Systeme(n) der elektronischen Datenverarbeitung.

# 1 Executive Summary

Die European Federation of Corrugated Board Manufacturers (FEFCO) hat vor Kurzem, basierend auf den Ergebnissen von wissenschaftlichen Studien, mit denen Ramboll und VTT beauftragt worden waren,

- die Vorteilhaftigkeit von Verpackungssystemen auf Basis von Einwegkartons gegenüber kunststoffbasierten Mehrwegsteigen behauptet und sich
- für eine Modifikation der Abfallhierarchie zugunsten einer Entscheidungsfindung auf Basis von Lebenszyklusanalysen ausgesprochen.

Unsere eigenen Untersuchungen und die nachfolgende Replik zu zwei der von FEFCO beauftragten Studien zeigen indes, dass zentrale Aussagen zugunsten der PPK-Einwegsysteme aus unserer Sicht nicht plausibel sind. Folgende Gründe sehen wir dafür:

- Eine hohe Wiedereinsatzquote (über 95 Prozent) ist die zentrale Voraussetzung für eine Kreislaufwirtschaft. Sie ist aufgrund der heute erkennbaren Grenzen beim stofflichen Recycling nur durch Mehrwegsysteme erreichbar. Mehrwegsysteme reduzieren gleichzeitig auch die Importabhängigkeit und stärken die technologische Souveränität Europas.
- Mehrwegverpackungen, nicht Einwegverpackungen scheinen in Bezug auf »Fit-for-Purpose« überlegen. Aufgrund eines höheren Materialeinsatzes, der über mehrere Nutzungen umgelegt werden kann, erlauben sie insbesondere einen besseren Produktschutz und sie eignen sich besser für moderne Digitalisierungslösungen.
- Die Ergebnisse der seitens FEFCO beauftragten Ökobilanzstudie basieren auf einem für die Mehrwegsysteme sehr ungünstig gewählten Basisszenario. Mit Parametern, wie sie beispielsweise für europäische B2B-Mehrwegsysteme berichtet werden und die wir für realistischer halten, zeigt sich, dass das Mehrwegsystem deutlich besser abschneidet.

Im Ergebnis kommen wir zu folgenden Empfehlungen:

1. Die Abfallhierarchie sollte beibehalten, gestärkt und umgesetzt werden.
2. Abweichungen von der vorgegebenen Rangfolge, wie sie das unmittelbare Recycling von Einwegverpackungen darstellt, müssen durch einen Nachweis der Vorteilhaftigkeit gegenüber konkurrierenden Mehrwegsystemen anhand relevanter Kriterien aus Ökobilanzen und darüber hinaus (bspw. Littering, Produktschutz und technologische Souveränität) begründet werden.
3. Mehrwegsysteme sind durch entsprechende regulatorische und politische Maßnahmen zu unterstützen und zu fördern.
4. Vergleichende Lebenszyklusanalysen müssen auf Basis transparenter, realitätsnaher Parameter durchgeführt werden, die in einem Multistakeholder\*Innenprozess zu vereinbaren sind.
5. Einwegverpackungen tragen deutlich mehr als Mehrwegverpackungen zum Littering bei, dieser Umstand muss bei der Bewertung der Umweltwirkungen angemessen berücksichtigt werden.

6. Für die zentralen Parameter der Mehrwegsysteme – Umlaufzahlen, Bruch- und Schwundquoten sowie Recyclingraten am Lebensende – sollte ein transparentes Monitoring eingeführt werden.
7. Einwegsysteme sind kurzlebige Güter, ihre Kreislauffähigkeit muss anhand der Wiedereinsatzquoten in der Neuproduktion und nicht anhand der Recyclingquote auf Basis der erfassten Abfälle gemessen werden.

## 2 Vorbemerkung und Anlass für diese Stellungnahme

Die Entscheidung zwischen den Verpackungssystemen Einweg und Mehrweg ist genau genommen eine Entscheidung zwischen den beiden wichtigsten Optionen für eine Kreislaufführung: »Recycling« oder »Wiederverwendung«. Als Prämisse erscheint naheliegend, Dinge so lang und häufig wie möglich zu nutzen. Erst, wenn dies aufgrund von Beschädigungen, Performanceverlusten oder ökologisch überlegenen Innovationen nicht mehr möglich oder sinnvoll ist, sollten die genutzten Bauteile und/oder Materialien rezykliert werden. Dieser Gedanke wurde so bereits im deutschen Kreislaufwirtschaftsgesetz und der europäischen Abfallrahmenrichtlinie mit dem Konzept der »Abfallhierarchie« verankert.

Oberste Priorität hat in der Abfallhierarchie die Vermeidung von Abfällen, wozu als wichtigste Maßnahme neben dem grundsätzlichen Verzicht auf Material oder Produkte auch die Wiederverwendung zählt. Auf der zweiten Ebene stehen Maßnahmen, die die Wiederverwendung ermöglichen, beispielsweise Reinigung und Reparatur. Erst wenn diese beiden Möglichkeiten ausgeschöpft sind, sollen Abfälle einem stofflichen Recycling zugeführt werden. Wenn auch dies nicht mehr möglich ist, wird eine energetische Verwertung in Betracht gezogen. Sinn einer Abfallhierarchie ist, dass bis zum Nachweis des Gegenteils davon ausgeht, eine höhere Hierarchieebene sei gegenüber den nachfolgenden ökologisch vorteilhaft. Für eine Abweichung von der Abfallhierarchie erfordert daher die europäische Abfallrahmenrichtlinie, dass eine nachgelagerte Stufe bei einer lebenszyklusweiten Betrachtung unter dem Aspekt des Umweltschutzes insgesamt ein besseres Ergebnis erbringt (EU RL 2008/98).

Im Zuge der aktuellen Diskussionen über eine Circular Economy wurden die Stufen unter dem Begriff »R-Strategien« weiter ausdifferenziert. Begriffe wie Repair, Refurbish und Remanufacture, die ebenfalls im Allgemeinen als nachhaltiger als das Recycling eingeschätzt werden, sind hinzugekommen. Das Recycling wird in der Regel erst als später anzuwendende finale R-Strategie angesehen, siehe z. B. (Reike et al. 2018) oder (Potting et al. 2017).

Trotz der gesetzlichen Verankerung der Abfallhierarchie und der mit ihr verbundenen Priorisierung der Mehrwegsysteme sind diese bislang nur in wenigen Wirtschaftsbereichen zu finden. Selbst bei Getränkeverpackungen, wo sie in der Vergangenheit dominierten, entwickelt sich ihr Anteil seit langem rückläufig. Er liegt beispielsweise in Deutschland aktuell weit unterhalb der gesetzlich verankerten Mehrwegquote von 70 Prozent (Umweltbundesamt 2020). Gleichzeitig steigt der Pro-Kopf-Verpackungsverbrauch beständig, und die insgesamt geringe Recyclingquote führt bislang kaum zu verminderter Ressourceninanspruchnahme, oder verringerten Umweltwirkungen (Umweltbundesamt 2022b).

Die beschriebene Situation führt dazu, dass sowohl von den Interessenvertretern der Mehrweg- als auch der Einwegseite immer wieder Studien vorgelegt werden, die die grundsätzliche Vorteilhaftigkeit des jeweiligen Systems belegen

sollen. Einerseits, um die Anwendung der Abfallhierarchie zu vermeiden, andererseits, um ihre konsequente Umsetzung einzufordern. Entsprechende Studien wurden jüngst auch von der European Federation of Corrugated Board Manufacturers (FEFCO) zum Vergleich von Mehrweg (hier insbesondere kunststoffbasierte Mehrwegverpackungen) und Einweg (hier insbesondere Kartonverpackungen) beauftragt und veröffentlicht:

- »A critical view on packaging recycling and reuse in the European Circular Economy« (Pajula und Sundqvist-Andberg 2022)
- »Comparative Life Cycle Assessment (LCA) – Packaging Solutions for the Food Segment« (Castellani et al. 2022)

Auf Basis der von den Auftragnehmern (VTT, Ramboll) erzielten Ergebnisse wurde seitens der FEFCO in einer zusammenfassenden Stellungnahme eine grundsätzliche Überlegenheit von Einwegsystemen abgeleitet.

- »Recycling vs. Reuse for Packaging – Bringing the science to the packaging debate« (FEFCO 2022)

Die genannten Studien und dort gemachten Schlussfolgerungen stehen teilweise im Widerspruch zu den Ergebnissen aus zwei Studie von Fraunhofer-Instituten aus 2018 und 2022

- »Carbon Footprint von Verpackungssystemen für Obst- und Gemüsetransporte in Europa« (Krieg et al. 2018a)
- »Kunststoffbasierte Mehrwegsysteme in der Circular Economy« (Bertling et al. 2022)

Die unterschiedlichen Ergebnisse und Schlussfolgerungen in den genannten Studien bilden den Anlass für unsere hier vorliegende Stellungnahme, in der wir versuchen, die Gründe für die unterschiedlichen Ergebnisse und unsere abweichende Sicht darzulegen. Gleichzeitig wollen wir Wege zu einer belastbaren Wissensbasis für zukünftige politische Entscheidungsprozesse aufzeigen.

### 3 Ein generischer Blick auf Mehrweg- und Einwegsysteme

*Die Ausführungen in diesem Kapitel sind als Replik auf das White-Paper von VTT zu verstehen: »A critical view on packaging recycling and reuse in the European Circular Economy« (Pajula und Sundqvist-Andberg 2022).*

#### 3.1 Die Abfallhierarchie ist ein sinnvoller, aber bislang wenig umgesetzter Bestandteil der Kreislaufwirtschaft.

Obwohl die Abfallhierarchie seit den 70er Jahren diskutiert wird<sup>1</sup>, wurde sie erst 2008 in die europäische Abfallrahmenrichtlinie aufgenommen. Oberste Priorität hat im Sinne der Abfallhierarchie die Vermeidung von Abfällen, wozu als wichtigste Maßnahme, neben dem grundsätzlichen Verzicht, auch die Wiederverwendung von Produkten zählt (Abbildung 1). Auf der zweiten Ebene der Hierarchie stehen Maßnahmen, die die Wiederverwendung ermöglichen, beispielsweise Reinigung und Reparatur. Erst wenn diese beiden Möglichkeiten ausgeschöpft sind, sollen die Abfälle einem stofflichen Recycling zugeführt werden. Wenn auch dies nicht mehr möglich ist, wird eine energetische Verwertung in Betracht gezogen. Die Entsorgung (Deponierung) stellt die letzte Stufe der Abfallhierarchie dar. Die Ausführungen in den Rechtsakten weisen immer wieder darauf hin, dass sämtliche Maßnahmen zur Abfallbewirtschaftung im Einklang mit der Abfallhierarchie zu erfolgen haben.

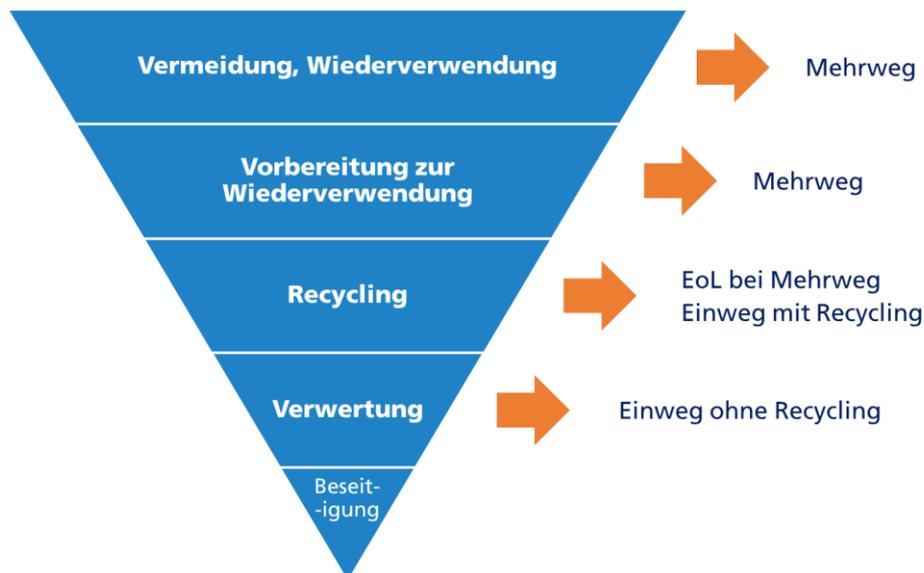


Abbildung 1: Einordnung von Einweg und Mehrweg in die europäische Abfallhierarchie (Bertling 2021).

Eine theoretische oder empirische Fundierung der Abfallhierarchie existiert bis heute nicht. Ihre Sinnhaftigkeit lässt sich aber damit begründen, dass jede Stufe, die nachfolgenden als Optionen enthält, aber nicht die vorstehenden. So lässt sich ein mehrfach wiederverwendetes Produkt später noch rezyklieren, und wenn dies nicht mehr möglich ist, energetisch verwerten. Umgekehrt kann

<sup>1</sup> Vgl. »Lansink's Ladder«; <https://www.adlansink.nl/voorbeeld-pagina/>

aber ein energetisch verwertetes Produkt nicht mehr recycelt werden, und ein recyceltes Produkt (nach der üblichen mechanischen Zerkleinerung) nicht mehr weiterverwendet werden. Dieses Offenhalten der Optionen erfordert, das Primat der Abfallhierarchie ernstzunehmen und umzusetzen.

Für eine Abweichung von der Rangfolge der Abfallhierarchie verlangt die europäische Abfallrahmenrichtlinie (Waste Directive (EU RL 2008/98)), dass eine nachgelagerte Stufe bei einer lebenszyklusweiten Betrachtung unter dem Aspekt des Umweltschutzes insgesamt ein besseres Ergebnis erbringt (Vgl. §4 (2) in Tabelle 1). Unter lebenszyklusweiter Betrachtung werden in der Regel Ökobilanzen (Life Cycle Assessment) verstanden (Europäische Kommission 2010). Eine weitere Einschränkung der Abfallhierarchie findet sich in der Verpackungsrichtlinie (Packaging and Packaging Waste Directive (94/62/EG) inklusive der Änderungsrichtlinie (2018/852/EU), in der eine Sicherstellung von Lebensmittelhygiene und der Schutz der Verbraucher als zusätzliche Anforderungen angegeben werden).

Wie genau ein Vergleich von Einweg- und Mehrwegsystemen in Bezug auf diese Aspekte stattfinden soll, um darauf eine Abweichung von der Abfallhierarchie zu begründen, dazu machen die Rechtsakte jedoch keine Aussage. Lazarevic et al. (2010) weisen darauf hin, dass diese Situation dazu geführt hat, dass die Abfallhierarchie zunehmend infrage gestellt und unterlaufen wird. Gleichzeitig betonen die Autoren, dass die Aussagen von Ökobilanzen und anderen Lebenszyklusanalysen nur bezogen auf den Einzelfall und unter den getroffenen Annahmen gültig seien (vgl. dazu Kapitel 3.4 und 0).

Im aktuellen deutschen Verpackungsgesetz (VerpackG 2021) werden die Vorgaben zur Abfallhierarchie nur sehr schwach und vereinzelt adressiert. So wird unter den allgemeinen Zielen eine Mehrwegquote von mindestens 70 Prozent für Getränkeflaschen genannt, ohne dass diese Vorgabe zeitlich näher bestimmt wird oder das Abweichen an den Nachweis einer ökologischen Vorteilhaftigkeit der Einwegsysteme im Sinne der europäischen Abfallrahmenrichtlinie geknüpft wird. Für Serviceverpackungen in der Außerhaus-Bewirtung wird das Angebot einer preisgleichen Mehrwegalternative ab 2023 verpflichtend. Für das Aufrecht-erhalten des Einwegangebots wird aber auch hier keineswegs ein Nachweis zur ökologischen Vorteilhaftigkeit oder zumindest Gleichwertigkeit eingefordert. Für weitere Verpackungsanwendungen gibt es keine Mechanismen, die sich im Sinne der Abfallhierarchie zugunsten von Mehrweg auswirken würden. Für Verpackungen, die einer Beteiligungspflicht bei den dualen Systemen unterliegen (also solche, die beim Endverbraucher anfallen), werden Entgelte erhoben, deren Höhe sich am Grad der Rezyklierbarkeit bemessen soll. Jedoch werden keinerlei Anforderungen zur ökologischen Vorteilhaftigkeit im Vergleich zu Mehrwegverpackungen gestellt.

Tabelle 1: Bezugnahmen auf die Abfallhierarchie in der europäischen Rechtsprechung

Rechtsakt	Bezugnahme auf die Abfallhierarchie
<p>Richtlinie <b>2008/98/EG</b> über Abfälle (WD: Waste Directive)</p>	<p><b>§ 4 (1)</b> Folgende Abfallhierarchie liegt den Rechtsvorschriften und politischen Maßnahmen im Bereich der Abfallvermeidung und -bewirtschaftung als Prioritätenfolge zugrunde:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermeidung</li> <li>• Vorbereitung zur Wiederverwendung</li> <li>• Recycling</li> <li>• sonstige Verwertung, z. B. energetische Verwertung</li> <li>• Beseitigung</li> </ul> <p><b>§ 4 (2)</b> Bei Anwendung der Abfallhierarchie [...] treffen die Mitgliedstaaten Maßnahmen zur Förderung derjenigen Optionen, die insgesamt das beste Ergebnis unter dem Aspekt des Umweltschutzes erbringen. Dies kann erfordern, dass bestimmte Abfallströme von der Abfallhierarchie abweichen, sofern dies durch Lebenszyklusdenken hinsichtlich der gesamten Auswirkungen der Erzeugung und Bewirtschaftung dieser Abfälle gerechtfertigt ist.</p> <p><b>§ 4 (3)</b> Die Mitgliedstaaten nutzen wirtschaftliche Instrumente und andere Maßnahmen, um Anreize für die Anwendung der Abfallhierarchie zu schaffen [...]</p> <p><b>§ 8 (2)</b> [...] Um die ordnungsgemäße Umsetzung der Abfallhierarchie zu erleichtern, können Maßnahmen unter anderem die Entwicklung, die Herstellung und das Inverkehrbringen von Produkten und Bestandteilen von Produkten fördern, die mehrfach verwendbar sind, recycelte Materialien enthalten, technisch langlebig sowie leicht reparierbar und, nachdem sie zu Abfall geworden sind, zur Vorbereitung zur Wiederverwendung und zum Recycling geeignet sind. Bei diesen Maßnahmen sind die Auswirkungen von Produkten während ihres gesamten Lebenszyklus, die Abfallhierarchie sowie gegebenenfalls das Potenzial für mehrfaches Recycling zu berücksichtigen</p>
<p>Richtlinie <b>94/62/EG</b> über Verpackungen und Verpackungsabfälle inkl. der Änderungsrichtlinie <b>2018/852/EG</b> (PPWD: Packaging and Packaging Waste Directive)</p>	<p><b>§ 5 (1)</b> Im Einklang mit der [...] Abfallhierarchie treffen die Mitgliedstaaten Maßnahmen, um die Erhöhung des Anteils in Verkehr gebrachter wiederverwendbarer Verpackungen und von Systemen zur umweltverträglichen Wiederverwendung von Verpackungen nach Maßgabe des Vertrags zu fördern, ohne dabei die Lebensmittelhygiene oder die Sicherheit der Verbraucher zu gefährden. Diese Maßnahmen können unter anderem Folgendes umfassen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pfandsysteme</li> <li>• Festsetzung qualitativer oder quantitativer Zielvorgaben</li> <li>• wirtschaftliche Anreize</li> <li>• Festsetzung eines Mindestprozentsatzes wiederverwendbarer Verpackungen, die jedes Jahr per Verpackungsstrom in Verkehr gebracht werden</li> </ul> <p><b>Anhang II (1)</b> [...] Verpackungen sind so auszulegen, zu fertigen und zu vertreiben, dass ihre Wiederverwendung oder -verwertung einschließlich des Recyclings, im Einklang mit der Abfallhierarchie möglich ist und ihre Umweltauswirkungen bei der Beseitigung von Verpackungsabfällen oder von bei der Verpackungsabfallbewirtschaftung anfallenden Rückständen auf ein Mindestmaß beschränkt sind.</p> <p><b>Anhang IV (4)</b> Der Umsetzungsplan enthält [...] einschließlich geeigneter wirtschaftlicher Instrumente und anderer Maßnahmen [vorzulegen], die Anreize für die Anwendung der Abfallhierarchie [...] bieten.</p>

Pajula und Sundqvist-Andberg (2022) schreiben vor diesem Hintergrund in Bezug auf die Situation der letzten Jahre von einem »improved waste hierarchy approach«. Dies erscheint zumindest deshalb fragwürdig, da es sich in der Praxis oftmals um eine nicht-legitimierte Missachtung des Konzepts der Abfallhierarchie handelt, unabhängig davon, ob man die Abfallhierarchie als festes »Grundprinzip« oder »Leitbild« mit Empfehlungscharakter verstehen möchte.

Da die Abfallhierarchie in ihrer Struktur eine plausible und leicht verständliche Rangfolge darstellt und als R-Strategie auch in moderneren Konzepten zur Circular Economy eine Schlüsselrolle spielt, befürworten wir sie beizubehalten. Diejenigen Akteur\*Innen, die von ihr abweichen wollen, müssten eine tragfähige Begründung auf Basis von Lebenszyklusanalysen vorlegen, die neben öko-bilanziellen Wirkungskategorien auch weitere Nachhaltigkeitseffekte (bspw. Littering, Produktschutz oder technologische Souveränität) umfassen. Diese Lebenszyklusanalysen können dabei nicht genereller Natur sein, sondern müssen den konkreten Einzelfall betreffen und sind daher auch nur für diesen gültig. Die Systemgrenzen, die Festsetzung der Parameter und die korrekte Wahl der Methodik müssen dabei in einem fairen und transparenten Multi-Stakeholder\*Innen-Prozess festgelegt werden, der die unterschiedlichen Interessen zusammenführt und zu einer konsolidierten Ausgangsbasis für die Vergleiche führt, um darauf aufbauend einen rationalen Entscheidungsprozess zu ermöglichen (vgl. dazu Kapitel 3.4).

### **3.2 Hohe Wiedereinsatzquoten, nicht Recyclingquoten, sind die Grundlage für eine Kreislaufwirtschaft.**

Pajula und Sundqvist-Andberg (2022) führen in ihrem Whitepaper aus, dass die wesentliche Grundlage für die Circular Economy das Recycling sei und begründen nachfolgend die Vorteilhaftigkeit von PPK (Papier, Pappe und Karton) mit dessen hoher Recyclingquote. Im Jahr 2019 betrug diese 82,0 Prozent. Allerdings sinken die Werte seit 2017, als die Recyclingquote noch 85,4 Prozent betrug.

Auch wenn es richtig ist, dass eine hohe Recyclingquote sich günstig auf die Kreislaufwirtschaft auswirkt, genügt dies allein nicht. Grundsätzliches Ziel in einer Kreislaufwirtschaft ist, dass möglichst viel des ursprünglich für eine Anwendung eingesetzten Materials erneut für den gleichen Zweck verwendet wird. Erst dadurch gelingt in einer Circular Economy zuverlässig die Verringerung des Einsatzes von Primärrohstoffen. Dieses Ziel kann sowohl über eine zerstörungsfreie Wiederverwendung (Reuse) als auch über ein Recycling in die gleiche Anwendung oder in einen gleichwertigen Materialstrom erreicht werden. Die Recyclingquote wird auf die erfasste Abfallmenge – die in der Regel aufgrund von Verlusten oder Wachstumseffekten kleiner ist als die produzierte Menge – bezogen. Die Wiedereinsatzquote, die beschreibt, wie hoch der Sekundärrohstoffeinsatz, bezogen auf die im Kreislauf geführte Menge ist, wäre die wichtigere Größe zur vergleichenden Bewertung von Einweg- und Mehrwegsystemen. Bei den Einwegsystemen entspricht sie dem Sekundärrohstoffeinsatz, bezogen auf die produzierte Menge, bei Mehrwegsystemen errechnet sie sich aus der umlaufenden Menge abzüglich der Schwundquote.

Insgesamt haben sich in Europa (EU-28) seit 2012 Produktion und Konsum im Bereich Papier/Pappe/Karton leicht verringert. Bei Kunststoffen hat sich ebenfalls die Produktionsmenge reduziert, der Konsum hat sich hingegen etwas erhöht. Gleichzeitig ist die Wiedereinsatzquote bei PPK von 50,8 auf 56,0 Prozent und bei Kunststoffen von 14,9 auf 18,5 Prozent gestiegen, sodass sich der Primärrohstoffbedarf in beiden Werkstoffgruppen, über all deren Anwendungen betrachtet, etwas reduziert hat (siehe Tabelle 2, Quellangaben ebenfalls dort).

Im Verpackungsbereich hingegen weisen PPK bei Produktion und Konsum im letzten Jahrzehnt eine deutliche Zunahme auf. Die Wiedereinsatzquote blieb jedoch nahezu unverändert, wenngleich auf hohem Niveau von etwa 75 Prozent. Dies hat dazu geführt, dass seit 2012 in der europäischen PPK-Branche die Inanspruchnahme von Primärrohstoffen für die Verpackungsproduktion zugenommen hat. Die Produktion von Kunststoffverpackungen ist im gleichen Zeitraum weniger deutlich gestiegen, und die Wiedereinsatzquote mit 31,5 Prozent liegt noch immer auf einem sehr niedrigen Niveau.

Die Wiedereinsatzquote stellt aber noch nicht den tatsächlichen Rezyklatanteil (Nettowiedereinsatzquote) im Produkt dar. Degradierbare Faseranteile, Etiketten, Farb- und Klebstoffe, Beschichtungen, Fremdstoffe und Fehlwürfe reduzieren den verwertbaren Anteil. Aus einem Vergleich von Rohstoffeinsatz und Produktionsmenge lässt sich unter der Annahme, dass sich die nicht verwertbaren Anteile vor allem im Altpapier, nicht aber in den Primärrohstoffen befinden, ein durchschnittlicher verwertbarer Anteil der Altpapierfraktion von 75,9 Prozent berechnen. Ein Rezyklatanteil von 42,5 Prozent ergibt sich für PPK insgesamt und von 56,8 Prozent für PPK-Verpackungen. In einigen Anwendungen mit niedrigeren Qualitätsanforderungen sind auch höhere Rezyklatanteile möglich. Gleichzeitig gibt es aber auch im Verpackungsbereich hochwertige Materialien (Kraftliner, Semichemical-Fluting) bei denen die Rezyklatanteile deutlich niedriger sind. Diese werden beispielsweise auch für Obst- und Gemüseboxen eingesetzt (vgl. Kapitel 4.2.1). Ein Grund für die niedrigen Rezyklatanteile sind unter anderem wenig anspruchsvolle Produkthanforderungen, was die Recyclingfähigkeit betrifft. Beispielsweise gilt in der Papierindustrie gemäß des RESY-Standards, der zur Bewertung der Recyclingfähigkeit genutzt wird, Altpapier bereits ab einem rezyklierbaren Anteil von 50 Prozent als recyclingfähig (als Beispiel (PTS 2021)).

Für einen Vergleich von Einweg und Mehrweg ist es nicht sinnvoll, die EoL-Recyclingquote für die Mehrwegverpackungen heranzuziehen, sondern den Anteil der Verpackungen, der im Mehrwegkreislauf verbleibt und damit einer erneuten Nutzung zugeführt wird, zu bilanzieren. Er entspricht der Nettowiedereinsatzquote. Im Bereich der Mehrwegsysteme ergibt sich bei einem stationären Zustand, also einer konstanten Zahl an umlaufenden Behältern, die Nettowiedereinsatzquote vor allem aus der Schwundquote.

$$\text{Nettowiedereinsatzquote} = 100 \% - \text{Schwundquote}$$

Schwund entsteht im Wesentlichen durch die Entnahme von Verpackungen aus dem Kreislauf für nicht intendierte Anwendungen (bspw. Nutzung von Boxen für Umzüge oder Mehrwegbecher als Sammelobjekte). Die Schwundquote und

damit die Nettowiedereinsatzquote hängen daher vor allem vom Anreizsystem für die Rückgabe (Pfand, Miete) ab und davon, wie attraktiv das Verpackungssystem für eine nicht-intendierte Nutzung ist. Defekte Mehrwegverpackungen tragen hingegen nicht automatisch zur Schwundquote bei, da sie dem Recycling zugeführt werden können und dadurch dem Materialkreislauf nicht verlorengelangen.

Tabelle 2: Wiedereinsatzquoten für PPK und Kunststoffe

Branche	Lebenszyklusstufe	PPK (Papier, Pappe, Karton)		Kunststoffe <sup>I</sup>	
		2012	2021	2012	2020
gesamt	Produktion (in 1000 Tonnen pro Jahr)	92 081	90 583	57 000	55 000
	Konsum <sup>II</sup> (in 1000 Tonnen pro Jahr)	77 364	72 219	45 900	49 100
	Wiedereinsatzquote <sup>III</sup>	50,8 %	56,0 %	14,9 %	18,5 %
	Nettowiedereinsatzquote (Rezyklatanteil) <sup>IV</sup>	-	42,5 %		
Verpackung	Produktion (in 1000 Tonnen pro Jahr)	40 787	53 545	18 085	19 900
	Konsum (in 1000 Tonnen pro Jahr)	35 352	44 934	n. b.	n. b.
	Wiedereinsatzquote	75,6 %	74,8 %	26,1 %	31,5 %
	Nettowiedereinsatzquote (Rezyklatanteil)	-	56,8 %		

**Datenquellen:** (CEPI 2013, 2022; Plastics Europe 2013, 2021; EUROSTAT 2022)

**Erläuterungen:**

**I** Mehrwegsysteme werden in den genutzten Statistiken und Tabellen nicht explizit berücksichtigt. Im Bereich Papier ist dies unproblematisch, da es hier faktisch keine Mehrweganwendungen gibt. Im Bereich der Kunststoffe kann dies zu gewissen Verzerrungen führen, da die Mehrwegverpackungen auf der Produktionsseite, nicht aber der Abfallseite berücksichtigt sind.

**II** Die konsumierten Kunststoffmengen entsprechen dem europäischen Bedarf für die Verarbeitung.

**III** Für die Wiedereinsatzquote wurden die Recyclingmengen auf die produzierte Menge bezogen.

**IV** Für die Berechnung der Nettowiedereinsatzquote bei PPK wurde die Differenz zwischen Rohstoffeinsatz und Produktionsmenge zugrunde gelegt. Für Verpackungen wurde ebenfalls der PPK-Branchendurchschnitt verwendet.

**V** Daten für Kunststoffe aus 2019 (statt 2020).

Schwundquoten sind bei Einführung eines neuen Mehrwegsystems zumeist noch hoch und sinken dann im Laufe der Zeit deutlich ab. Typische Schwundquoten liegen bei etablierten Mehrwegsystemen im Bereich von unter einem Prozent (vgl. Kapitel 3.3). Bislang existiert jedoch kein etabliertes übergeordnetes Monitoringsystem, das Umlaufzahlen, Schwundquoten und Bruchquoten erfasst und zur Verfügung stellt. Eine transparente und offene Darlegung dieser für die Berechnung der ökologischen Performance von Mehrwegsystemen wichtigen Daten sollte zukünftig aber erfolgen, um die Leistungsfähigkeit eines Mehrwegsystems genauer beurteilen zu können.

Grundsätzlich kann aber erwartet werden, dass in Mehrwegsystemen aufgrund der eingesetzten Anreizsysteme bei allen Beteiligten entlang der Lieferkette ein hohes Interesse an der Rückführung besteht. Ein Track-and-Trace über viele

Umläufe ist aufgrund der zerstörungsfreien Kreislaufführung leicht möglich. Die Chance besteht, digitale Zwillinge zu erstellen, die sämtliche Informationen über transportierte Waren, Umlaufzahlen, Witterungseinflüsse etc. über den gesamten Lebensweg erfassen. Bei Einwegsystemen gibt es hingegen nur geringe Anreize für eine Kreislaufführung (vgl. auch die Plastic-Litter-Problematik in Abschnitt 3.6). Gleichzeitig handelt es sich hier beim zurückgeführten Material um Abfallgemische, die eine unbekannte Historie aufweisen. Durch aufwendige Markierung der Verpackung und Sortierung mittels komplexer Anlagentechnik versucht man in verschiedenen Forschungsprojekten hierfür Lösungen zu finden (Holy Grail 2.0 (Schröer 2020)). Die den Einwegverpackungen zugeschriebenen Informationen können aber letztlich über den zerstörenden Recyclingprozess hinaus nicht mehr eindeutig zugeordnet werden, so dass die Nachverfolgbarkeit hier nur eingeschränkt möglich ist.

Werden Mehrwegverpackungen aus ästhetischen Gründen aussortiert, sind sie verschlissen oder zerbrochen, können sie noch repariert oder recykliert werden. Das Recycling stellt dementsprechend nur die tertiäre Option der Kreislaufführung dar. Eine Übertragung der Recyclingquote von Einwegkunststoffverpackungen (41 Prozent (EUROSTAT 2022)) auf Mehrwegsysteme, wie es von (Pajula und Sundqvist-Andberg 2022) in ihrer Studie gemacht wurde, halten wir für nicht gerechtfertigt. Für den Vergleich der Systeme (Mehrwegkiste gegen Einwegkarton) ist ein solcher Vergleich pauschaler Recyclingquoten ungeeignet. Kunststoffmehrwegverpackungen bestehen im Unterschied zu den in der Recyclingquote von 41 % im Wesentlichen abgebildeten Einwegkunststoffverpackungen aus hochwertigen, sortenreinen Polyolefinen (PP oder HDPE). Sie befinden sich meist in geschlossenen B2B-Kreisläufen oder werden im B2C-Bereich bepfandet, sodass ein nahezu vollständiger Rücklauf gewährleistet ist<sup>2</sup>. Die Historie der Verpackung und des Materials ist zudem oftmals bekannt. Bei Nachlassen der Performance durch Verschleiß oder Bruch kann die Verpackung sortenrein regranuliert und damit einem hochwertigen Recycling für die gleiche Anwendung zugeführt werden. Die Recyclingquote für diese Kunststoffprodukte (Mehrwegverpackungen) liegt daher nahe bei 100 Prozent liegen (Bekuplast 2015).

### 3.3 Umlaufzahlen, Bruch- und Schwundquoten sind die wichtigsten Performance-Parameter für Mehrwegsysteme.

Die Umlaufzahlen eines Mehrwegsystems sind bestimmt, durch Schwund und die Aussonderung (aufgrund von Bruch, Defekten, ästhetischen oder funktionalen Gründen). Diese Größen hängen in einem stationären System wie folgt zusammen:

$$1/\text{Umlaufzahl} * 100 \% = \text{Schwundquote} + \text{Aussonderungsquote}$$

Dabei können gebrochene Kisten auch nur teilweise ausgesondert werden, wenn sie durch Ersatzteile repariert werden können. Das heißt, grundsätzlich sind in der Umlaufzahl die Verluste an wiederverwendbaren Verpackungen vollständig erfasst. Eine zusätzliche Berücksichtigung von Schwund- oder auch Bruchquoten zur Umlaufzahl führt zu einer Doppelzählung der Verluste und

<sup>2</sup> Verluste sind insbesondere in der Schwundquote bereits berücksichtigt.

verfälscht das Ergebnis von Bilanzierung und ökologischer Bewertung. Die Aussonderungsquote kann verwendet werden, um den Anteil zu bestimmen, der einer Verwertung zugeführt wird. Die Schwundquote hingegen bestimmt echte Materialverluste (s. Kapitel 3.2).

Im Rahmen einer Metastudie wurde vom Fraunhofer UMSICHT und dem Fraunhofer IML untersucht, welche Umlaufzahlen für Obst- und Gemüse-Mehrwegsteigen in verschiedenen Ökobilanzstudien angegeben sind und welche Werte von Branchenexperten genannt werden (vgl. Tabelle 3). Der Vergleich von Umlaufzahl und Lebensdauer zeigt, dass ca. 10 Nutzungen pro Jahr typisch sind. Eine praxisnahe Umlaufzahl von bis zu 100 und eine Lebensdauer von ca. 10 Jahren erscheinen auf Basis der recherchierten Literatur für kunststoffbasierte Mehrwegsteigen realistisch. Eine Umlaufzahl von 100 bedeutet eine kumulierte Verlustquote (Schwund, und Aussonderung) von 1 Prozent.

Tabelle 3: Umlaufzahlen und Lebensdauer aus Ökobilanzstudien und Expertenaussagen für Mehrwegsteigen (Bertling 2021)

Umlaufzahl	Lebensdauer (Jahre)	Quelle/Experte
<b>Ökobilanzen</b>		
1-150		(ADEME 2000)
50 -100	10	(Albrecht et al. 2009)
200	20	(Levi et al. 2011)
50 - 200	20	(Albrecht et al. 2013)
30 - 70		(Accorsi et al. 2014)
700	13,75	(Koskela et al. 2014)
20 - 200		(Battini et al. 2016)
23,4 - 72,9		(Franklin Associates 2016)
100	10	(Baruffaldi et al. 2019)
100 - 150	10	(Abejón et al. 2020)
	7	(Accorsi et al. 2020)
150	1,5	(Antala et al. 2020)
50	5	(Del Borghi et al. 2020)
150		(López-Gálvez et al. 2021)
1 - 125		(Tua et al. 2019)
50		(Hofmeister et al. 2021)
<b>Experteninterviews</b>		
250		(Haidlmair 2021)
50 - 100	7-10	(Muske 2021)
	10-15	(Kellerer 2021)
100 --200	5-20	(Robbert 2021)

Die Schwundquote wird von Experten mit ca. 0,8 Prozent angegeben (Muske 2021). Für Bruch konnten Daten aus der Studie von (Lange und Pelka 2013) von 0,12 Prozent und aus einer unternehmensinternen Studie von IFCO und EPS Werte von 0,53 Prozent ermittelt werden (Krieg et al. 2018b). Dies ergibt eine Spanne für die Gesamtverluste von 0,8 bis 1,33 Prozent. Daraus ergeben sich Umlaufzahlen von 125 bzw. 75, die sehr gut mit der Annahme von etwa 100 Umläufen übereinstimmt vor (vgl. auch Box 1). Eine Ausnahme könnten umfangreiche Aussonderungen aus ästhetischen oder funktionalen Gründen oder die Auflösung ganzer Pools darstellen. Hierzu liegen bislang aber keine Daten hinsichtlich Relevanz und Häufigkeit-

Die oben beschriebenen Quoten stellen Werte für Obst- und Gemüseboxen dar. Für die Zukunft ist wichtig, dass die Umlaufzahlen aus verschiedenen Anwendungen einem Monitoring unterzogen und die Ergebnisse transparent dargestellt werden. Dabei ist vor allem auch interessant, wie sich die Umlaufzahlen bei der Neueinführung von Systemen entwickeln.

**Box 1:**

»Es ist unternehmerisches Eigeninteresse, Schwund, Schäden und Aussonderung der Mehrwegsteigen soweit möglich zu verringern. Defekte Steigen werden repariert und weniger als 0,5 Prozent werden als nicht reparierbar ausgesondert. Die nicht reparierbaren Steigen werden zu Regenerat verarbeitet, das wiederum zur Produktion neuer Boxen eingesetzt wird. Die Bewegungen der Mehrwegsteigen werden von allen Prozessbeteiligten konsequent erfasst, so dass die Inventurverlustquote im gesamten System bei unter 1 Prozent liegt. Durchschnittliche Lebensdauern von 12 Jahren sind daher für Mehrwegsteigen üblich, wodurch 120 Umläufe für gut aufgestellte Unternehmen leicht erreichbar sind.«

**Alexander Markow**

(Managing Director National Logistics, ALDI SÜD Dienstleistung-SE & Co. oHG)

### **3.4 Der Vergleich mit Ökobilanzen ist aufwendig, manchmal unsicher, aber letztlich unumgänglich.**

Ökobilanzen basieren auf den ISO-Normen 14040 und 14044 und sind eines der wichtigsten Instrumente, um die Umweltwirkungen von Produkten, Dienstleistungen und Prozessen zu bestimmen. Durch sie lassen sich sowohl Produktvergleiche als auch die Beiträge einzelner Praktiken zur Gesamtumweltbelastung abschätzen.

Vergleichende Ökobilanz-Studien zu Mehrweg und Einweg gibt es zahlreiche. Nicht selten kommen diese selbst bei der gleichen Aufgabenstellung zu unterschiedlichen Ergebnissen. Ursache hierfür sind unterschiedliche Annahmen im Untersuchungsrahmen oder abweichende Hintergrunddaten, auch die Modellierungsansätze können variieren. Sobald sich grundlegende Annahmen unterscheiden, ist der direkte Vergleich zweier Studien inkonsistent. Konsistenz, die als Freiheit von logischen Widersprüchen definiert ist, ist jedoch eine zwingende Voraussetzung für vergleichende Ökobilanzen (Weidema 2019). Zwei Studien können in sich konsistent sein, jedoch gleichzeitig nicht zueinander konsistent, sodass eine direkte Vergleichbarkeit nicht gegeben ist. Diese Inkonsistenzen können dazu führen, dass aus zwei (oder mehreren) Ökobilanzen im Vergleich widersprüchliche Schlussfolgerungen abgeleitet werden.

Wichtig ist, dass beim Vergleich unterschiedlicher Ökobilanzen mit abweichenden Annahmen, Systemgrenzen oder Daten, entweder eine separate Ökobilanzberechnung mit gleichen Randbedingungen durchgeführt oder eine begründete Interpretation vorgenommen wird – möglicherweise unter Bezugnahme auf die zugrundeliegenden Dokumente (z. B. Verhandlungsprotokolle eines Normungsgremiums unter Berücksichtigung von Expert\*Innen-Einschät-

zungen zu allen Vergleichsalternativen) oder aufgrund der hierarchischen Stellung von Standards (z. B. haben die Anforderungen der ISO 14044 Vorrang vor anderen Normen wie dem Product Environmental Footprint, PEF). Das beinhaltet auch, dass bei verschiedenen Vergleichsoptionen Expert\*Innen aller Parteien gemeinsam Rahmenbedingungen und Annahmen festlegen sollten, um einen möglichst konsistenten und belastbaren Vergleich durchzuführen.

Eine Metaanalyse von Fraunhofer UMSICHT und Fraunhofer IML für Steigen, Pflanzentrays und Coffee-to-go-Bechern hat für die Treibhausgasemissionen (THG) in allen drei Anwendungen Vorteile der Mehrwegsysteme ausgewiesen (Bertling et al. 2022). Die Mediane der Ergebnisse unterscheiden sich dabei zugunsten der Mehrwegsysteme (vgl. Abbildung 2; zu beachten ist die invers skalierte x-Achse, rechts befinden sich die Systeme mit den geringsten THG-Emissionen). Dennoch fällt bei der gewählten Boxplot-Darstellung auf, dass die Bandbreite und die Überlappung der Ergebnisbereiche erheblich sind und gleichzeitig mit zunehmender Zahl der durchgeführten Studien das Ergebnis kaum robuster zu werden scheint.

Die Gründe für die unterschiedlichen Ergebnisse liegen vor allem in den jeweils gewählten Basisszenarien und den zugehörigen Parametern für die Ökobilanzen. Dabei sind Umlaufzahlen, Bruch- und Schwundraten, eingesetzte Rezyklamenten bei der Produktion sowie Recyclingraten am Lebensende wichtige, das Ergebnis beeinflussende Parameter. Viele Ökobilanzen prüfen den Einfluss dieser Parameter im Rahmen von Sensitivitätsanalysen. In den meisten Studien erfolgt dies aber nur als Variation einzelner Parameter, deren Wirkung als Folge der Abweichung von einem gewählten Basisszenario untersucht wird. Trotz Sensitivitätsanalyse können daher gekoppelte und nichtlineare Effekte, die bei gleichzeitiger Variation mehrerer Parameter auftreten und ggf. das Ergebnis des Vergleichs deutlich verändern können, unentdeckt bleiben. Eine Ergänzung zur Einfaktorvariation wäre hier die Berücksichtigung von Unsicherheiten bei verwendeten Parametern, beispielsweise in Monte-Carlo-Simulationen. Dabei wird der gesamte Definitionsbereich der Parameter und deren gleichzeitige Variation in den Blick genommen. Ein detaillierter Vergleich der Ökobilanzen zu Mehrwegkunststoffsteigen und Einwegkartons für Obst und Gemüse, die von Ramboll im Auftrag der FEFCO und von Fraunhofer IBP im Auftrag der SIM durchgeführt wurden, findet sich in Kapitel 0 dieses Positionspapiers.

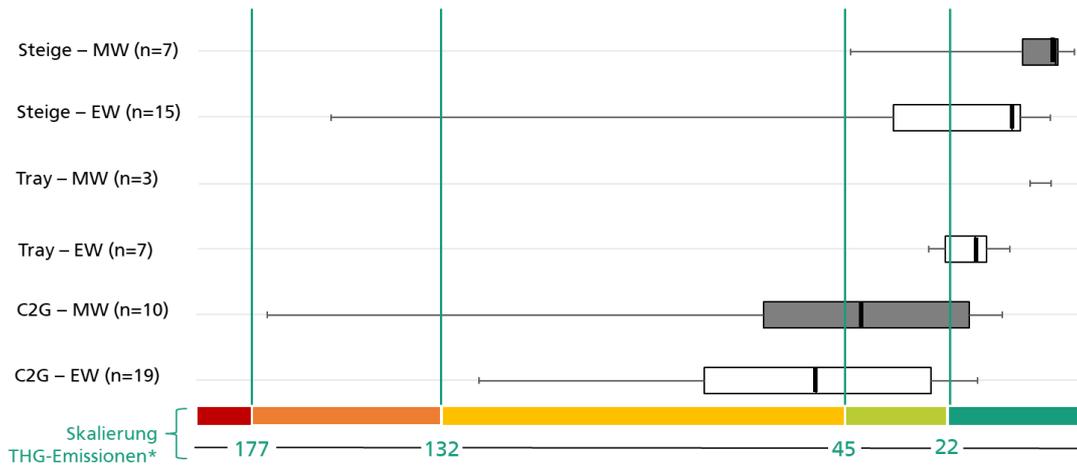


Abbildung 2: Ergebnisse einer Metaanalyse zu den Treibhausgasemissionen von Mehrweg- und Einwegsystemen (\* In kg CO<sub>2</sub>-Äq pro Umlauf und 1000 L verpacktes Volumen. Das Volumen der Pflanzentrays bezieht sich auf das errechnete Volumen aller Pflanzentöpfe, die in das jeweilige Tray passen. Die Daten wurden als Boxplot dargestellt. Dabei ist der Wert ganz links der Maximalwert, der ganz rechts der Minimalwert. Der senkrechte Strich in der Mitte stellt den Median dar und die Box um den Median umfasst die 25 Prozent der Daten, die oberhalb und unterhalb des Medians liegen. Eine detaillierte Erklärung zum Boxplot findet sich hier: [https://en.wikipedia.org/wiki/Box\\_plot](https://en.wikipedia.org/wiki/Box_plot))

Ein weiterer Aspekt, der das Ergebnis einer Ökobilanz beeinflusst, sind die Bilanzierungen von End-of-Life Prozessen und die angewendeten Allokationsregeln. Hier liegt das Augenmerk vor allem darauf, ob für den Rezyklateinsatz oder die Rezyklaterzeugung Gut- oder Lastschriften aus nachfolgenden Prozessen angerechnet werden und wie diese zwischen zwei Produktlebenszyklen aufzuteilen sind. Hierbei handelt es sich letztendlich um umweltpolitische Priorisierungen, denen zufolge eher der Rezyklatanteil im Produkt erhöht oder die Rezyklierbarkeit am Lebensende verbessert werden soll.

In der jetzigen Situation kann es daher mehrere – jeweils in sich konsistente und nachvollziehbare – Ökobilanzen zu den gleichen Problemstellungen geben, die zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen. Sofern sehr viele Ökobilanzen zu einem Thema vorliegen, können Metaanalysen durchgeführt werden, bei denen versucht wird, die Variation in den Parameterannahmen, Systemgrenzen und Allokationsregeln »herauszumitteln«. Im vorliegenden Fall bestätigte unsere eigene Metaanalyse die Vorteile für Mehrwegsysteme. Letztlich bleibt diese Situation aber unbefriedigend und das Ergebnis unsicher.

Bisher werden ökobilanzielle Vergleiche häufig von einem Branchenverband oder als Einzelfallbetrachtung eines Akteurs in Auftrag gegeben, sodass Daten zum konkurrierenden Vergleichssystem nicht ausreichend genau verfügbar sind und abgeschätzt werden. In der Regel werden die verwendeten Parametersätze nicht durch den jeweils anderen Branchenverband oder Akteur bestätigt. Insbesondere wenn eine Abweichung von der Abfallhierarchie durch eine Ökobilanz legitimiert werden soll, so erscheint uns dies daher nur dann sinnvoll, wenn über die Methode, die Parameter und die gewählten Parameterkombinationen und Szenarien sowie den zu betrachtenden Wirkungskategorien zwischen den Akteur\*Innen und Stakeholder\*Innen aller zu vergleichender Systeme eine

Übereinkunft erzielt wird. Hierfür wären übergeordnete politische Prozesse hilfreich.

### **3.5 Zur Erreichung der Klimaziele müssen auch Verpackungen einen Beitrag leisten.**

Crippa et al. (2021) haben in einer Arbeit, die auch in der Arbeit von Pajula und Sundqvist-Andberg (2022) zitiert wurde, die Treibhausgasemissionen der Lebensmittelproduktion entlang der ganzen Wertschöpfungsketten bilanziert. Sie gelangen zu dem Ergebnis, dass die Lebensmittelproduktion insgesamt 34 Prozent der globalen Emissionen verantwortet hat, und dass davon die mit der Verpackung verbundenen Emissionen nur 5,4 Prozent betragen. Insgesamt ergibt sich mit diesen Annahmen für Lebensmittelverpackungen ein Anteil von 1,9 Prozent an den gesamten globalen Treibhausgasemissionen. Pajula und Sundqvist-Andberg (2022) kommen zu dem Schluss, dass es daher vor allem erforderlich sei, an anderer Stelle der Lebensmittelkette, beispielsweise durch Verringerung der Lebensmittelverluste (vgl. Kapitel 3.7) auch durch vermehrten Einsatz von Verpackungen, die Treibhausgasemissionen zu reduzieren.

Die Klimaziele der Europäischen Union sind anspruchsvoll und machen es erforderlich, dass nicht nur besonders relevante Aspekte adressiert werden, sondern dass nahezu sämtliche Praktiken von Konsum und Produktion neu gedacht werden müssen. Bis 2030 soll eine Reduktion um 55 Prozent im Vergleich zu 1990 erreicht werden und bis 2050 Klimaneutralität gegeben sein.

Verpackungen beeinflussen über ihr Design und Gewicht auch weitere Lebenszyklusphasen in der Lebensmittelproduktion, beispielsweise Transport und Lagerung, und können daher ein Schlüsselement bei Minderungsstrategien darstellen. Doch auch die mit ihnen verbundenen direkten Emissionen müssen reduziert werden. Eine Fortsetzung der bisherigen Praxis im Umgang mit Verpackungen würde dazu führen, dass allein Lebensmittelverpackungen im Jahr 2035 bereits 2,5 Prozent und bis 2045 7,4 Prozent des jährlichen Gesamtbudgets an THG-Emissionen ausmachen würden (vgl. Tabelle 4). Konsequenterweise könnte das Nullemissions-Ziel für 2050 nicht erreicht werden. Aus dieser Betrachtung wird deutlich, dass, auch wenn die Verpackung im Vergleich zu anderen Bereichen nicht den größten Anteil der Treibhausgasemissionen verantwortet, eine Fortsetzung der bisherigen Praxis nicht mit den Klimazielen vereinbar ist. Daher sind Lösungen zu finden, die es erlauben, die direkten Emissionen für Verpackungen zu reduzieren, ohne neue Emissionen in anderen Phasen des Lebenszyklus umzusetzen. Die Kombination von Reuse und Recycling, bei der Verpackung in Pool-Systemen geführt, so oft wie möglich genutzt und schließlich am Lebensende einem hochwertigen Recycling zugeführt werden, könnte solch eine Strategie sein.

Tabelle 4: Treibhausgasziele der Europäischen Union für die kommenden Jahrzehnte und Entwicklung des Anteils der Lebensmittelverpackungen bei Business-as-usual (Umweltbundesamt 2022a).

Jahr	2015	2030	2035	2040	2045	2050
	<b>Aktueller Wert</b>	<b>(55 % gegenüber 1990)</b>	<b>interpoliert</b>			<b>Ziel: Null-emission</b>
<b>Treibhausgasemissionen in Tonnen pro Kopf und Jahr gemäß EU-Zielen [Tonne pro Kopf und Jahr]</b>	8	6,9	5,17	3,45	1,73	0
<b>Anteil Verpackung für Food bei Fortsetzung der bisherigen Praxis</b>	1,6 %	1,9 %	2,5 %	3,8 %	7,4 %	100 % (Ziel wird verfehlt)
<b>Anteil Transport für Food bei Fortsetzung der bisherigen Praxis</b>	1,5 %	1,7 %	2,3 %	3,5 %	6,8 %	100 % (Ziel wird verfehlt)

### 3.6 Verpackungen sollten »Fit-for-purpose« sein.

Die Primärfunktionen von Verpackungen sind Schutz, Lagerung, Ladung und Transport. Diese erfordern vor allem robuste und standardisierte Verpackungen (GDV 2022). Im Gegensatz zu Einwegsystemen werden bei Mehrwegsystemen der Materialeinsatz und die Kosten für die Verpackung über mehrere Nutzungen umgelegt. Je höher die Umlaufzahl, desto robuster kann daher die Verpackung ausgeführt werden. Bei Mehrwegverpackungen wird daher in der Regel ein homogenes Material z. B. HDPE oder PP eingesetzt und die Verpackung, wo nötig durch geeignete Strukturen verstärkt. Bei Einwegsystemen hingegen konkurrieren sparsamer Materialeinsatz und Robustheit direkt miteinander. Die Anwendung wird aus Umwelt- und Kostengründen in der Regel sehr dünnwandig ausgeführt und die Funktionalität wird durch einen schwer zu rezyklierenden Materialmix angestrebt.

Der korrekte Umgang mit Verpackungen erfordert eine umfassende Information (GDV 2022). Hierzu existieren zahlreiche Piktogramme und spezifische Anwendungsinformationen. Mehrwegverpackungen haben diesbezüglich den Vorteil, dass der Anwender dieser Verpackungen den Umgang mit ihnen erlernen kann, da sie langfristig und standardisiert am Markt sind.

In einer empirischen Studie von Fraunhofer IML und der Universität Bonn wurden Bruchquoten über den Transportweg von Kartons und Mehrwegkisten für Obst und Gemüse untersucht (Lange und Pelka 2013). Im Ergebnis trat bei 4,2 Prozent der Einwegkartons Verpackungsbruch auf. Bei Mehrwegkisten lag dieser Wert bei nur 0,12 Prozent. Der Anteil der geschädigten Verpackungen bei denen gleichzeitig auch eine Produktschädigung festgestellt wurde (Transportgut: Obst und Gemüse), lag bei den Einwegverpackungen bei ca. 24 Prozent, bei den Mehrwegverpackungen bei ca. 4 Prozent. Gründe für den niedrigeren Anteil bei Verpackungsbruch und den geringeren Anteil an Produktschäden bei Bruch der Mehrwegverpackungen liegen in der höheren mechanischen Festigkeit und dem besseren Handling aufgrund einheitlicher, bekannter Verpa-

ckungsformate. Bei den Einwegverpackungen führte neben der geringen mechanischen Festigkeit auch die fehlende modulare Abstimmung und eine geringe Kompatibilität zu anderen Verpackungen zu Bruch und Produktschädigung, dies vor allem im Handel.

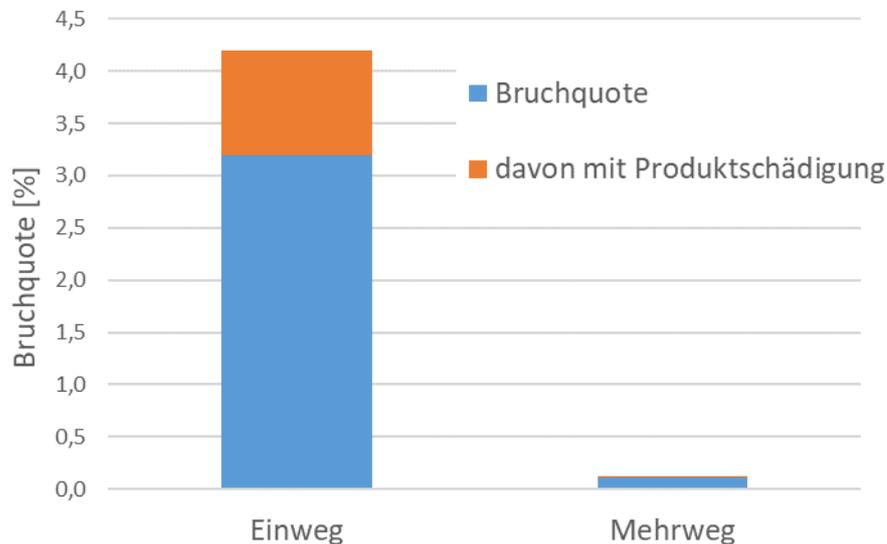


Abbildung 3: Bruchquote von Einwegsteigen aus Karton und Mehrwegsteigen aus Kunststoff sowie Anteil geschädigter Produkte (eigene Darstellung basierend auf Daten von (Lange und Pelka 2013)).

In vielen Anwendungen beispielsweise beim Seetransport, bei Außenanwendungen, bei Kühlhäusern oder -theben oder bei Verpackung oder Transport von feuchten oder kalten Produkten ist zudem eine hohe Nassfestigkeit erforderlich. Diese erfordert bei Kartontageverpackungen in der Regel einen erhöhten Frischfasereinsatz (Kraftliner), zusätzliche Additive und Behandlungsschritte. Da dies mit Kosten und auch mit Einschränkungen beim Recycling verbunden ist (RESY 1998), wird nicht selten auf eine ausreichende Nassfestigkeit auf Kosten des Produktschutzes verzichtet (vgl. Box 2).

#### Box 2:

»Viele Einwegverpackungen sind ungenügend ausgeführt. Sie können den mechanischen Belastungen beim Transport nicht standhalten und sind nicht wirklich auf die Anforderungen bei den TUL-Prozessen (Transport, Umschlag, Lagerung) und Handling abgestimmt. Auch die notwendige Nassfestigkeit ist häufig nicht gegeben, um Kosten zu sparen. Mehrwegsysteme sind den Einwegsystemen diesbezüglich deutlich überlegen, sie schützen das Produkt besser und auch die Akteure, die mit ihnen umgehen müssen. Herausforderung ist für die Mehrwegsysteme sicherlich die Rückführlogistik. Hier besteht vor allem im internationalen Handel Bedarf für Kooperationen und neue Standards.«

**Uwe Schieder (Referent für Schadensverhütung und Transportsicherheit beim Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft GDV)**

### 3.7 Der Zusammenhang zwischen Lebensmittelverlusten und Verpackungen ist kompliziert.

Die Verringerung von Lebensmittelverlusten stellt eine große Herausforderung für eine nachhaltige Entwicklung dar (Sustainable Development Goal 12.3). Verpackungen werden dabei immer wieder als Schlüssel zur Verminderung von Lebensmittelverlusten angeführt. Die länderspezifischen Daten zu Lebensmittelverlusten und Verpackungsverbrauch in Europa (Abbildung 4) zeigen hingegen keinen entsprechenden Zusammenhang. Beispielsweise fallen in Deutschland fast doppelt so viel Verpackungsabfälle pro Person an wie in Finnland, dennoch sind die personenspezifischen Lebensmittelverluste in Deutschland ebenfalls höher. Zur Verringerung von Lebensmittelabfällen scheinen demnach andere Faktoren wichtiger zu sein als die Verpackung.

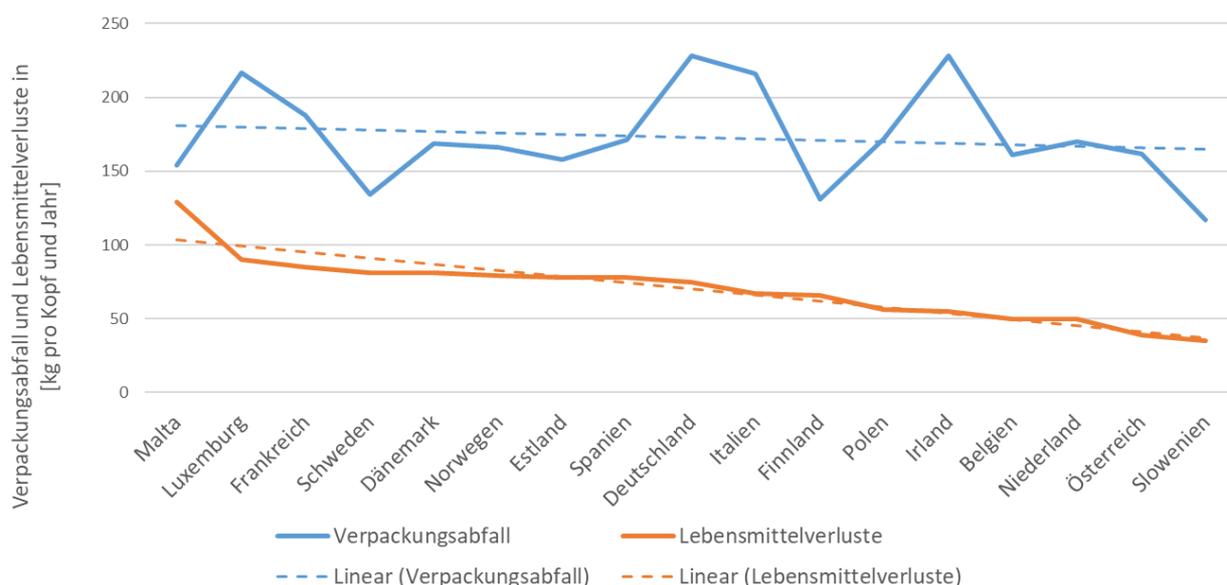


Abbildung 4: Verpackungsabfälle und Lebensmittelverluste pro Kopf und Jahr in verschiedenen Ländern (Eigene Darstellung auf Basis von Daten aus EUROSTAT 2022; United Nations Environmental Programme (UNEP) 2021).

Gegen Lebensmittelverluste wird eine Vielzahl von Maßnahmen diskutiert. Dies sind vor allem die Vermeidung von Überproduktion und Überkonsum sowie die kostenlose oder kostengünstigere Abgabe von Produkten, die das Mindesthaltbarkeitsdatum überschritten haben. Der Verzicht auf das Mindesthaltbarkeitsdatum oder eine differenzierte Konsumenteninformation über die Haltbarkeit von Produkten werden ebenfalls häufig vorgeschlagen. Diese Maßnahmen sind alle vom Verpackungstyp unabhängig.

Auch die Rolle der Verpackungen wird adressiert und eine integrierte Betrachtung von verpackungs- und lebensmittelbedingten Umweltwirkungen gefordert (Wikström et al. 2019; Verghese et al. 2015). Beispielsweise werden robustere Verpackungen – also insbesondere Mehrwegverpackungen (s. Kapitel 3.6) – als wichtige Maßnahme beim Verpackungsdesign gegen Lebensmittelverluste angeführt. Ein weiterer Punkt betrifft die korrekte Portionierung der verpackten

Menge, die vor allem für die seit Jahren in Bezug auf die Personenzahl schrumpfenden privaten Haushalte von Interesse ist. Da sich die Portionsgrößen im Vergleich zu den Präsenzzeiten einer Verpackungslösung am Markt eher langfristig ändern dürften, kann diese Anforderung von Einweg- und Mehrverpackungen gleichermaßen erfüllt werden.

Ein weiterer Aspekt, der Lebensmittelverluste verringert, ist die Wiederverschließbarkeit der Verpackung, die eher bei Mehrwegsystemen erwartet werden kann. Die Verwendung von Barrieren, die Aromaverluste oder Umgebungseinflüsse reduzieren und dadurch den Verderb der Ware verringern, kann ebenfalls durch Verpackungssysteme erreicht werden. Während sie bei Mehrwegsystemen vor allem durch entsprechend höhere Wandstärken umgesetzt wird, geschieht dies bei Einwegverpackungen vor allem durch Beschichtungen oder Mehrschichtverpackungen. Auch wenn diese in Bezug auf die Barriereeigenschaften sehr leistungsfähig sind, verschlechtern sie häufig die Rezyklierbarkeit.

Die Einbindung von Sensorik, beispielsweise zur Überwachung von Kühlketten, in die Verpackungen kann ebenfalls Verluste reduzieren. Auch dies ist eher in Mehrwegverpackungen realisierbar, da die Kosten der Sensorik nur bei Mehrwegverpackungen auf mehrere Umläufe umgelegt werden können. Darüber hinaus würden die Sensoren im Einwegfall die Rezyklierbarkeit nachteilig beeinflussen und je nach Sensortyp gingen sogar wertvolle Materialien verloren.

Auch wenn es erste Vorschläge und Fallstudien gibt, die die ökologischen Wirkungen von Lebensmittelverlusten und Verpackungstyp integriert betrachten (Yokokawa et al. 2018), fehlen bislang Studien, die die verschiedenen Optionen beim Verpackungsdesign systemübergreifend für den Vergleich von Mehrweg und Einweg adressieren.

### **3.8 Die Vermeidung von Plastik Littering benötigt effiziente Anreizsysteme.**

Ein weiteres Problem, welches im Zusammenhang mit Verpackungen adressiert wird, sind Kunststoffemissionen in Form von Mikroplastik und Littering (achtloses oder illegales Entsorgen von Abfällen (Bertling et al. 2018; Bertling 2021)).

Diese Umweltwirkung der Kunststoffemissionen wird bisher in Ökobilanzen nicht berücksichtigt, auch wenn dazu bereits erste Vorschläge unterbreitet wurden (Maga et al. 2022; Bertling et al. 2018)).

Die bereits umgesetzte Richtlinie zum Verbot bestimmter Einwegkunststoffprodukte (EU 2019/904 2019) und der Beschränkungsvorschlag zu primären Mikroplastik der (Europäische Chemikalienagentur ECHA 2020) sind im Sinne der Anwendung des Vorsorgeprinzips Maßnahmen, um Kunststoffemissionen zu reduzieren. Grundsätzlich sind auch Pfand und Miete von Verpackungssystemen geeignet, um Schwundquoten und damit ein Littering zu reduzieren. Für Mehrweg sind sie systemimmanent, für Einweg wurden sie bspw. in Deutschland mit enormem Aufwand und gegen massiven Widerstand bislang lediglich für Einweggetränkeverpackungen durchgesetzt (Tagesschau 2015).

Papier und Karton werden als Alternative angesehen, um Kunststoffemissionen zu reduzieren. Allerdings kann es nicht Ziel sein, das »Plastic Littering« durch ein »Paper Littering« zu ersetzen. Zum einen enthalten Papier und Karton sehr häufig Druckfarben (Verband der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie VdL 2018) oder Additive (Ginebreda et al. 2011), die nicht oder nur schwer abbaubar sind. Ihr Verbleib und ihre Wirkungen in der Umwelt werden kaum untersucht, da das Littering verständlicherweise kein intendierter Entsorgungspfad ist – es findet aber dennoch statt. Zum anderen werden Papier- und Kartonverpackungen zunehmend mit Polymeren beschichtet, deren Abbaubarkeit ebenfalls nicht immer gegeben ist und die gleichzeitig das Recycling erschweren (bspw. bei Coffee-to-go-Bechern). Auch Bänder, Klebebänder, Etiketten und Klebstoffe sind häufig aus Kunststoff und mit dem Papier verbunden.

Letztlich wird es zur Verminderung des Litterings darauf ankommen, dass die Kreisläufe nahezu vollständig geschlossen werden. Dies geht nur dann, wenn die Weiterleitung oder Rückführung der Verpackungen auf jeder Wertschöpfungsstufe insbesondere aber beim Endnutzer attraktiver ist als das Littering. Die Beteiligungsentgelte, die auf Einwegverpackungen bereits beim Inverkehrbringen erhoben werden, sind diesbezüglich im Gegensatz zu Pfand oder Miete als weniger wirksam einzuschätzen. Auch die fortwährende Diskussion über niedrige Recyclingraten und das geringe Vertrauen der Bürger und Medien in die Realisierung einer Kreislaufwirtschaft von Einwegverpackungen durch die dualen Systeme, trägt nicht dazu bei, dass die Wertschätzung gegenüber Verpackungsmaterialien im Allgemeinen und Kunststoffen im Besonderen steigt. Dies gibt dem Littering weiteren Vorschub. Das Interesse aller Akteur\*Innen zur Rückführung der Verpackungen in Bezug auf die Litteringproblematik ist daher ein deutlicher Vorteil der Mehrwegsysteme.

### **3.9 Systemische Risiken sind mehr als nur Investitionsrisiken, wie die aktuelle Rohstoffkrise zeigt.**

Mehrwegsysteme sind aufgrund ihrer den Wertschöpfungskreislauf übergreifenden Funktionsweise schwieriger aufzubauen als Einwegsysteme, die sich für die Kreislaufführung oder energetische Verwertung der vorhandenen Abfallbehandlungssysteme bedienen. Mehrwegsysteme erfordern unternehmensübergreifende Kooperationen. Idealerweise würde ihre Einführung daher durch geeignete regulatorische und fiskalische Maßnahmen unterstützt, solange nicht für den jeweiligen Einzelfall legitimierte Untersuchungsergebnisse vorliegen, die die ökologische und soziale Vorteilhaftigkeit von Einwegsystemen belegen.

In der deutschen Verpackungsindustrie sind derzeit etwas weniger als 50 000 Menschen in über 700 Betrieben beschäftigt. Dabei ist die Zahl der Beschäftigten leicht ansteigend, während die Zahl der Betriebe rückläufig ist (Appenberg & Partner 2022). Zu einer Aufteilung der Betriebe und Beschäftigten auf Mehrweg- und Einwegsysteme gibt es bis heute keine Statistiken. Sofern zukünftig in höherem Maße Mehrwegsysteme in Deutschland realisiert würden, könnten sie zu neuen Arbeitsplätzen führen. Aufgrund der Tatsache, dass Mehrwegsysteme viele mittelständische Akteur\*Innen integrieren, kann erwartet werden, dass die für Logistik und Transport geschaffenen Arbeitsplätze im Bereich

Mehrweg die für die Produktion, Recycling und Entsorgung beim Einweg wegfallenden Arbeitsplätze überkompensieren.

Mehrwegsysteme tragen weiterhin dazu bei, einen Materialpool aufzubauen, der weitgehend unabhängig von Importen funktioniert. Nur für den Schwundanteil und das Wachstum des Systems sind zusätzliche Rohstoffe erforderlich. Bei den heute zumeist sehr niedrigen Recyclingraten besteht bei Einwegkreisläufen immer noch ein großer Bedarf an Frischmaterial in Form polyolefinischer Massenpolymere, die eine hohe Importabhängigkeit aufweisen.

Im Falle von Rohstoffkrisen, wie sie sich seit 2021 darstellen und die auch Commodities wie Kunststoff, Holz und Papier, die zu den wichtigsten Materialien für die Verpackungsindustrie gehören, umfassen (Neue Verpackung 2022), sind Mehrwegsysteme - sofern sie bereits vorhanden sind, eindeutig im Vorteil (Bertling et al. 2022).

## 4 Ein detaillierter Blick auf die vergleichende Ökobilanz von Mehrwegbehältern aus Kunststoff und Einwegbehältern aus Karton

*Die folgenden Ausführungen stellen eine kritische Reflexion zu den beiden Ökobilanzstudien von Fraunhofer »Carbon Footprint von Verpackungssystemen für Obst- und Gemüsetransporte in Europa« (Krieg et al. 2018a) und Ramboll »Comparative Life Cycle Assessment (LCA) – Packaging Solutions for the Food Segment« (Castellani et al. 2022) dar.*

### 4.1 Gegenstand der Ökobilanzen

Frisches Obst und Gemüse sind aus dem alltäglichen Leben nicht mehr wegzudenken. Die Bereitstellung erfolgt über komplexe logistische Prozesse. Das Obst und Gemüse wird hierbei in der Regel in Transportbehältern aus Kartonage (Einwegsystem) oder Kunststoff (Mehrwegsystem) transportiert. Die Studien »Carbon Footprint von Verpackungssystemen für Obst- und Gemüsetransporte in Europa« (Krieg et al. 2018a), im Weiteren kurz als »SIM-Studie« bezeichnet, und »Comparative Life Cycle Assessment (LCA) Packaging Solutions for the Food Segment« (Castellani et al. 2022), im Weiteren kurz »FEFCO-Studie« bezeichnet, untersuchen und vergleichen die Umweltwirkungen der Einweg- und Mehrwegverpackungssysteme. Obwohl beide Studien das gleiche System gegenüberstellen, variieren die Ergebnisse. Im Folgenden werden der Untersuchungsrahmen und die Parameter beider Studien zum Vergleich herangezogen sowie die Auswirkung unterschiedlich gewählter Parameterwerte auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck erläutert. Auf grundsätzliche Aspekte des Layouts der beiden Studien, die ähnlich oder vergleichbar sind, wird nicht weiter eingegangen.

### 4.2 Untersuchungsrahmen und variierte Parameterwerte

Die oben genannten Studien vergleichen Einweg- und Mehrwegverpackungssysteme hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen. Beide Studien wurden in Anlehnung an die gängigen Normen und Vorschriften erstellt und kritisch geprüft, das heißt, die zugrundeliegenden Modelle, die gewählten Parameterwerte sowie die schriftliche Ausarbeitung wurden von einem Critical Review Panel geprüft. Dennoch sind Unterschiede im Untersuchungsrahmen zu finden, die wesentlichen sind in Tabelle 5 zusammengefasst. Hierbei handelt es sich um die Bezugsgröße (funktionelle Einheit), die Auslastung der Behälter und der damit einhergehende Bedarf an eingesetzten Behältern zur Erfüllung der funktionellen Einheit sowie die betrachteten Wirkungskategorien.

#### **Bezugsgröße (funktionelle Einheit)**

Die Bezugsgröße der LCA (funktionelle Einheit) unterscheidet sich in den Studien. Während in der SIM-Studie als Bezugsgröße die Distribution von 1000 Tonnen Obst und Gemüse gewählt wurde, hat die FEFCO-Studie die Distribution von 1000 Kilogramm Gemüse als Bezugsgröße festgelegt. Der Unterschied liegt somit im Faktor 1000, bezogen auf die transportierte Masse an Ware. Eine Umrechnung der Ergebnisse zur Vergleichbarkeit der Studien ist

prinzipiell gewährleistet, und auch der Bezug auf die zu transportierenden Lebensmittel ist gegeben.

### Auslastung der Referenzbehälter

Ein weiterer Unterschied liegt in der Auslastung der Behälter. In beiden Studien kann der gewählte Referenzbehälter 15 Kilogramm Lebensmittel transportieren. Während die SIM-Studie von 15 Kilogramm transportierter Masse pro Behälter ausgeht, wird in der FEFCO-Studie von einer transportierten Masse von 10,5 Kilogramm ausgegangen (entspricht einer 70-prozentigen Auslastung). Dadurch ergibt sich in der Anzahl an Behältern zur Erfüllung der funktionellen Einheit ein Unterschied. In der SIM-Studie werden insgesamt 66 667 Behälter zur Erfüllung der funktionellen Einheit benötigt, in der FEFCO-Studie sind es 95,23 Behälter. Unter Berücksichtigung des Faktorunterschieds von 1000 aus der funktionellen Einheit ergibt sich somit ein um 42,8 Prozent höherer Bedarf an Behältern der FEFCO-Studie, bezogen auf die SIM-Studie zur Erfüllung der Transportaufgabe. Trotz der unterschiedlichen Annahme zur Auslastung in den beiden Studien sind diese jeweils innerhalb einer Studie für Einweg und Mehrweg gleich angenommen worden. Dadurch ergibt sich eine Inkonsistenz beim Vergleich der Ergebnisse zwischen den Studien, aber nicht direkt innerhalb einer Studie.

### Wirkungskategorien

Die untersuchten Umweltwirkungskategorien unterscheiden sich ebenfalls. Die SIM-Studie fokussiert den Carbon Footprint basierend auf der Wirkungskategorie Treibhauspotenzial (GWP, Global Warming Potential), während die FEFCO-Studie die Wirkungskategorien des Environmental Footprint EF2.0 auswertet, die den Carbon Footprint als Einzelkategorie ebenfalls zum Inhalt hat.

Tabelle 5: Unterschiede im Untersuchungsrahmen

Vergleichspunkt	SIM-Studie	FEFCO-Studie
Bezugsgröße (funktionelle Einheit)	Distribution von 1000 Tonnen Obst und Gemüse	Distribution von 1000 Kilogramm Gemüse
Auslastung der Behälter	100 %: 15 Kilogramm	70 %: $15 \cdot 0,7 = 10,5$ Kilogramm
Anzahl der Behälter zur Erfüllung der funktionellen Einheit	66.667	95,23
Wirkungskategorie	Treibhauspotenzial (GWP)	Environmental Footprint EF2.0

In den nachfolgenden Kapiteln werden einige Unterschiede der Parameterwerte des Einwegsystems aus Kartonage (CB, Cardboard Box) und des Mehrwegsystems aus Kunststoff (RPC, Reusable foldable Plastic Container) dargestellt. Die gezeigten Parameterwerte sind der jeweilig genannten Studie entnommen.

#### 4.2.1 Einwegsysteme aus Kartonage CB

In diesem Abschnitt werden die Parameterwerte der Einwegbehälter aus Kartonage CB (Cardboard Box) gelistet und in Tabelle 6 zusammengefasst.

**Behältermasse:**

Die CB-Behältermasse unterscheidet sich in beiden Studien geringfügig. Die SIM-Studie geht von einer Masse von 0,78 Kilogramm aus, die FEFCO-Studie von 0,77 Kilogramm.

**Materialzusammensetzung:**

Die Materialzusammensetzung des Referenzbehälters weicht ebenfalls in den Studien voneinander ab. Die SIM-Studie geht von einer Zusammensetzung von 64 Prozent Semichemical Fluting und 36 Prozent Kraftliner aus, wohingegen die FEFCO-Studie von 47 Prozent Semichemical Fluting und 53 Prozent Kraftliner ausgeht. Der RC-Anteil in der SIM-Studie beträgt 19 Prozent und der RC-Anteil der FEFCO-Studie 23 Prozent.

**Transport:**

Bei den Einwegbehältern unterscheiden sich einige Annahmen der Transportwege. Dabei handelt es sich um die Wege von den Herstellern der CB zu den Lebensmittelproduzenten mit 50 km (SIM-Studie) bzw. 55 km (FEFCO-Studie) und von den Lebensmittelproduzenten zum Distributionslager mit 406 km (SIM-Studie) und 840 km (FEFCO-Studie).

**Lebensende:**

Hinsichtlich des Lebensendes wurden verschiedene Annahmen zur Verwertung getroffen. Die FEFCO-Studie nimmt eine Recyclingquote (stoffliche Verwertung) von 82,9 Prozent an, die SIM-Studie eine Quote von 85 Prozent.

**Ergebnis:**

Um die Ergebnisse des Carbon-Footprints der Studien zu vergleichen, wurde das Ergebnis der SIM-Studie durch den Faktor 1000 dividiert. Das Ergebnis der FEFCO-Studie liegt mit 34,7 Kilogramm CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Tonne transportiertem Gemüse leicht unterhalb des Ergebnisses der SIM-Studie mit 37,7 Kilogramm CO<sub>2</sub>-Äquivalente.

Tabelle 6: Verwendete Parameterwerte für das Einwegsystem in den beiden untersuchten Studien

Vergleichspunkt	SIM-Studie	FEFCO-Studie
Masse pro CB	0,78 kg	0,77 kg
Materialzusammensetzung	64 % Fluting 36 % Kraftliner RC-Anteil: 19 %	47 % Fluting 53 % Kraftliner RC-Anteil: 23 %
Transportweg Hersteller zu Lebensmittelproduzent	50 km	55 km
Transportweg Lebensmittelproduzent zu Distributionslager	406 km	840 km
Stoffliche Verwertung	85 %	82,9 %
Ergebnis GWP	37,7 kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro Tonne Lebensmittel	34,7 kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro Tonne Lebensmittel

#### 4.2.2 Mehrwegbehälter aus Kunststoff

In diesem Abschnitt werden die Parameterwerte der Mehrwegbehälter aus Kunststoff RPC (Reusable foldable Plastic Container) gelistet und in der anschließenden Tabelle 7 zusammengefasst.

##### Materialzusammensetzung:

Die Referenzbehälter weichen in der Materialzusammensetzung voneinander ab. Die SIM-Studie geht von einer Zusammensetzung von 50,5 Prozent HD-PE und 49,5 Prozent PP aus, wohingegen die FEFCO-Studie von 58 Prozent PE und 42 Prozent PP ausgeht. Der RC-Anteil in beiden Studien beträgt 10 Prozent.

##### Umläufe:

Die Lebensdauer und die Umläufe pro Jahr unterscheiden sich in den beiden Studien deutlich. Die SIM-Studie geht von 50 Umläufen aus (5 Umläufe pro Jahr bei einer Lebensdauer von 10 Jahren), die FEFCO-Studie von nur 24 Umläufen (4 Umläufe pro Jahr bei einer Lebensdauer von 6 Jahren).

##### Bruchrate:

Die Bruchrate pro Umlauf wurde in beiden Studien ebenfalls deutlich unterschiedlich angenommen. Die SIM-Studie geht von einer Bruchrate von 0,53 Prozent aus, die FEFCO-Studie von 2,5 Prozent.

##### Transport:

Einige Transportwege in der Nutzungsphase weichen in den Studien voneinander ab. Dabei handelt es sich um den Weg von den Herstellern der RPC zu Lebensmittelproduzenten mit 921 km (SIM-Studie) bzw. 370 km (FEFCO-Studie), von den Lebensmittelproduzenten zum Distributionslager mit 406 km (SIM-Studie) bzw. 840 km (FEFCO-Studie), vom Distributionslager zum Servicecenter mit 223 km (SIM-Studie) bzw. 165 km (FEFCO-Studie), vom Servicecenter zum Lebensmittelproduzenten mit 409 km (SIM-Studie) bzw. 380 km (FEFCO-

Studie) und vom Servicecenter zur stofflichen Verwertung mit 867 km (SIM-Studie) bzw. 840 km (FEFCO-Studie).

**Lebensende:**

Hinsichtlich des Lebensendes unterscheidet sich die Recyclingquote. Die SIM-Studie geht von einer stofflichen Recyclingquote von 77,5 Prozent aus, während die FEFCO-Studie 41,8 Prozent annimmt.

**Ergebnis:**

Analog zu den Einwegbehältern wurde das Ergebnis der SIM-Studie auf die Bezugsgröße der FEFCO-Studie zur Wahrung der Vergleichbarkeit umgerechnet. In der SIM-Studie wurde eine Emission von 14,5 Kilogramm CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Tonne Transportgut und in der FEFCO-Studie eine Emission von 47,9 Kilogramm CO<sub>2</sub>-Äquivalente berechnet.

Tabelle 7: Verwendete Parameterwerte für das Mehrwegsystem in den beiden untersuchten Studien

Vergleichspunkt	SIM-Studie	FEFCO-Studie
Materialzusammensetzung	49,5 % PP 50,5 % HDPE RC-Anteil: 10 %	42 % PP 58 % HDPE RC-Anteil: 10 %
Umläufe	50	24
Bruchrate	0,53 %	2,50 %
Transportweg Hersteller zu Lebensmittelproduzent	921 km	370 km
Transportweg Lebensmittelproduzent zu Distributionslager	409 km	840 km
Transportweg Distributionslager zu Servicecenter	223 km	165 km
Transportweg Servicecenter zu Lebensmittelproduzent	409 km	380 km
Transportweg Servicecenter zu stofflicher Verwertung	867 km	840 km
Lebensende Stoffliche Verwertung	77,5 %	41,8 %
Ergebnis	14,5 kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro Tonne Lebensmittel	47,9 kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro Tonne Lebensmittel

### 4.3 Einfluss gewählter Parameterwerte

Die Ergebnisse des Carbon Footprints der Einwegbehälter weichen in den Studien nur leicht voneinander ab, wohingegen die der Mehrwegbehälter stark differieren. Aufgrund dessen werden nachfolgend die gewählten Parameter des Mehrwegsystems und dessen Einfluss auf das Ergebnis näher betrachtet.

Um den Einfluss der Parameter auf das Ergebnis zu identifizieren, wurden in beiden Studien Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Dabei wurden Parameter am Basisszenario verändert, sodass die Auswirkungen dieser Änderung auf das Ergebnis des Carbon Footprints dargestellt werden. Dabei ist zu beachten, dass immer nur ein Parameter des Basisszenarios geändert wurde.

Von den oben ermittelten und in beiden Studien stark voneinander abweichenden Parametern, wurden in der SIM-Studie in der Sensitivitätsanalyse die Umläufe und die Verwertung untersucht. Die Umläufe wurden in der Sensitivitätsanalyse mit 25 und 100 Umläufen variiert, die stoffliche Verwertung zwischen 0 und 100 Prozent. Die größte Änderung der Emissionen der Mehrwegbehälter verursachten in der Sensitivitätsanalyse die Reduzierung der stofflichen Verwertung auf 0 Prozent, kurz gefolgt von der Verminderung der Umläufe auf 25. Dies zeigt, dass beide Parameter einen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis haben.

In der Sensitivitätsanalyse der FEFCO-Studie wurde der Einfluss der Bruchrate und der Anteil stofflicher Verwertung untersucht. Die Bruchrate wurde zwischen 0,5 und 5 Prozent variiert. Die geringere Bruchrate führt zur größten Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Sensitivitätsanalyse. Der Anteil stofflicher Verwertung wurde in der Sensitivitätsanalyse auf 70 Prozent gesetzt, was zur zweithöchsten Reduzierung des Carbon Footprints führt. Analog zur SIM-Studie zeigt auch die Sensitivitätsanalyse der FEFCO-Studie auf, dass diese zwei Parameter einen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis haben. Beide Studien reagieren somit sehr sensitiv auf die Parameterwerte Umläufe, Bruchrate sowie die Verwertungsquote am Lebensende der Kunststoffbehälter.

Zwischen den Basisszenarien der Studien unterscheiden sich allerdings mehrere Parameterwerte, deren einzelne und kombinierte Auswirkungen auf die Ergebnisse nachfolgend erörtert werden.

Zu Beginn steht die Auslastung der Behälter, die zur Folge hat, dass eine größere Anzahl zur Erfüllung der funktionellen Einheit benötigt wird. Relativ gesehen erfordert die FEFCO-Studie 42,8 Prozent mehr Behälter. Basierend auf deren Anzahl zur Erfüllung der funktionellen Einheit wird der notwendige Ersatz berechnet. Dies beinhaltet die Anzahl der Umläufe bis Lebensende sowie die Bruchrate. In der FEFCO-Studie werden ca. dreimal so viel Behälter über die Lebensdauer ersetzt als in der SIM-Studie. Dieser Unterschied wird durch die jeweilig angenommene Anzahl an Umläufen hervorgerufen und durch die reduzierte Auslastung verstärkt. Zusätzlich zu ersetzen sind ebenfalls die Behälter, welche pro Umlauf zu Bruch gehen. Aufgrund der unterschiedlichen Bruchraten wird in der FEFCO-Studie ca. das 6,7-fache an Behältern pro Umlauf er-

setzt. Auch dieser Unterschied wird durch die geringere Auslastung der Behälter verstärkt. Durch die gewählten Parameter werden in der FEFCO-Studie nicht nur mehr Behälter zur Erfüllung der funktionellen Einheit benötigt, zusätzlich muss auch eine größere Anzahl hergestellt und dementsprechend entsorgt werden. Einhergehend mit einer höheren Anzahl an Behältern steigt die Relevanz der Transportaufwände.

#### **4.4 Betrachtung Umläufe**

In der SIM-Studie werden 50 Umläufe der Mehrwegbehälter angesetzt. Dabei handelt es sich um Primärdaten des Euro-Pool-Systems und der IFCO-Systems GmbH, die eine Umlaufzahl der Mehrwegbehälter von 5 pro Jahr angeben, bei einer durchschnittlichen Lebenserwartung von 10 Jahren (Fraunhofer IBP 2017a, 2017b).

In der FEFCO-Studie werden 24 Umläufe der Mehrwegbehälter angesetzt. Als Quelle dient eine Studie von Thorbecke et al. Dabei handelt es sich um eine LCA-Studie aus dem nordamerikanischen Bereich, welche ebenfalls Einwegbehälter aus Karton und Mehrwegbehälter aus Kunststoff gegenüberstellt. Auftraggeber der Studie ist die »Corrugated Packaging Alliance« (CPA). Die Annahme von 24 Nutzungszyklen wird in der Studie mit durchschnittlich 4 Nutzungen pro Jahr über eine Lebensdauer von 6 Jahren berechnet (Thorbecke et al. 2019)

#### **4.5 Betrachtung Bruchrate**

Die SIM-Studie basiert auf einer Bruchrate von 0,53 Prozent. Dabei handelt es sich um Primärdaten des Euro-Pool-Systems und der IFCO Systems GmbH (Fraunhofer IBP 2017a, 2017b).

Die FEFCO-Studie geht von einer Bruchrate von 2,5 Prozent aus, gebildet als Mittelwert der minimalen Bruchrate (keine Bruchrate = 0 Prozent) und der maximalen Bruchrate (5 Prozent), die in der Literatur gefunden wurden. Eine Bruchrate von 5 Prozent wird von Thorbecke et al. erwähnt, wobei dort die Rede von einer kombinierten Bruch- und Schwundrate ist (Thorbecke et al. 2019).

#### **4.6 Betrachtung stoffliche Verwertung**

Die SIM-Studie geht von einer stofflichen Verwertung von 77,5 Prozent aus. Diese entsteht durch die Annahme, dass nahezu 100 Prozent stofflich verwertet werden, dies aber durch die Verkürzung der Polymerketten zu einem Qualitätsverlust des Granulats führt. Dieser Verlust wird über den Marktpreis von Sekundärgranulat auf 22,5 Prozent geschätzt. Eine stoffliche Verwertung, die nur über die Kettenverkürzung beeinträchtigt wird, wurde angenommen, da es sich bei Mehrwegtransportbehältern um ein Pooling-System mit Behältern aus hochwertigen und sortenreinen Materialien handelt, die in einem B2B-System geführt werden (Bekuplast 2015).

Die FEFCO-Studie geht von einer geringeren stofflichen Verwertung von 41,8 Prozent für das B2B-Mehrwegsystem aus. Dies ist ein EU-weiter Durchschnitt für Post-Consumer-Recycling von Verpackungsabfällen, stammt aus (EUROSTAT 2022) und ist unsere Erachtens für die Übertragung auf Mehrwegverpackungen nicht geeignet (vgl. Kapitel 3.2).

#### 4.7 Fazit zum Vergleich der beiden Ökobilanzstudien

Die Studien »Carbon Footprint von Verpackungssystemen für Obst- und Gemüse Transporte in Europa« (Krieg et al. 2018a), kurz »SIM-Studie« und »Comparative Life Cycle Assessment (LCA) Packaging Solutions for the Food Segment« (Castellani et al. 2022), kurz »FEFCO-Studie« sind Ökobilanzstudien, in denen Einwegbehälter aus Karton und Mehrwegbehälter aus Kunststoff für die Distribution von Obst und Gemüse (SIM-Studie) bzw. nur Gemüse (FEFCO-Studie) im Hinblick auf ihre Umweltwirkungen untersucht und verglichen werden.

Die Ergebnisse des Carbon Footprints beider Studien unterscheiden sich. Während in der SIM-Studie im Vergleich der Mehrwegbehälter aus Kunststoff einen deutlich geringeren Carbon Footprint aufweist und zu bevorzugen ist, führt die FEFCO-Studie zum gegenteiligen Ergebnis. Dieser Unterschied wird wie in oben genannter Analyse gezeigt, hauptsächlich durch die Wahl der Parameterwerte für das Mehrwegsystem hervorgerufen.

Einige dieser Parameter haben einen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis. Um diesen Einfluss herauszuarbeiten, wurden in beiden Studien Sensitivitätsanalysen durchgeführt, in denen jeweils ein Parameter am Basisszenario verändert wurde. Dabei ist zu erkennen, dass die Parameter Umläufe, Bruchrate und stoffliche Verwertung neben eher methodischen Einflussfaktoren, wie die verwendeten Allokationsregeln am EoL, die hier nicht untersucht wurden, einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis nehmen können. Für die Mehrwegbehälter weichen diese Parameter in den beiden Studien stark voneinander ab.

Bei dem Mehrwegsystem handelt es sich um ein B2B-System, sprich ein klar kontrollierbares und in sich geschlossenes System. Dadurch sind die Lebensdauer der einzelnen Behälter sowie die Bruchrate sehr gut zu erfassen und zu dokumentieren. Zusätzlich wird durch das B2B-System gewährleistet, dass aussortierte und defekte Behälter am Lebensende einer kontrollierten, stofflichen Verwertung zugeführt werden können. Die Betreiber der Mehrweg-Pools sind zudem an der Wirtschaftlichkeit ihres Mehrwegsystems interessiert. Mehrwegsysteme gewinnen mit steigenden Umlaufzahlen und geringeren Bruchraten an ökonomischer Vorteilhaftigkeit, die sich aber auch ökologisch zeigt.

Die verwendeten Parameterwerte der SIM-Studie wurden von den Partnern der Stiftung Initiative Mehrweg fortlaufend während des Pooling-Betriebs der Mehrwegbehälter erhoben. Diese stetige Erfassung und Prüfung der wichtigen Parameterwerte ist Grundlage für die positive Bewertung der Distribution von Obst- und Gemüse in Mehrwegtransportverpackungen aus Kunststoff.

Im Ergebnis des Vergleichs der beiden Ökobilanzen ist festzustellen, dass die FEFCO-Studie von einem sehr viel ungünstigeren Basisszenario ausgeht. Bei der

oben durchgeführten Parameterstudie wird deutlich, dass sich das Ergebnis der SIM-Studie bei einer Variation zu niedrigeren Umlaufzahlen, höheren Bruchraten und niedrigeren Recyclingraten dem der FEFCO annähert. Wir erwarten daher, dass das in der FEFCO-Studie verwendete Berechnungsmodell bei einer Änderung der Parameter auf die in der SIM-Studie verwendeten Werte ebenfalls zu einem Ergebnis zugunsten der Mehrwegbehälter käme. Dies würde das Ergebnis der SIM-Studie bestätigen und damit die Vorteilhaftigkeit des Mehrwegsystems unter den betrachteten Randbedingungen belegen. Lohnenswert wäre, dies zu prüfen.

Die Parameterwerte Umlaufzahlen, Bruchrate und Anteil der stofflichen Verwertung spielen bei der Durchführung von vergleichenden Ökobilanzen zu Einweg- und Mehrwegsystemen eine Schlüsselrolle. Um realitätsnahe Werte zu erhalten, sollten sie von der Mehrwegbranche im Rahmen eines Monitorings fortlaufend geprüft und transparent berichtet werden.

## 5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Abfallhierarchie in ihrer heutigen Form folgt vor allem dem überzeugenden Ansatz, dass eine höhere Stufe die folgenden Stufen als Option beibehält. Ein Produkt oder eine Verpackung ist daher zunächst lange und häufig zu nutzen. Durch Reinigung und Reparatur kann die Lebensdauer dabei deutlich ausgeweitet werden. Wenn diese Optionen an ein Ende gelangen, stellt das Recycling eine sinnvolle Alternative dar. Ist das Material nach einer Vielzahl gekoppelter Kreisläufe irreversibel geschädigt, kann es final energetisch verwertet werden. Durch den direkten Einstieg auf eine niedrigere Stufe der Abfallhierarchie – hier sei explizit das Recycling genannt – beraubt man sich der übergeordneten Alternativen – in diesem Falle der Wiederverwendung. Es ist daher aus unserer Sicht sinnvoll, **die Abfallhierarchie zu erhalten und sie aktiver als bislang umzusetzen.**

Vor dem Hintergrund, dass die Abfallhierarchie nach wie vor als Prinzip in den Rechtsakten der Kreislaufwirtschaft fest verankert ist, reicht es nicht aus, dass für Einwegverpackungen die Rezyklierbarkeit nachgewiesen werden muss, nicht aber deren ökologischen Vorteile gegenüber Mehrwegsystemen. Eine entsprechende **Nachweispflicht der ökologischen Vorteilhaftigkeit für Einwegverpackungen für den Einzelfall** sollte gesetzlich verankert und methodisch standardisiert werden.

Verpackungen sind mit geschätzten 1,6 Prozent zwar nicht der Hauptemittent von Treibhausgasen, dennoch stellen sie eine relevante Quelle dar. In den kommenden Jahren müssen daher Einweg- und Mehrwegverpackungen ihren **direkten und indirekten Carbon Footprint deutlich verringern.**

Ökobilanzen sind hierbei ein wichtiges Werkzeug, das aber nur dann sinnvoll eingesetzt werden kann, wenn über die relevanten Parameterräume und -konstellationen sowie Systemgrenzen im Rahmen eines moderierten Multi-Stakeholder\*Innen-Dialogs Einigkeit erzielt wird. Für eine Entscheidungsfindung sind aber auch **ökologische Aspekte mit einzubeziehen, die durch Ökobilanzen heute noch gar nicht erfasst werden.** Hierzu zählen **insbesondere Kunststoffemissionen** (Mikroplastik und Littering). Diese treten vor allem bei nicht bepfandeten Einwegverpackungen aus Kunststoff oder aus mit Kunststoff modifizierten Papier-, Pappe- und Kartonverpackungen auf.

Der von VTT und FEFCO vorgeschlagene Weg, **Verpackungen in Bezug auf »Fit-for Purpose« zu optimieren und zu untersuchen, ist explizit zu begrüßen.** Zu erwarten ist, dass Mehrwegsysteme aufgrund ihrer Robustheit, Wiederverschließbarkeit und der Tatsache, dass die Kosten und Umweltwirkungen für Komponenten intelligenter Verpackungen (Sensoren, Funketiketten etc.) über viele Umläufe umgelegt werden können, in vielen Anwendungsgebieten im Vergleich zur Einwegkonkurrenz besonders gut abschneiden. Zu einem anspruchsvoll definierten »Fit-for-Purpose« gehört dabei eben auch, dass eine lange Lebensdauer, eine hohe Zahl von Nutzungen sowie eine optimale Rezyklierbarkeit am Lebensende erreicht werden.

Der behauptete Zusammenhang, dass sich Lebensmittelverluste und andere Produktschädigungen durch Einwegverpackungen verringern ließen, lässt sich aus unserer Sicht nicht halten. Die bisherigen Studien und Erfahrungen zeigen, dass **insbesondere Einwegverpackungen häufig nicht ausreichend mechanisch stabil und nassfest sind**. Ein systematischer gegenläufiger Zusammenhang zwischen Lebensmittelverlusten und Verpackungsverbrauch ist darüber hinaus nicht erkennbar. Wenn überhaupt, dann ist es eher so, dass Lebensmittelverluste und Verpackungsverbrauch die gleiche Tendenz aufweisen. Dies spricht eher für Überproduktion und Überkonsum als Hauptgründe für Lebensmittelverluste.

Richtig ist, dass Mehrwegsysteme in der Regel mit höheren Startinvestitionen verbunden sind. Daher wurden sie bislang vor allem im Bereich B2B zwischen großen Marktteilnehmern realisiert. Durchaus realistisch erscheint aber, **Mehrweg durch Standardisierung und einen investitionssicheren Regulierungsrahmen weiter zu verbreiten**. Dies gilt insbesondere, weil die Einwegsysteme es bislang kaum geschafft haben, durch Recycling eine echten Kreislaufwirtschaft zu realisieren. Gründe dafür sind geringe Erfassungsraten und Recyclingquoten, hohe Materialausschleusung zur energetischen Verwertung sowie der selten erfolgende Einsatz von Rezyklaten in den ursprünglichen Einsatzbereichen oder Produkten. Die Politik sollte daher zur Verbesserung der Ressourceneffizienz und zur Verminderung der Abhängigkeiten von Rohmaterialimporten die passenden Randbedingungen für die Einführung neuer Mehrwegsysteme schaffen.

Politik, Verbände und Branchenteilnehmer sollten eine Vorgehensweise für ein **transparentes Monitoring der Mehrwegsysteme vereinbaren**. Dabei müssen zentrale Größen wie Umlaufzahl, Bruch- und Schwundrate sowie die Recyclingquote erfasst und berichtet werden. Die Daten von Einwegsystemen und Mehrwegsystemen müssen dabei ausreichend granular vorliegen, sodass für jede Anwendung, in der beide Systeme verfügbar sind, eine etwaige Abweichung von der Abfallhierarchie zugunsten der Einwegsysteme evidenzbasiert für den Einzelfall und nicht generisch begründet wird.

## 6 Literaturverzeichnis

2018/852/EU: Richtlinie zur Änderung der Richtlinie 94/62/EG über Verpackungen und Verpackungsabfälle. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0852&from=DE>, zuletzt geprüft am 01.02.2022.

94/62/EG: Richtlinie über Verpackungen und Verpackungsabfälle. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:31994L0062&from=DE>, zuletzt geprüft am 29.03.2022.

Abejón, R.; Bala, A.; Vázquez-Rowe, I.; Aldaco, R.; Fullana-i-Palmer, P. (2020): When plastic packaging should be preferred: Life cycle analysis of packages for fruit and vegetable distribution in the Spanish peninsular market. In: *Resources, Conservation and Recycling* 155. DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.104666.

Accorsi, Riccardo; Baruffaldi, Giulia; Manzini, Riccardo (2020): A closed-loop packaging network design model to foster infinitely reusable and recyclable containers in food industry. In: *Sustainable Production and Consumption* 24, S. 48–61. DOI: 10.1016/j.spc.2020.06.014.

Accorsi, Riccardo; Cascini, Alessandro; Cholette, Susan; Manzini, Riccardo; Mora, Cristina (2014): Economic and environmental assessment of reusable plastic containers: A food catering supply chain case study. In: *International Journal of Production Economics* 152, S. 88–101. DOI: 10.1016/j.ijpe.2013.12.014.

ADEME (2000): Analyse du cycle de vie des caisses en bois, carton ondulé et plastique pour pommes. LCA of Wooden Boxes, Cardboard Boxes and Plastic Crates for Apples. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME), 2000. Online verfügbar unter <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Analyse+du+cycle+de+vie+des+caisses+en+bois%2C+carton+ondul%C3%A9+et+plastique+pour+pommes>, zuletzt geprüft am 27.07.2021.

Albrecht, Stefan; Beck, Tabea; Barthel, Leif; Fischer, Matthias; Deimling, Sabine; Baitz, Martin (2009): The sustainability of packaging system for fruit and vegetable transport in Europe based on Life-cycle Analysis. Update 2009. Executive Summary. Hg. v. Stiftung Initiative Mehrweg. Online verfügbar unter <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=The+sustainability+of+packaging+system+for+fruit+and+vegetable+transport+in+Europe+based+on+Life-cycle+Analysis>, zuletzt geprüft am 21.07.2021.

Albrecht, Stefan; Brandstetter, Peter; Beck, Tabea; Fullana-i-Palmer, Pere; Grönman, Kaisa; Baitz, Martin et al. (2013): An extended life cycle analysis of packaging systems for fruit and vegetable transport in Europe. In: *Int J Life Cycle Assess* 18 (8), S. 1549–1567. DOI: 10.1007/s11367-013-0590-4.

Antala, D. K.; Satasiya, R. M.; Chauhan, P. M. (2020): Design, development and performance evaluation of transportation container for sapota fruit. In: *J Food Sci Technol*. DOI: 10.1007/s13197-020-04865-w.

Appenberg & Partner (2022): Deutsche Verpackungsindustrie trotz der Krise. Online verfügbar unter <https://www.apenberg.de/2022/08/08/deutsche-verpackungsindustrie-trotzt-der-krise/>, zuletzt aktualisiert am 02.08.2022, zuletzt geprüft am 02.09.2022.

Baruffaldi, G.; Accorsi, R.; Volpe, L.; Manzini, R.; Nilsson, F. (2019): Sustainable operations in reusable food packaging networks. In: Riccardo Accorsi und Riccardo Manzini (Hg.): Sustainable food

supply chains. Planning, design, and control through interdisciplinary methodologies. London: Academic Press, S. 293–304. Online verfügbar unter <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85081932212&doi=10.1016%2fB978-0-12-813411-5.00020-X&partnerID=40&md5=7eb016b959d6eec0cb669188b33f140a>.

Battini, D.; Calzavara, M.; Persona, A.; Sgarbossa, F. (2016): Sustainable Packaging Development for Fresh Food Supply Chains. In: *08943214* 29 (1), S. 25–43. DOI: 10.1002/pts.2185.

Bekuplast (2015): Stoffliche Verwertungssquote von Mehrwegbehältern., 15.09.2015. Persönliche Kommunikation an Bekuplast.

Bertling, J.; Hamann, H.; Bertling, R. (2018): Kunststoffe in der Umwelt.

Bertling, Jürgen (2021): Kunststoff in der Umwelt – ein Kompendium.

Bertling, Jürgen; Dobers, Kerstin; Kabasci, Stephan; Schulte, Anna (2022): Kunststoffbasierte Mehrwegsysteme in der Circular Economy. Online verfügbar unter <https://publica.fraunhofer.de/entities/publication/7b363a1e-7283-4ed8-8fd1-3578e05ed0e6/details>, zuletzt geprüft am 04.11.2022.

Castellani, F.; Aigner, J.; Berglykke Aagaard, S. (2022): Comparative Life Cycle Assessment (LCA). Packaging Solutions for the food segment. Ramboll. Online verfügbar unter [https://www.fefco.org/sites/default/files/2022/FEFCO\\_Comparative\\_LCA\\_study.pdf](https://www.fefco.org/sites/default/files/2022/FEFCO_Comparative_LCA_study.pdf).

CEPI (2013): Key Statistics 2012. Online verfügbar unter <https://www.cepi.org/wp-content/uploads/2021/01/Key-Statistics-Report-2012.pdf>, zuletzt geprüft am 02.09.2021.

CEPI (2022): Key Statistics 2021. Online verfügbar unter <https://www.cepi.org/wp-content/uploads/2022/07/Key-Statistics-2021-Final.pdf>, zuletzt geprüft am 02.09.2022.

Crippa, M.; Solazzo, E.; Guizzardi, D.; Monforti-Ferrario, F.; Tubiello, F. N.; Leip, A. (2021): Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. In: *Nat Food* 2 (3), S. 198–209. DOI: 10.1038/s43016-021-00225-9.

Del Borghi, A.; Parodi, S.; Moreschi, L.; Gallo, M. (2020): Sustainable packaging: an evaluation of crates for food through a life cycle approach. In: *International Journal of Life Cycle Assessment*. DOI: 10.1007/s11367-020-01813-w.

EU 2019/904 (2019): Richtlinie die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt. Kunststoff-Einweg-Richtlinie, vom 2019. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0904>, zuletzt geprüft am 01.02.2022.

EU RL 2008/98: Richtlinie über Abfälle (Abfallrahmenrichtlinie), vom 19.11.2008. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=DE>, zuletzt geprüft am 22.02.2022.

Europäische Chemikalienagentur ECHA (Hg.) (2020): Intentionally added microplastic. Proposal for a restriction. Online verfügbar unter <https://echa.europa.eu/documents/10162/05bd96e3-b969-0a7c-c6d0-441182893720>, zuletzt geprüft am 02.09.2022.

Europäische Kommission (2010): Making sustainable consumption and production a reality. A guide for business and policy makers to life cycle thinking assessment. Luxembourg: Publ. Office of the Europ. Union.

EUROSTAT (Hg.) (2022): Packaging waste by waste management operations. Online verfügbar unter [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV\\_WASPAC\\_\\_custom\\_3296548/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_WASPAC__custom_3296548/default/table?lang=en), zuletzt geprüft am 02.09.2022.

FEFCO (2022): Recycling vs. Reuse for Packaging. Bringing the Science into the Packaging Debate. Online verfügbar unter [https://www.fefco.org/sites/default/files/2022/FEFCO\\_Visual\\_Overview\\_v8.1.pdf](https://www.fefco.org/sites/default/files/2022/FEFCO_Visual_Overview_v8.1.pdf), zuletzt geprüft am 02.09.2022.

Franklin Associates (2016): Comparative life cycle assessment of reusable plastic containers and display- and non-display-ready corrugated containers used for fresh produce application. prepared for IFCO Corporation. Online verfügbar unter [https://nanopdf.com/download/comparative-life-cycle-assessment-of-reusable-plastic-containers-and\\_pdf](https://nanopdf.com/download/comparative-life-cycle-assessment-of-reusable-plastic-containers-and_pdf), zuletzt geprüft am 23.03.2022.

Fraunhofer IBP (2017a): Primärdatenerhebung zu Herstellung, Sekundärgranulatanteil, Transportentfernungen, Transportauslastung, Flottenmix, Umlaufzahlen, Bruchraten, Reinigung, Inspektion und Verwertung bei bei IFCO.

Fraunhofer IBP (2017b): Primärdatenerhebung zu Herstellung, Sekundärgranulatanteil, Transportentfernungen, Transportauslastung, Flottenmix, Umlaufzahlen, Bruchraten, Reinigung, Inspektion und Verwertung bei Euro Pool Systems.

GDV (Hg.) (2022): Transport Information Service. Online verfügbar unter [https://www.tis-gdv.de/tis\\_e/verpack/inhalt1-htm/](https://www.tis-gdv.de/tis_e/verpack/inhalt1-htm/), zuletzt geprüft am 02.09.2022.

VerpackG (27.01.2021): Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die hochwertige Verwertung von Verpackungen.

Ginebreda, Antoni; Guillén, Daniel; Barceló, Damià; Darbra, Rosa Mari (2011): Additives in the Paper Industry. In: Bernd Bilitewski, Rosa Mari Darbra, Damià Barceló und A. Àgueda (Hg.): Global risk-based management of chemical additives. Production, usage and environmental occurrence, Bd. 18. Heidelberg, New York: Springer Verlag (The Handbook of Environmental Chemistry), S. 11–34.

Haidlmair, Mario (2021): Kunststoffbasierten Mehrwegsysteme (Haidlmaier-Gruppe). Interview mit Stephan Kabasci und Jürgen Bertling. Digital via MsTeams.

Hofmeister, Gerit; Herzog, Ann-Kathrin; Endebrock, Klaus (2021): Mehrwegsteigen (WGB Pooling). Interview mit Kerstin Dobers und Anna Schulte. Digital via Microsoft Teams.

Kellerer, Richard (2021): Obst- und Gemüsesteigen (Schoeller Alibert). Interview mit Stephan Kabasci und Anna Schulte. Digital via Microsoft Teams.

Koskela, Sirkka; Dahlbo, Helena; Judl, Jáchym; Korhonen, Marja-Riitta; Niininen, Mervi (2014): Reusable plastic crate or recyclable cardboard box? A comparison of two delivery systems. In: *Journal of Cleaner Production* 69, S. 83–90. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.01.045.

Krieg, H.; Gehring, F.; Fischer, M.; Albrecht, S. (2018a): Carbon Footprint von Verpackungssystemen für Obst- und Gemüsetransporte in Europa. Fraunhofer IBP. Online verfügbar unter <https://www.stiftung-mehrweg.de/de/nachhaltigkeit/studien>, zuletzt geprüft am 02.09.2021.

Krieg, Hannes; Gehring, Florian; Fischer, Matthias; Albrecht, Stefan (2018b): Carbon Footprint von Verpackungssystemen für Obst- und Gemüsetransport in Europa. Hg. v. Stiftung Initiative Mehrweg. Fraunhofer IBP. Online verfügbar unter [https://www.stiftung-mehrweg.de/fileadmin/user\\_upload/SIM\\_CF\\_Bericht\\_De.pdf](https://www.stiftung-mehrweg.de/fileadmin/user_upload/SIM_CF_Bericht_De.pdf).

- Lange, Volker; Pelka, Michael (2013): Ermittlung des Verderbs von frischem Obst und Gemüse in Abhängigkeit der Verpackungsart. Vorstellung der Studienergebnisse. Fraunhofer IML. Berlin, 16.05.2013. Online verfügbar unter [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjDm-duYjO\\_yAhWGlqQKHZTNDlgQFnoECAMQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.stiftung-mehrweg.de%2Ffileadmin%2Fuser\\_upload%2Fdownloads-save-food-studie%2Fsafoodstudie-pres-sekonferenz.pdf&usg=AOvVaw0xr9LmS\\_xPTYgj5X0HKXDA](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjDm-duYjO_yAhWGlqQKHZTNDlgQFnoECAMQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.stiftung-mehrweg.de%2Ffileadmin%2Fuser_upload%2Fdownloads-save-food-studie%2Fsafoodstudie-pres-sekonferenz.pdf&usg=AOvVaw0xr9LmS_xPTYgj5X0HKXDA), zuletzt geprüft am 14.12.2021.
- Lazarevic, D.; Buclet, N.; Brandt, N. (2010): The influence of the waste hierarchy in shaping European waste management: the case of plastic waste. In: *Regional Development Dialogue*, 31 (2), S. 124–148. Online verfügbar unter <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:488367/FULLTEXT01.pdf>, zuletzt geprüft am 02.09.2022.
- Levi, Marinella; Cortesi, Sara; Vezzoli, Carlo; Salvia, Giuseppe (2011): A Comparative Life Cycle Assessment of Disposable and Reusable Packaging for the Distribution of Italian Fruit and Vegetables. In: *Packag. Technol. Sci.* 24 (7), S. 387–400. DOI: 10.1002/pts.946.
- López-Gálvez, Francisco; Rasines, Laura; Conesa, Encarnación; Gómez, Perla A.; Artés-Hernández, Francisco; Aguayo, Encarna (2021): Reusable Plastic Crates (RPCs) for Fresh Produce (Case Study on Cauliflowers): Sustainable Packaging but Potential Salmonella Survival and Risk of Cross-Contamination. In: *Foods (Basel, Switzerland)* 10 (6). DOI: 10.3390/foods10061254.
- Maga, Daniel; Galafton, Christina; Blömer, Jan; Thonemann, Nils; Özdamar, Aybüke; Bertling, Jürgen (2022): Methodology to address potential impacts of plastic emissions in life cycle assessment. In: *Int J Life Cycle Assess* 27 (3), S. 469–491. DOI: 10.1007/s11367-022-02040-1.
- Muske, Bodo (2021): Obst- und Gemüsesteigen (IFCO). Interview mit Jürgen Bertling. Digital via Microsoft Teams.
- Neue Verpackung (2022): Alles zum Tehma Rohstoffmangel und Preiserhöhungen in der Verpackungsindustrie. Online verfügbar unter <https://www.neue-verpackung.de/markt/die-verpackungsindustrie-klagt-ueber-rohstoffmangel-und-preiserhoehungen-293.html>, zuletzt aktualisiert am 30.05.2022, zuletzt geprüft am 02.09.2022.
- Pajula, t.; Sundqvist-Andberg, H. (2022): A critical view on packaging recycling and reuse in the European Circular Economy. VTT Technical Research Centre of Finland Ltd. Online verfügbar unter [https://www.fefco.org/sites/default/files/2022/A\\_critical\\_view\\_on\\_packaging\\_recycling\\_and\\_reuse\\_in\\_the\\_European\\_Circular\\_Economy.pdf](https://www.fefco.org/sites/default/files/2022/A_critical_view_on_packaging_recycling_and_reuse_in_the_European_Circular_Economy.pdf), zuletzt geprüft am 02.09.2022.
- Plastics Europe (2013): Plastics - the Facts 2013. Online verfügbar unter <https://plasticseurope.org/de/wp-content/uploads/sites/3/2021/11/2013-Plastics-the-facts.pdf>.
- Plastics Europe (2021): Plastics - the Facts 2021, zuletzt geprüft am 02.09.2022.
- Potting, Jose; Hekkert, Marko; Worrell, Ernst; Hanemaaijer, Aldert (2017): Circular Economy: Measuring Innovation in the Product Chain. Policy Report. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. The Hague. Online verfügbar unter <https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/358310>, zuletzt geprüft am 02.11.2020.
- PTS (2021): Test Report. Online verfügbar unter [https://chilltainers.com/pdfdownloads/PTS-Report\\_Cat2\\_2019\\_AB.0003200\\_Chilltainers.pdf](https://chilltainers.com/pdfdownloads/PTS-Report_Cat2_2019_AB.0003200_Chilltainers.pdf), zuletzt geprüft am 02.09.2022.
- Reike, Denise; Vermeulen, Walter J.V.; Witjes, Sjors (2018): The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? — Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. In: *Resources, Conservation and Recycling* 135, S. 246–264. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.08.027.

RESY (Hg.) (1998): Erläuterungen zur Recyclingfähigkeit von Verpackungen aus Papier, Karton und Pappe. Online verfügbar unter [https://www.resy.de/media/erlaeuterungen\\_zur\\_recyclingfaehigkeit.pdf](https://www.resy.de/media/erlaeuterungen_zur_recyclingfaehigkeit.pdf), zuletzt geprüft am 902.09.2022.

Robbert, Andreas (2021): Rezyklierbarkeit bei Kunststoffkisten. Interview mit Kerstin Dobers und Jürgen Bertling.

Schröder, Alisa (2020): HolyGrail 2.0: Digitale Wasserzeichen erleichtern das Sortieren. Hg. v. greiner packaging. Online verfügbar unter [https://www.greiner-gpi.com/de/Magazin/HolyGrail-2.0-Digitale-Wasserzeichen-erleichtern-das-Sortieren\\_s\\_274785](https://www.greiner-gpi.com/de/Magazin/HolyGrail-2.0-Digitale-Wasserzeichen-erleichtern-das-Sortieren_s_274785), zuletzt geprüft am 17.03.2022.

Tagesschau (Hg.) (2015): Die Dosenpfand-Chronik. Online verfügbar unter <https://www.tagesschau.de/inland/chronikdosenpfand100.html>.

Thorbecke, M.; Pike, A.; Dettling, J.; Eggers, D. (2019): LIFE CYCLE ASSESSMENT OF CORRUGATED CONTAINERS AND REUSABLE PLASTIC CONTAINERS FOR PRODUCE TRANSPORT AND DISPLAY. Corrugated Packaging. Online verfügbar unter [https://26mvtbfbbnv3ruuzp1625r59-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2019/06/CPA\\_Comparative\\_LCA\\_Quantis.pdf](https://26mvtbfbbnv3ruuzp1625r59-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2019/06/CPA_Comparative_LCA_Quantis.pdf), zuletzt geprüft am 02.-09.2022.

Tua, Camilla; Biganzoli, Laura; Grosso, Mario; Rigamonti, Lucia (2019): Life Cycle Assessment of Reusable Plastic Crates (RPCs). In: *Resources* 8 (2), S. 110. DOI: 10.3390/resources8020110.

Umweltbundesamt (Hg.) (2020): Mehrweganteil bei Getränken sinkt weiter. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/mehrweganteil-bei-getraenken-sinkt-weiter>, zuletzt aktualisiert am 25.09.2022, zuletzt geprüft am 02.09.2022.

Umweltbundesamt (2022a): Europäische Energie- und Klimaziele. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/europaeische-energie-klimaziele>, zuletzt aktualisiert am 18.02.2022, zuletzt geprüft am 02.09.2022.

Umweltbundesamt (Hg.) (2022b): Verpackungsabfälle. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/verpackungsabfaelle#verpackungen-uberall>, zuletzt aktualisiert am 22.02.2022, zuletzt geprüft am 02.09.2022.

United Nations Environmental Programme (UNEP) (2021): Food Waste Index Report.

Verband der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie VdL (Hg.) (2018): Die Auswirkungen von Druckfarben auf die Umwelt. Online verfügbar unter <https://www.wirsindfarbe.de/service-publicationen/informationmaterial-druckfarben/allgemeine-informationen-ueber-druckfarben/die-auswirkungen-von-druckfarben-auf-die-umwelt/>, zuletzt aktualisiert am 24.04.2018, zuletzt geprüft am 02.09.2022.

Vergheze, Karli; Lewis, Helen; Lockrey, Simon; Williams, Helén (2015): Packaging's Role in Minimizing Food Loss and Waste Across the Supply Chain. In: *08943214* 28 (7), S. 603–620. DOI: 10.1002/pts.2127.

Weidema, Bo P. (2019): Consistency check for life cycle assessments. In: *Int J Life Cycle Assess* 24 (5), S. 926–934. DOI: 10.1007/s11367-018-1542-9.

Wikström, Fredrik; Vergheze, Karli; Auras, Rafael; Olsson, Annika; Williams, Helén; Wever, Renee et al. (2019): Packaging Strategies That Save Food: A Research Agenda for 2030. In: *Journal of Industrial Ecology* 23 (3), S. 532–540. DOI: 10.1111/jiec.12769.

Yokokawa, Naoki; Kikuchi-Uehara, Emi; Sugiyama, Hirokazu; Hirao, Masahiko (2018): Framework for analyzing the effects of packaging on food loss reduction by considering consumer behavior. In: *Journal of Cleaner Production* 174, S. 26–34. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.10.242.