

KUNSTSTOFFBASIERTE MEHRWEGSYSTEME IN DER CIRCULAR ECONOMY

- EINE SYSTEMANALYSE



IM AUFTRAG DER STIFTUNG INITIATIVE MEHRWEG (SIM)

OBERHAUSEN/DORTMUND | APRIL 2022

KUNSTSTOFFBASIERTE MEHRWEGSYSTEME IN DER CIRCULAR ECONOMY - eine Systemanalyse

Autoren: Jürgen Bertling, Kerstin Dobers, Stephan Kabasci, Anna Schulte

Kontakte: **Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und
Energietechnik UMSICHT**

Osterfelder Straße 3, 46047 Oberhausen
www.umsicht.fraunhofer.de

Jürgen Bertling
juergen.bertling@umsicht.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML

Joseph-von-Fraunhofer-Straße 2-4, 44227 Dortmund
www.iml.fraunhofer.de

Dr. Kerstin Dobers
kerstin.dobers@iml.fraunhofer.de

Titelfoto: Mario Iser, Jürgen Bertling © 2022

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

Zuständig:
Dr. Jens Oldenburg
j.oldenburg@stiftung-mehrweg.de

Ausgabe: April 2022

Im Internet verfügbar: <https://publica.fraunhofer.de>
DOI: 10.24406/publica-11

Nutzungsbedingung: [CC-BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Zitierweise: Bertling, J., Dobers, K., Kabasci, S., Schulte, A.: Kunststoffbasierte Mehrwegsysteme in der Circular Economy – eine Systemanalyse, Oberhausen/Dortmund 2022

Inhalt

1	Zusammenfassung	1
1.1	Warum diese Studie?	1
1.2	Drei wichtige Mehrwegsysteme im Blick	2
1.3	Leistungsfähigkeit kunststoffbasierter Mehrwegsysteme	3
1.4	Empfehlungen	8
1.5	Fünfzehn Fragen und Antworten	13
2	Aufbau und Struktur dieses Berichts	18
3	Zielsetzung der Studie	19
3.1	Gegenstand und Vorgehen	19
3.2	Darstellung der Ergebnisse	20
4	Kursorischer Überblick zu Einweg- und Mehrwegsystemen	21
4.1	Einweg- und Mehrwegsysteme in der öffentlichen Wahrnehmung	21
4.2	Definitionen und Klassifikationen	21
4.3	Systembetrachtung von Ein- und Mehrwegsystemen	23
4.4	Vorabvergleich zum Primärenergieaufwand von Mehrweg zu Einweg	24
4.5	Status beim Verpackungsverbrauch in Deutschland	27
4.6	Abfall- und stoffrechtliche Situation	28
4.7	Instrumente für nachhaltige Investitionen	34
5	Untersuchte Systeme und Vorgehensweise	37
5.1	Die Demonstratoren in dieser Studie	37
5.2	Vorgehensweise – von den Kategorien zum Demonstratorprofil	38
5.3	Definition der Parameter: Umlaufzahl, Verlustquote, Bruchquote, Schwund	41
5.4	Umgang mit Unsicherheiten	42
6	Bewertung von Ein- und Mehrwegalternativen anhand ausgewählter Kategorien	43
6.1	Zirkularitätskategorien	44
6.1.1	Re-use/Umläufe und Lebensdauer	45
6.1.2	Materialeffizienz und Materialintensität	47
6.1.3	Rückläufe und Materialverluste	50
6.1.4	Reparierbarkeit	53
6.1.5	Rezyklierbarkeit	54
6.1.6	Recyclingquote	60
6.1.7	Rezyklatanteil	62
6.1.8	Kunststoffemissionen	64

6.2	Performancekategorien	67
6.2.1	Flächenbedarf und Modularität	68
6.2.2	Volumenreduzierbarkeit	71
6.2.3	Produktschutz	74
6.2.4	Digitalisierbarkeit	78
6.2.5	Transportaufwand	82
6.3	Nachhaltigkeitskategorien	88
6.3.1	Treibhausgasemissionen	89
6.3.2	Kumulierter Energieaufwand	95
6.3.3	Relative Wirtschaftlichkeit	99
6.3.4	Technologische Souveränität	103
7	Ergebnisse für die untersuchten Mehrwegsysteme	108
7.1	Steigen (Behälter, O+G-Kisten)	108
7.1.1	Beschreibung der Anwendung	108
7.1.2	Status bei Einweg- und Mehrweglösungen	108
7.1.3	Zirkularität, Performance und Nachhaltigkeit	110
7.1.4	Optimierungspotenziale	113
7.2	Pflanzentrays	115
7.2.1	Beschreibung der Anwendung	115
7.2.2	Status bei Einweg- und Mehrweglösungen	116
7.2.3	Zirkularität, Performance und Nachhaltigkeit	117
7.2.4	Optimierungspotenziale	120
7.3	Coffee-to-go-Becher	121
7.3.1	Beschreibung der Anwendung	121
7.3.2	Status bei Einweg- und Mehrweglösungen	122
7.3.3	Zirkularität, Performance und Nachhaltigkeit	124
7.3.4	Optimierungspotenziale	127
8	Weitere Kategorien ohne Bewertungen	129
8.1	Werkstoffkritikalität	129
8.2	Kritische Additive	131
8.3	Ressourcenverarmung	134
9	Anhang	136
9.1	Berechnung zum Vergleich beim Primärenergieaufwand	136
9.2	Durchgeführte Experteninterviews	138
9.3	Limitationen der Studie	139
9.3.1	Bewertung der Datenqualität	139
9.3.2	Vergleichbarkeit von Ökobilanzstudien	140
9.4	Tabellarische Daten zu den untersuchten Kategorien	142
9.4.1	Umlaufzahl	142
9.4.2	Materialeffizienz	143
9.4.3	Rückläufe und Materialverluste	145
9.4.4	Reparierbarkeit	146
9.4.5	Rezyklierbarkeit	147
9.4.6	Recyclingquote	148

9.4.7	Rezyklatanteil	150
9.4.8	Flächenbedarf und Modularität	151
9.4.9	Volumenreduzierbarkeit	152
9.4.10	Produktschutz	153
9.4.11	Digitalisierbarkeit	153
9.4.12	Transportaufwand	155
9.4.13	Treibhausgasemissionen	156
9.4.14	Kumulierter Energieaufwand	160
9.4.15	Relative Wirtschaftlichkeit	162
9.4.16	Technologische Souveränität	164
10	Literaturverzeichnis	165

1 Zusammenfassung

1.1 Warum diese Studie?

Im europäischen und deutschen Abfallrecht spielt die Abfallhierarchie eine besondere Rolle. Sie definiert eine Rangfolge bei der Erzeugung und dem Umgang mit Abfällen. Eine Abfallhierarchie ist aber nur dann sinnvoll, wenn mit den Praktiken, die einer Stufe zugeordnet werden, Vorteile gegenüber den Praktiken der nachgeordneten Stufen verbunden sind. Die Abfallhierarchie priorisiert daher die wahrscheinlich sinnvollereren über die weniger sinnvollen Optionen und bietet somit eine Art Kompass. Für die Einhaltung der Abfallhierarchie muss sich das politische Handeln stärker als bisher daran orientieren, geeignete Anreizsysteme müssen geschaffen und ihre Missachtung muss sanktioniert werden.

Wirtschaftliches Handeln, das eine Abweichung von der Abfallhierarchie darstellt, muss begründet werden und darf nur auf Basis klar definierter Bedingungen, wie in § 6 (2) des Kreislaufwirtschaftsgesetzes gefordert, möglich sein.¹ Ein entsprechendes Beispiel stellt die Heizwertklausel dar, die bis zum Jahr 2017 für hochkalorische Abfälle eine energetische Verwertung als Alternative zur werkstofflichen Verwertung ermöglichte. Die Heizwertklausel ist inzwischen aus guten Gründen weggefallen, sie hat auch den Weg in die Kreislaufwirtschaft kaum befördert.

Die Mehrfachnutzung von Verpackungen stellt aus Sicht von Kreislaufwirtschaftsgesetz und europäischer Abfallrahmenrichtlinie eine wichtige Strategie zur Abfallvermeidung dar und rangiert daher auf der obersten Stufe der Abfallhierarchie. Das Recycling ist dem nachgelagert und rangiert erst auf der dritten Stufe. Dies ist auch insofern verständlich, als dass sich eine mehrfach genutzte Verpackung zwar am Lebensende noch rezyklieren lässt, nicht aber umgekehrt.

Trotz der Tatsache, dass der Mehrfachnutzung also eigentlich ein Primat zufallen sollte, wird sie in nachgeordneten Verordnungen, Richtlinien, bis hin zu Normen und Umweltzeichen im besten Fall als Alternative erwähnt. Häufig wird diese Alternative auch noch auf bestimmte Anwendungsbereiche beschränkt. Sofern das Primat des Mehrweg bspw. in Quoten adressiert wird, findet bisher keine angemessene Umsetzung der regulatorischen Vorgaben statt.

Der vorliegende Bericht stellt den Beginn einer Reihe von Analysen und Bewertungen kunststoffbasierter Mehrwegsysteme im Vergleich zu ihren Einwegkonkurrenten dar. Zunächst wurden drei Mehrwegsysteme analysiert und gezeigt, ob und unter welchen Bedingungen sie gegenüber Einwegsystemen im Vorteil sind. Weitere Mehrwegdemonstratoren sind für die Zukunft geplant. Aus den Einzelfallanalysen anhand einer Vielzahl von Bewertungskategorien

¹ Dies können bspw. Nachweise einer verbesserten ökologischen Performance oder Aspekte der Lebensmittelsicherheit sein.

sollten anhand einer Vielzahl von Bewertungskategorien soweit möglich verallgemeinerbare Schlüsse gezogen werden.

Aus Sicht der Autoren sprechen die Ergebnisse bereits jetzt dafür, die Abfallhierarchie und damit das Primat der Mehrwegsysteme konsequent umzusetzen, Bedingungen für ein Abweichen von der Abfallhierarchie zu formulieren und bestehende Abweichungen zu hinterfragen. Ein entsprechendes Vorgehen könnte die Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft beschleunigen und Umweltwirkungen von Verpackungen reduzieren. Darüber hinaus ließen sich bei den Mehrwegsystemen durch eine stärkere Verbreitung bestehende Optimierungspotenziale aktivieren.

Green Deal und Taxonomie zeigen den politischen Willen der EU deutlich. Es geht auch darum, die nachhaltigen Mehrweglösungen gegenüber Einweglösungen wirtschaftlich für die handelnden Unternehmen attraktiv zu gestalten. Das Umlenken von Kapitalströmen durch Kopplung an belastbare Nachhaltigkeitskriterien, wie in der Taxonomie vorgesehen, ist dafür ein geeignetes Mittel. Die sinnvolle Abstimmung von Rezyklateinsatzquoten (> 90 Prozent) bei der Produktion und Mindestumlaufzahlen für Mehrwegsysteme (> 10), wie es derzeit in den Expertengremien zur Taxonomie-Verordnung diskutiert wird, scheint dazu geeignet.

1.2 Drei wichtige Mehrwegsysteme im Blick

Die Studie analysiert die drei Anwendungsbeispiele Steigen, Pflanzentrays und Coffee-to-go-Becher. Während Mehrwegsteigen bereits etabliert sind, befinden sich Mehrwegbecher in der Einführungsphase und Mehrwegpflanzentrays in der Vorbereitung für einen großflächigen Einsatz. Die Steigen sind ein Verpackungssystem für den Handel, die Becher sind zur Abgabe an den Endkonsumenten gedacht, für die Pflanzentrays ist beides denkbar.

Die vorliegende Untersuchung fokussiert mit den drei gewählten Demonstratoren ausschließlich Kunststoffsysteme für Mehrwegverpackungen. Aus Sicht der Auftraggeber und Autoren war dies sinnvoll, da die Eigenschaften der Kunststoffe – langlebig, inert und leicht – sie im besonderen Maße für Mehrwegsysteme empfehlen.

Abbildung 1:
Mehrweglösungen für
Steige, Becher und Tray



1.3 Leistungsfähigkeit kunststoffbasierter Mehrwegsysteme²

Die Leistungsfähigkeit von kunststoffbasierten Verpackungssystemen lässt sich anhand einer Vielzahl von Kriterien bewerten. Dieser Kriteriensatz kann kaum abschließend sein, da die Auswahl anwendungsspezifisch getroffen werden sollte und auch durch Einstellungen und Überzeugungen der Bewertenden beeinflusst ist. Wir haben uns im Rahmen dieser Studie vor allem auf solche Aspekte konzentriert, die wir für eine moderne, nachhaltigkeitsorientierte und souveräne Unternehmensführung im Einklang mit den regulatorischen Entwicklungen zu Klimawandel und Kreislaufwirtschaft für besonders relevant halten.

Dabei sehen wir Aspekte der Zirkularität (Kreislaufführung) als wichtigen Wegbereiter (Enabler) für eine positive Performance in der Anwendung und verbesserter Nachhaltigkeitswirkungen für Umwelt und Gesellschaft. Im Folgenden fassen wir die für die drei Demonstratoren in den analysierten Kategorien erzielten Ergebnisse zusammen und ziehen soweit möglich allgemeine Schlüsse für den Vergleich von Mehrweg- zu Einwegverpackungen.

Zirkularität

Die **Umlaufzahl** ist die wichtigste Größe zur Beschreibung der Leistungsfähigkeit von Mehrwegsystemen. Unsere Recherchen haben ergeben, dass in etablierten B2B-Systemen, wie den Steigen aus Kunststoff, Umlaufzahlen über 100 erreicht werden. Entsprechende Werte sollten auch für Pflanzentrays möglich sein. Erste Erfahrungen mit Mehrwegbechern inklusive Untersuchungen zu Ihrer Spülbarkeit und der zu erwartenden kurzen Umschlagzeiten lassen Umlaufzahlen von 85 erwarten.

Mehrwegsysteme besitzen eine hohe **Materialeffizienz**. Bereits ab einer Umlaufzahl von 5 ist der Materialeinsatz deutlich geringer als bei den konkurrierenden Einwegsystemen. Bei hohen, aber in der Praxis erreichbaren Umlaufzahlen über 50 lassen sich Materialverbräuche für die Verpackung von unter einem Gramm pro Liter Füllgut und Nutzung realisieren. Ein Wert, der für Einwegsysteme kaum erreichbar ist. Zukünftige steigende Umlaufzahlen werden die Materialeffizienz der Mehrwegsysteme weiter steigen lassen.

Die **Rücklaufquote** bestimmt, wie hoch der Anteil ist, der einer stofflichen Verwertung zugeführt werden kann – unabhängig davon, ob es sich um Reuse oder Recycling handelt. Mehrwegsysteme erreichen leicht Werte von über 90 Prozent, etablierte Systeme sogar über 99 Prozent.³ Solch hohe Rücklaufquoten sind für Einwegsysteme nicht erreichbar. Selbst Kartonsteigen, für welche die werkstoffliche Verwertung über den Altpapierweg etabliert ist, erreichen im besten Fall einen Wert von 87 Prozent. Einwegpflanzentrays erreichen über eine teilweise vorhandene branchenbezogene Rückfuhrlogistik eine Rücklaufquote von 55 Prozent. Für Einwegbecher aus Papier wird ein Wert von maximal 57 Prozent angenommen, da ein großer Teil dieser To-go-Verpackungen über

² Details, Berechnungen sowie Informationen zu den verwendeten Quellen finden sich in den Kapiteln, in denen die einzelnen Kategorien und Demonstratoren detailliert behandelt werden. Hier wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit auf die Wiederholung verzichtet.

³ Beschädigte und aussortierte Kisten senken die Rücklaufquote nicht, sondern nur der Schwundanteil, siehe Kapitel 5.3.

öffentliche Abfalleimer der thermischen Verwertung zugeführt wird und damit für eine stoffliche Verwertung verloren ist.

Bei Verpackungen ist die **Reparierbarkeit** in der Regel nicht vorgesehen. Nichtsdestotrotz gibt es aber über die Kreislaufführung des Verpackungssystems einen permanenten Informationsrückfluss zu Schwächen der Verpackung, die mittelfristig auch zu einem Re-Design führen können, welches austauschbare Komponenten und damit eine Reparatur vorsieht. Dies ist bei den Mehrwegsteigen der Fall und für die Mehrwegpflanzentrays und Mehrwegbecher langfristig denkbar. Einwegsysteme werden hingegen immer nicht reparierbar ausgeführt.

Die im Rahmen dieser Studie betrachteten Mehrwegsysteme werden aus sehr gut rezyklierbaren Monomaterialien, in der Regel Polyethylen oder Polypropylen, gefertigt. Dies gilt sowohl in Bezug auf die prinzipielle **Rezyklierbarkeit** dieser thermoplastischen Kunststoffe als auch auf die praktische Rezyklierbarkeit, da Recyclingtechnologien und -infrastruktur für die Wiederaufarbeitung dieser Kunststoffe in Deutschland und Europa zum Stand der Technik gehören. Einwegsysteme sind in der Regel aus den gleichen Kunststoffen oder Papier, Pappe oder Karton gefertigt und daher ebenfalls gut rezyklierbar. Eine Ausnahme stellen die Einwegpflanzentrays aus Polystyrol dar, deren praktische Rezyklierbarkeit aufgrund zurückgehender Mengen in den letzten Jahren schlechter eingestuft werden muss.

Dementsprechend werden Mehrwegverpackungen, die im Rahmen der Umlaufsysteme wegen Beschädigungen oder Verschleiß ausgesondert werden, in der Regel auch werkstofflich rezykliert. Die angegebenen **Recyclingquoten** der betrachteten Beispiele liegen bei über 80 Prozent. Bei den Einwegsystemen aus Papier, Pappe, Karton (Einwegsteige, Einwegbecher) werden ebenfalls Werte über 80 Prozent erreicht. Die Einwegpflanzentrays bleiben demgegenüber mit einer Recyclingquote von nur etwa 50 Prozent zurück.

Beim Einsatz von Rezyklaten zeigt sich bei der Herstellung der Mehrwegverpackungen aktuell noch ein differenziertes Bild: Mehrwegpflanzentrays werden nahezu vollständig aus Rezyklat gefertigt, für Mehrwegsteigen werden **Rezyklatanteile** von null bis siebenzig, im Mittel knapp zwanzig Prozent angegeben, und bei Mehrwegbechern ist ein noch geringerer Rezyklatanteil zu verzeichnen. Als Grund für den geringen Rezyklateinsatz bei Steigen und Bechern werden die Vorschriften an Materialien für den Lebensmittelkontakt angegeben. Bei den Einwegsystemen erreichen die Steigen Rezyklatanteile von über 83 Prozent, bei den Pflanzentrays ist der Rezyklatanteil herstellerabhängig und wird im Mittel 50 Prozent nicht übersteigen, kann aber in Einzelfällen bis zu 100 % erreichen. Einwegbecher werden aus funktionalen Gründen nicht aus Sekundärmaterial hergestellt.

Kunststoffemissionen finden als Folge von Verschleiß und Abrieb sowie Littering statt. Befandete Systeme werden in der Regel nur wenig gelittert und oft schnell wieder eingesammelt, um das Pfand einzulösen. Dennoch können Mehrwegsteigen und Mehrwegpflanzentrays, die mechanisch hoch belastet

werden, Verschleiß aufweisen, sodass geringfügige Emissionen auftreten. Einwegtrays sind deutlich weniger stabil ausgeführt als Mehrwegtrays. Beschädigungen, Bruch und Verschleiß und in deren Folge auch Littering sind daher wahrscheinlicher. Bei den Einwegsteigen aus Karton ist zwar der Karton selbst gut abbaubar, sodass Littering und Abrasion nicht so kritisch sind. In vielen Fällen weisen die Kartons aber polymere Druckfarben, Kleber, Klebebänder oder Schnüre auf, die als Kunststoffemission gewertet werden müssen. Mehrwegbecher dürften nach ihrer flächendeckenden Einführung aufgrund des Pfands kaum gelittert werden, und auch Abrieb ist kaum zu erwarten. Aus der Sicht der Vermeidung von Kunststoffemissionen wäre eine Rückgabemöglichkeit auch bei beschädigtem Becher wichtig. Einwegbecher sind ein klassisches Top-Litter-Objekt, das bei Clean-ups in großen Mengen gefunden wird. Da die Becher zumindest mit Kunststoff beschichtet sind, führt dies zu Emissionen.

Performance

Verpackungssysteme müssen in ihren Außenmaßen möglichst standardisiert und passfähig zu Lager- und Transportsystemen sein – sie müssen eine hohe **Modularität** aufweisen. Diese Modularität sehen wir vor allem bei den Mehrwegsystemen, die sich in der Regel parallel zu den Transportsystemen entwickelt haben. Einwegsysteme schneiden hier durch Individualisierung und Ausdifferenzierung – nicht selten aufgrund von Wettbewerbsdruck – in der Regel schlechter ab. Bei den Bechern erkennen wir in Bezug auf die Modularität aber noch keine Vorteile der Mehrweg- gegenüber der Einweglösung.

Die **Volumenreduzierbarkeit**, vor allem beim Leertransport und bei Entsorgung, ist von großer Bedeutung für effiziente Lager- und Transportprozesse. Moderne Mehrwegsysteme haben hier durch schlanke Bauweisen, Nestfähigkeit oder Klappbarkeit deutliche Zugewinne gegenüber den ersten früher verbreiteten Varianten erfahren. Bei den Steigen liegen daher Einweg- und Mehrwegsysteme bereits gleich auf. Bei den Pflanzentrays und Bechern, bei denen Mehrweglösungen noch keine so lange Historie haben und noch nicht so weit verbreitet sind, zeigen sich die Einwegsysteme in Bezug auf die Volumenreduzierbarkeit heute noch überlegen.

Der **Produktschutz** ist eine der wesentlichen Verpackungsfunktionen. Mehrwegsysteme erlauben aufgrund des höheren Materialeinsatzes robustere Ausführungen, die die Stapelbarkeit erhöhen und den Bruch bei Transport und Handling reduzieren. Diese Vorteile zeigen sich vor allem bei den Steigen und Coffee-to-go-Bechern. Bei diesen ist die Bruchquote der Mehrwegverpackungen etwa fünf- bis zehnmals niedriger als bei den Einwegverpackungen. Bei den Bechern ist der Produktschutz auch eng gekoppelt mit dem Schutz vor Verbrühungen – ein wichtiger Aspekt zugunsten des Mehrwegsystems. Hinsichtlich der Pflanzentrays sehen wir heute noch Vorteile bei den Einwegsystemen, die durch eine hohe Produktvielfalt eine perfekte Anpassung an Pflanze oder Pflanztopf ermöglichen. Entsprechend adaptiver Mehrwegsysteme sind in der Entwicklung ihre Einführung steht aber noch aus.

Ob eine Verpackung eine hohe **Digitalisierbarkeit** aufweist, hängt einerseits davon ab, ob die Kosten für optische Codes oder Funketiketten ins Gewicht fallen und andererseits, ob eine lebenszyklusweite Informationsweitergabe möglich ist. Letzteres ist insbesondere bei einer zerstörungsfreien Kreislaufführung gegeben. Dies ist bei allen untersuchten Mehrwegsystemen der Fall. Bei den Einwegsteigen sind optische Codes (Barcode, QR-Code) heute ebenfalls verbreitet. Aufwendigere Funketiketten für die Pulkerfassung oder sogar Indikatoren, um den Produktzustand zu erfassen, erscheinen hingegen für alle Einwegsysteme ausgeschlossen. Eine anspruchsvolle und gleichzeitig umweltverträgliche Erweiterung der Verpackungsfunktionalitäten darf daher vor allem im Mehrwegsystem erwartet werden.

Der **Transportaufwand** ist ein wichtiges Kriterium zur vergleichenden Bewertung von Verpackungssystemen. Die Transportentfernung ist dabei, neben Verpackungsvolumen und -gewicht, die zentrale Größe. Häufig werden den Mehrwegsystemen per se höhere Transportentfernungen zugeschrieben. Unsere Analyse zeigt aber, dass sich die Situation bei Berücksichtigung der Transportentfernung für die Herstellung und Entsorgung bei Einwegverpackungen anders darstellt. Sowohl bei Steigen als auch Pflanzentrays zeigen sich mit Transportentfernungen von 250 bis 500 Kilometern pro Nutzung deutlich geringere Transportentfernungen als bei den konkurrierenden Einwegsystemen, die selbst im optimierten Zustand Transportentfernungen von 500 bis 1000 Kilometern erfordern. Hierbei ist noch nicht berücksichtigt, dass Mehrwegsysteme ggf. auch grundsätzlich eine stärkere Regionalisierung des Wirtschaftens vorantreiben.

Nachhaltigkeit

Der Indikator **Treibhausgasemissionen** ist die derzeit am häufigsten diskutierte Wirkungskategorie zur Bewertung der Umweltwirkungen. Da es sich um eine outputbezogene Wirkungskategorie handelt, ergibt sich der Wert für die Treibhausgasemissionen u. a. auch aus der Performance und der Kreislaufführung der einzelnen Verpackungssysteme. Die untersuchten kunststoffbasierten Mehrwegsysteme zeigen insgesamt niedrigere Treibhausgasemissionen pro Serviceeinheit,⁴ d. h. sie schneiden insgesamt besser ab als die jeweiligen Einwegsysteme aus unterschiedlichen Materialien. Entscheidend für die Vorteilhaftigkeit eines Mehrwegsystems waren in allen Fällen vor allem die Umlaufzahl und die Distributionsstrukturen. Je höher die Umlaufzahl und je niedriger die Transportdistanzen, z. B. durch dezentrales Poolmanagement, desto besser stehen Mehrweg- gegenüber Einwegvarianten da.

Der **kumulierte Energieaufwand** ist eine wichtige Sachbilanzgröße und bildet die Summe des Primärenergieaufwands, der für ein Produkt oder eine Dienstleistung aufgewendet wurde. Analog zu den Treibhausgasemissionen wird auch diese Kategorie pro Serviceeinheit angegeben. Obwohl vor allem für Einwegsysteme aus Kartontage partiell ein relevanter Teil der Primärenergie am

⁴ Um Einweg- und Mehrwegsysteme zu vergleichen, ist die Serviceeinheit hier als ein Umlauf mit 1000 Liter Füllvolumen des verpackten Produkts festgelegt worden

Lebensende zurückgewonnen werden kann, schneidet der kumulierte Energieaufwand für alle untersuchten Mehrwegsysteme im Mittel besser ab als bei den Einwegsystemen. Das Ergebnis ist analog zu den Treibhausgasemissionen auch von den Umlaufzahlen und der Transportentfernung pro Serviceeinheit abhängig. Da die Produktion von Mehrwegsystemen in der Regel pro Stück einen höheren kumulierten Primärenergiebedarf hat, muss dieser Mehraufwand durch eine entsprechende Umlaufzahl kompensiert werden. Was aber in allen untersuchten Fällen deutlich gelang.

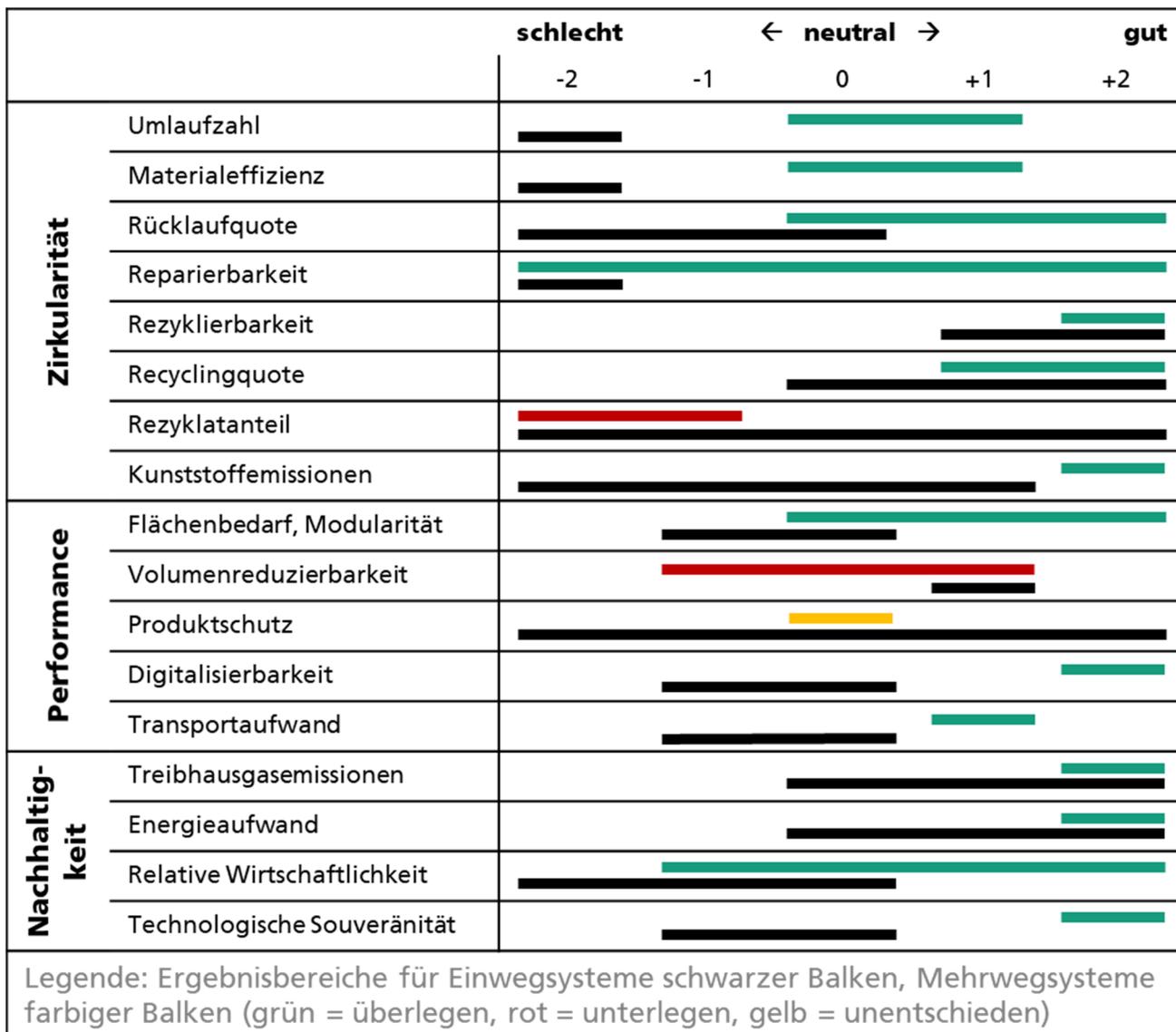
Mehrwegsysteme weisen bei vergleichbarem Transportaufwand wie die konkurrierenden Einwegsysteme eine verbesserte **relative Wirtschaftlichkeit** auf.⁵ In allen untersuchten Anwendungen waren die Mehrwegsysteme bereits ab 5 Umläufen konkurrenzfähig und bei 50 Umläufen klar im Vorteil. Für Mehrwegsysteme mit hohen Umlaufzahlen, wie sie für Steigen etabliert sind und für Pflanzentrays erwartet werden können, ergeben sich spezifische Lebenszykluskosten von weniger als 1 Cent pro Nutzung und Liter Füllgut (ohne Transport- und Lagerkosten). Für Einwegsysteme wie Steigen und Pflanzentrays liegen diese eher um 4 Cent pro Nutzung und Liter Füllgut, bei Einwegbechern sogar über 16 Cent pro Nutzung und Liter Füllgut.

Die Corona-Pandemie und die Russland-Ukraine-Krise haben deutlich gemacht, dass Rohstoffabhängigkeiten drastische Auswirkungen auf die Preisentwicklung und Verfügbarkeit von Rohstoffen, Werkstoffen und Vorprodukten haben. Das Konzept der **technologischen Souveränität** erfährt daher in Politik und Wirtschaft zunehmend an Bedeutung. Ein technisches System ist aus nationaler und unternehmerischer Perspektive umso unabhängiger, je weniger Komponenten aus der Vorkette importiert werden müssen. Für diese Studie wurde die Importunabhängigkeit beim wesentlichen Werkstoff für das Verpackungssystem als Indikator verwendet. Bei allen Mehrwegsystemen erreichte diese Werte von über 95 Prozent, da nur zur Deckung der Verluste ein geringer Teil importiert werden muss. Damit schneiden die Kunststoffmehrwegsysteme sogar deutlich besser ab als Papier und Kartonagen, obwohl die deutsche Papierindustrie große Anteile der Abfälle im Kreis führt und so eine hohe Importunabhängigkeit von 80 bis 90 Prozent bei Steigen und Coffee-to-go-Bechern erreicht. Die geringste Importunabhängigkeit sehen wir bei den Einwegpflanzentrays von nur ca. 71 Prozent. Mehrwegsysteme leisten daher auch einen wichtigen Beitrag zur technologischen Souveränität.

Insgesamt haben wir für die drei Demonstratoren 17 Kategorien betrachtet und dazu verfügbaren Daten aus Literatur und Experteninterviews ausgewertet sowie eigene Berechnungen durchgeführt. Bei 14 dieser Kategorien ergaben sich klare Vorteile für die untersuchten Mehrwegsysteme. In zwei Fällen sind die Einwegsysteme im Vorteil, in einer Kategorie ist das Ergebnis unentschieden. (Abbildung 2).

⁵ Zur spezifischen Definition der relativen Wirtschaftlichkeit in dieser Studie siehe Abschnitt 6.3.3

Abbildung 2: Vergleich der Bewertungsergebnisse in 17 Kategorien für die drei untersuchten Mehrweg- und Einwegsysteme (Steigen, Pflanzentrays, Coffee-to-go-Becher)



1.4 Empfehlungen

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass Mehrwegsysteme Vorteile gegenüber Einwegsystemen besitzen. Diese Erkenntnis leistet letztlich aber nicht mehr als die in der Abfallhierarchie bereits eingeflossene Erwartung, dass die Wiederverwendung durch Mehrwegsysteme die oberste und prioritäre Stufe im Umgang mit Abfällen darstellt, zu bestätigen. Umso mehr wundert es, dass Mehrwegverpackungen eher die Nische als die Norm darstellen. Die nachfolgenden Empfehlungen haben daher vor allem zwei Zielsetzungen:

1. Wege zur Umsetzung der Abfallhierarchie und damit einem Wandel zu mehr Mehrweg vorzuschlagen und

2. Optimierungspotenziale für Mehrwegsysteme aufzuzeigen, damit sie ihre bereits vorhandenen Vorteile gegenüber Einwegsystemen ausbauen und die in 2 von 15 untersuchten Kategorien noch vorhandenen Defizite beseitigen können.

Vor diesem Hintergrund geben die Autoren dieser Studie folgende Empfehlungen:

... für Verbände und Organisationen der Mehrwegbranche

- Verbände sollten Initiativen zur Schaffung (europäischer) Branchenlösungen vorantreiben, um Insellösungen einzelner Anbieter zu vermeiden.
- Mehrwegsysteme sollten, wo immer möglich, national und international standardisiert werden, um die logistischen Prozesse zu optimieren. Runde Tische und Normungsaktivitäten aller am Lebenszyklus einer Mehrwegverpackung mitwirkenden Akteure können dabei helfen. Bei der Standardisierung muss darauf geachtet werden, dass sie innovativ geschieht.
- Die Verbände der Mehrwegbranche sollten die Einführung großer Mehrwegsysteme, die ein Unternehmen und Wertschöpfungsstufen übergreifende Kooperation erfordern, unterstützen und koordinieren.
- Für einzelne Verpackungsanwendungen sollten Mehrwegreferenzen definiert und ihre Nachhaltigkeitsperformance bestimmt werden. An diesen Referenzen sollten sich alternative Mehrwegsysteme und Einwegverpackungen orientieren müssen.
- Label und Umweltkennzeichen sollten eine eindeutige Unterscheidung von Mehrwegverpackungen gegenüber bepfandeten und/oder rezyklatbasierten Einwegverpackungen ermöglichen. Ziel ist, den Konsumenten die qualitativen Unterschiede zwischen Wiederverwendung und Recycling transparent zu machen.
- Für vergleichende Ökobilanzen von Mehrweg- und Einwegverpackungen sind Standards und Regeln für die Ökobilanzierung zu entwickeln. (»Product Category Rules«, PCR), diese sind bspw. in der Baubranche bereits etabliert. Auf Basis dieser PCR könnte auch die Nachhaltigkeitsperformance der Mehrwegreferenz bewertet werden.

... für die Politik

- Die Fokussierung auf Recyclingquoten führt zu Downcycling, der Erfindung neuer Anwendungen für Rezyklate und übt nur geringen Druck auf ein recyclinggerechtes Produktdesign aus. Die Vorgaben für Recyclingquoten sollten daher aufgegeben und Rezyklatanteile in der Produk-

tion gefordert werden. Gleichzeitig zeigt der bisher erreicht Rezyklateinsatz in der Kunststoffproduktion (ca. 13,4 Prozent) sehr deutlich, dass eine Kreislaufwirtschaft der Kunststoffe ohne eine drastische Ausweitung von Mehrwegsystemen kaum darstellbar ist.⁶

- Eine pauschale Lenkungsabgabe auf Einwegsysteme, wie sie auch für Getränkeverpackungen gefordert wird, wäre eine Option um anspruchsvolle Mehrwegquoten zu erreichen. Eine Lenkungsabgabe verteuert die Einwegverpackungen und wirkt sich zugunsten von Mehrwegverpackungen aus. Die Lenkungsabgabe könnte aber auch den Umstieg auf billigere Einwegverpackungen oder Produkte zur Folge haben. Sie allein wäre daher vermutlich nicht ausreichend, um für alle denkbaren Verpackungsaufgaben einen Wandel in Richtung Mehrweg zu erreichen. Insbesondere sollten Maßnahmen in den Blick genommen werden, welche die ökologisch beste Lösung für die konkrete Verpackungsaufgabe exakter bewerten.
- Es ist daher notwendig, den Mindeststandard für die Recyclingfähigkeit von Einwegverpackungen um einen Nachweis zur ökologischen Vorteilhaftigkeit gegenüber einem konkurrierenden Mehrweg-Referenzsystem zu erweitern. Dies kann anhand von standardisierten Ökobilanzen (idealerweise basierend auf sogenannten Product Category Rules (PCR)) oder, wenn diese nicht vorliegen, anhand von einfachen Kategorien, wie sie im Rahmen dieser Studie entwickelt wurden, erfolgen (Material-effizienz, Rezyklatanteil, Kunststoffemissionen, Souveränität etc.). Für Einwegverpackungen, die sich als nachteilig gegenüber einer Mehrwegreferenz darstellen, sollte neben der bisherigen Lizenzgebühr ein Aufschlag erhoben werden, welcher die zusätzlichen Umweltkosten gegenüber einem Mehrwegsystem berücksichtigt. Diese sollte zugunsten der Weiterentwicklung und Verbreitung ökologisch vorteilhafter Mehrwegsysteme verwendet werden. Die Organisation und Kontrolle könnte die Zentrale Stelle Verpackungsregister übernehmen. Für Verpackungssysteme, die nicht der Beteiligungspflicht unterliegen, sind analoge Lösungen zu entwickeln.
- Eine spezifische Kunststoffsteuer, die anhand des nicht im Kreislauf geführten Anteils einer Verpackung adressiert, würde sich durchaus zugunsten der Mehrwegsysteme auswirken. Die derzeit praktizierte pauschale nationale Plastic Tax zur Finanzierung des EU-Haushalts ist hingegen zu unspezifisch. Sie führt letztlich zu höheren Kosten für alle Kunststoffe und unterscheidet nicht, ob die konkreten Anwendungen ökologisch vorteilhaft oder nachteilig sind. In Anbetracht der aktuellen und langfristig zu erwartenden Verteuerung fossiler Rohstoffe und ihrer möglichen Verknappung durch Sanktionen ist darüber hinaus fraglich, ob eine Steuer notwendig und sozialverträglich ist.
- Manche Mehrwegsysteme sind auch im internationalen Handel, z. B. zwischen der EU und Anrainerstaaten wie Großbritannien, der Schweiz

⁶ Dem Rezyklatanteil bei Einwegsystemen entspricht bei Mehrwegsystemen in etwa die Rücklaufquote. Letztere liegt deutlich höher.

und den Westbalkanstaaten, die nachhaltigere Alternative zu Einwegverpackungen. Die Gefahr besteht, dass die Mehrweg-Kunststoffprodukte bei jedem einzelnen Umlauf über Grenzen von Wirtschaftsräumen hinweg mit bereits eingeführten oder bald implementierten Kunststoffsteuern belastet werden. Die Gesetzgeber in Brüssel, den EU-Mitgliedsstaaten und auch bei Handelspartnern im Außenraum müssen Regelungen treffen, durch die solche, die Mehrwegsysteme belastenden Steuerzahlungen ausgeschlossen werden.

- Erforderlich ist, dass die im Rahmen der EU-Taxonomie notwendige delegierte Verordnung zur Kreislaufwirtschaft, die sich noch in der Vorbereitungsphase befindet, weitreichendere Regelungen für eine gelungene Kreislaufwirtschaft enthält.⁷ Dabei muss auch berücksichtigt werden, die nachhaltigen Mehrweglösungen gegenüber Einweglösungen wirtschaftlich für die handelnden Unternehmen attraktiv zu gestalten. Das Umlenken von Kapitalströmen durch Kopplung an belastbare Nachhaltigkeitskriterien, wie in der Taxonomie vorgesehen, ist dafür ein geeignetes Mittel. Die sinnvolle Abstimmung von Rezyklateinsatzquoten (> 90 Prozent) bei der Produktion und Mindestumlaufzahlen für Mehrwegsysteme (> 10), wie es derzeit in den Expertengremien zur Taxonomie-Verordnung diskutiert wird, sollten dazu umgesetzt werden.

...für die Hersteller von Mehrwegverpackungssystemen

- Eine Optimierung der Umlaufzahlen sollte eines der obersten Ziele bei der Produkt- und Systementwicklung sein. Als Zielgröße für Mehrwegsysteme ist ein Wert von 100 im Mittel anzustreben. Um die Umlaufzahlen zu erhöhen, sind bspw. Optimierungen der Bruchfestigkeit für klappbare Kisten sinnvoll. Hier könnten ggf. neue in Normen festgeschriebene Testverfahren helfen. Auch die Verbesserung der Kommunikation mit Anwendenden oder der Anreizsysteme, um den Schwund zu verringern, könnte Gegenstand von Optimierungen sein.
- Die Rezyklatanteile sollten dort, wo dies in Bezug auf die Lebensmittelsicherheit zulässig ist, erhöht werden, indem auch bei neuen oder wachsenden Pools Sekundärrohstoffe aus anderen Anwendungen eingesetzt werden.
- Werkstoffe (Kunststoffe und Additive) verschiedener Hersteller sollten gemeinsam rezyklierbar sein. Nur für geschlossene Pools sollten individualisierte Werkstoffe verwendet werden. Bei der Verwendung von Additiven ist eine vorausschauende Planung notwendig, damit bei sich zukünftig ggf. weiter verschärfenden Umweltauflagen die Rezyklierbarkeit nicht gefährdet wird (vgl. Diskussion zu »legacy additives« wie bromierten Flammschutzmitteln in aktuell anfallenden Rezyklaten).

⁷ Ursprünglich war eine Veröffentlichung für den 31.12.2021 geplant, was aber bis zur Veröffentlichung dieser Studie noch nicht stattgefunden hat. Die gesamte Taxonomie inkl. der delegierten Verordnung zur Kreislaufwirtschaft soll bis 2023 in Kraft gesetzt sein.

- Wo möglich, sollten Monomateriallösungen verwendet werden. Verpackungen aus mehreren Materialien sollten im Verlauf des Recyclingprozesses problemlos in Monomaterialkomponenten zerlegbar sein.
- Intensive Anstrengungen zur Kompaktierbarkeit von Mehrwegverpackungen (durch Nestfähigkeit, Klappbarkeit etc.) sollten unternommen werden. Alles was es erlaubt, die Mehrwegverpackung leichter, kleiner und besser an das Füllgut adaptierbar zu machen, wirkt sich in vielen betrachteten Kategorien als Vorteil aus.
- Das Design von Mehrwegverpackungen sollte optimiert werden, um die Effizienz bei der Reinigung weiter zu steigern. Zu prüfen ist, ob eine zerstörungsfreie Auffrischung (bspw. durch Hochdruckimprägnierung) von Mehrwegverpackungen möglich ist, um Alterung oder alterungsbedingte Erscheinungen wie Ausbleichen oder Versprödung der Werkstoffe entgegenzuwirken und die Lebensdauer zu steigern.
- Die Potenziale der Digitalisierung sollten vor allem bei Verpackungen im B2C-Bereich noch weiter ausgeschöpft werden. Die Abtrennung der Kommunikationsfunktion von der eigentlichen Verpackung bietet ein großes Potenzial für neue intelligente Funktionen (Produktinformationen, Nutzungsverhalten, Rückgabeorte etc.).

...für die Betreiber von Pools

- Für jedes Mehrwegverpackungssystem sollte vor dessen Start eine Mindestumlaufzahl abgeschätzt werden, ab der mit großer Sicherheit eine ökologische Vorteilhaftigkeit gegenüber Einwegsystemen erreicht wird. Weiter ist dann zu prüfen, ob diese Umlaufzahl im Betrieb des Systems als realistisch erreichbar erscheint.
- Für jedes mengenmäßig relevante Mehrwegsystem sollte ein Monitoring installiert werden, bei dem regelmäßig und transparent über die durchschnittlich von einem Mehrwegsystem bis zum Ausscheiden durch Schwund oder Bruch erreichte Umlaufzahl berichtet wird. Ein Vergleich der Ist-Umlaufzahl mit der vorher kalkulierten Mindestumlaufzahl sollte transparent dargestellt werden und kann ggf. der regelmäßigen Kommunikation der Vorteile des Mehrwegsystems dienen.
- Reinigungstechnik und Mehrwegverpackungsdesign sollten aufeinander abgestimmt werden. Wo möglich, sollte vor einer Reinigung deren Notwendigkeit geprüft werden, um Ressourcen zu sparen.
- Durch den Einsatz von Digitalisierungsmöglichkeiten soll eine höhere Umschlagzahl für die Systeme erreicht werden. Damit wird die Effizienz der Systeme weiter gesteigert.

1.5 Fünfzehn Fragen und Antworten

Im Folgenden haben wir fünfzehn Fragen, die häufig an Mehrweglösungen gerichtet werden, und die aus Sicht der Autoren richtigen Antworten auf diese Fragen zusammengestellt. Diese FAQ sollen denjenigen, die am Thema interessiert sind, die aber nicht den vollständigen Bericht durcharbeiten wollen, einen schnellen Überblick und einen einfachen Einstieg in die Thematik ermöglichen.

1 **Wissenschaftliche Politikberatung: Eignen sich Studien zu den Umweltwirkungen einzelner Verpackungslösungen überhaupt als Orientierungshilfe?**

Keine Studie kann alle möglichen Anwendungsfälle umfassen und damit ein für alle Mal Klarheit schaffen, was zu tun ist. Da macht auch diese Studie keine Ausnahme. Nichtsdestotrotz ist es notwendig, für politische Prozesse, Unternehmensstrategien oder Konsumentenverhalten allgemeine Empfehlungen zu geben, die das Handeln anleiten. Die vorliegende Studie zeigt, dass Mehrwegverpackungen in vielerlei Hinsicht Vorteile besitzen. Unseres Erachtens sollten sie daher die Standardlösung sein. Aber auch für Einweglösungen wird es sinnvolle Einsatzgebiete geben, diese müssten aus unserer Sicht aber den politischen und rechtlichen Vorgaben folgend im Einzelfall durch den Nachweis ihrer Vorteilhaftigkeit legitimiert werden.

2 **Circular Economy: Wie lässt sie sich besser realisieren mit Recycling oder Mehrweg?**

Die Frage unterstellt, dass es sich bei Recycling und Re-use (Mehrweg) um sich ausschließende Alternativen handelt. Diese Sichtweise ist etabliert, aus unserer Sicht aber falsch. Eine Circular Economy, die den Namen verdient, verlangt die Kombination beider Strategien. Nur dann können der Bedarf an Neumaterial und die damit verbundenen negativen Umweltwirkungen deutlich reduziert werden. Dies bedeutet allerdings auch, dass, wo immer sinnvoll⁸, der Vorrang bei der zerstörungsfreien Mehrfachverwendung liegen muss, an deren Ende sich dann erst ein werkstoffliches Recycling anschließt. Das umgekehrte Vorgehen ist verständlicherweise nicht möglich. Bis heute ist das Primat der Mehrweglösungen, trotz Festschreibung in der Abfallhierarchie im Kreislaufwirtschaftsgesetz, im Verpackungsgesetz aber nicht umgesetzt. Einzig für Getränkeverpackungen und Serviceverpackungen werden Vorgaben für eine Quote gemacht, die aber wenig verbindlich und ohne den notwendigen Vollzug als wirkungslos bewertet werden müssen.

3 **Neue Mehrwegsysteme: Welche Herausforderungen gibt es bei ihrer Einführung?**

Die Einführung von Mehrwegsystemen ist in der Tat aufwendig. Damit sie funktionieren, müssen sie eine gewisse Größe erreichen. Es müssen ausreichend Lagerflächen, Rückgabestellen (ggf. auch Pfandautomaten), Reinigungs-

⁸ Als einschränkend sind bspw. Hygieneanforderungen oder Transportentfernungen zu benennen.

kapazitäten und logistische Prozesse aufgebaut werden, damit das System gegenüber der Einwegkonkurrenz attraktiv ist. Der Aufbau ist daher in der Regel ein Unternehmen und Wertschöpfungsketten übergreifender Prozess, der auch unter wettbewerbs- und kartellrechtlichen Bedingungen herausfordernd ist. Hier sind daher Verbände und die Politik gefragt, geeignete Rahmenbedingungen zu schaffen und Prozesse zu organisieren, die den Aufbau der Systeme ermöglichen. Die Erkenntnis, dass solche komplexen Systeme nicht durch den Markt allein realisiert werden können, setzt sich aber in Politik und Wirtschaft zunehmend durch. Eine aktive Förderung durch Forschungsprogramme und Förderung nachhaltiger Investitionen ist daher erforderlich.

4 Rücktransport: Führen Mehrwegsysteme nicht zu einem hohen logistischen Aufwand?

Mehrwegsysteme müssen nach einem Reinigungsschritt zurück zum Befüllen geliefert werden. Unterstellt man eine Kreislaufwirtschaft, so gilt dies aber vollumfänglich auch für Einwegsysteme. Auch Rezyklate müssen gereinigt und zum Kunststoffverarbeiter zurückgeführt werden. Nachteilig wirkt sich bei Mehrwegsystemen das höhere Verpackungsgewicht und gelegentlich auch das größere Volumen aus, das transportiert werden muss. Durch faltbare oder nestbare sowie gewichtsoptimierte Mehrwegverpackungen sind hier bereits deutliche Optimierungen erreicht und noch weitere möglich. Darüber hinaus verstärken Mehrwegsysteme die Tendenz zu regionalem Wirtschaften, sodass die Lieferketten insgesamt sogar kürzer sein können, als bei den Einwegalternativen. Einwegsysteme führen außerdem naturgemäß zu Leertransporten, insbesondere bei der Abfallentsorgung. Der oft behauptete Transportvorteil von Einwegverpackungen ist in seiner Pauschalität unbegründet und nicht haltbar.

5 Pfand: Muss es wehtun, damit Mehrwegsysteme vorteilhaft sind?

Je höher das Pfand, desto höher die Rücklaufquote, was wiederum die Umweltwirkungen einer Verpackung positiv beeinflusst. Naturgemäß gibt es aber Grenzen für die Akzeptanz hoher Pfandentgelte, da diese trotz Erstattung die Liquidität der Nutzenden verringern. Alternativ zum Pfand gibt es weitere Anreize oder (technologische) Möglichkeiten, die Rücklaufquoten zu steigern. Beispiele hierfür sind Monitoring und Tracking Software, die vor allem bei hochwertigen und langlebigen Mehrwegsystemen zum Einsatz kommen können. Gut funktionierende Beispiele gibt es hier im B2B-Sektor. Im Endkonsumentengeschäft existieren bereits erste pfandfreie Mehrwegverpackungen, bei denen sich die Anwenderinnen und Anwender über ein digitales Tracking zwischen den Optionen der kostenlosen Nutzung mit Rückgabe oder dem Kauf entscheiden können.

6 Innovation: Was gibt es Neues bei Mehrwegsystemen?

In Zukunft dürfen wir eine Vielzahl von neuen Mehrwegsystemen erwarten. Vor allem der Online-Handel und die Take-away-Branche könnten hier mit spannenden neuen Lösungen aufwarten. Notwendig wird allerdings sein, hier Rahmenbedingungen zu schaffen und Standardisierungen zu vereinbaren, um die ökologischen Potenziale der Mehrwegsysteme auszuschöpfen. Weitere

spannende Entwicklungen betreffen Lösungen wie »Refill on the go« und »Refill at home«, die Mehrwegsysteme im weiteren Sinne darstellen. Sie erfordern aber einen deutlichen Wandel beim Verhalten der Verbraucherinnen und Verbraucher. Bislang finden sie vor allem bei Kosmetik, Wasch-, Putz- und Reinigungsmitteln ihren Einsatz. Mehrwegsysteme bieten durch die enge Verzahnung von Verpackungssystem und Transportlogistik viel Optimierungspotenzial, das bei Einweg in diesem Maße nicht erkennbar ist.

7 Plastik-Littering: Können Mehrwegverpackungen die Menge an Plastikmüll in der Umwelt verringern?

Die Anreizsysteme für die Rückgabe von Mehrwegsystemen sind ein starkes Argument gegen das Littering. Im Gegensatz dazu gibt es bei beteiligungsentgeltbasierter Rückgabe für Einwegverpackungen keine wirtschaftlichen Anreize, die ein Littering verhindern. Die Entsorgung über die dualen Systeme oder die Umwelt ist letztlich kostenneutral für den Entsorgenden. Das Erheben von Bußgeldern für Littering und illegale Abfallentsorgung ist zwar flächendeckend und vollständig vorgesehen, aber kaum realisierbar. Natürlich könnten auch alle Einwegverpackungen, nicht nur die von Getränken, zusätzlich mit einem Pfand versehen werden. Die sonstigen Vorteile der Mehrwegsysteme könnten auf diese Weise aber nicht genutzt werden. Mehrweg ist der klare Weg aus einer Wegwerfgesellschaft!

8 Plastikfrei leben: Ist das notwendig und sinnvoll?

Verzicht ist ein notwendiger Bestandteil von Nachhaltigkeitsstrategien, auch wenn seine Umsetzung schwierig ist. Natürlich ist auch ein Verzicht auf Kunststoffverpackungen durchaus in einigen Bereichen denkbar und sinnvoll. Wenn der Kunststoff aber nur um des Ersatzes Willen durch andere Materialien substituiert wird, lohnt es sich, genauer hinzuschauen. Kunststoff ist leicht, haltbar und chemisch sehr inert. In vielen Fällen resultiert aus diesen Eigenschaften auch eine ökologische Vorteilhaftigkeit gegenüber anderen Verpackungsmaterialien. Mehrwegsysteme kombinieren einen teilweisen Verzicht auf Kunststoffe mit seinen ökologischen Vorteilen. Insbesondere das geringe Gewicht und die Haltbarkeit machen den Kunststoff für Mehrwegsysteme besonders attraktiv. Einwegsysteme können die ökologischen Potenziale des Kunststoffs aufgrund ihrer kurzen Lebenszeit hingegen nicht ausschöpfen.

9 Reparaturkultur: Lohnt es sich, Verpackungen zu reparieren?

Die meisten Verpackungen sind weder auf Langlebigkeit noch auf Reparierbarkeit ausgelegt. Sie haben der Idee einer Wegwerfgesellschaft damit deutlich Nahrung gegeben. Bei Mehrwegsystemen besteht hingegen ein intrinsisches Interesse der Systembetreiber an Robustheit und Austauschbarkeit defekter Komponenten. Bei Mehrwegverpackungen, die bereits lange in der Anwendung sind, ist die Reparatur bereits heute etabliert. Auch neue technische Lösungen zum Ausheilen von Rissen oder einer Verjüngung des Materials sind zukünftig denkbar. Weitere reparierbare Mehrwegsysteme könnten daher auch die Idee einer Reparaturkultur zum Aufschwung verhelfen. Dies ist ein erheblicher Beitrag zum Ressourcenschutz.

10 Klimawandel: Führen kunststoffbasierte Mehrwegsysteme zu geringeren Treibhausgasemissionen als Einweg?

Natürlich ist nicht in jedem Anwendungsfall jede Mehrwegverpackung der Einwegverpackung überlegen. Dennoch weist die Vielzahl der Ökobilanzen in den meisten, bislang untersuchten Anwendungsbereichen, vor allem für leichte kunststoffbasierte Mehrwegsysteme, Vorteile bei den Treibhausgasemissionen aus. Daher ist es sinnvoll, wenn beide Systeme existieren, zunächst die Nutzung leichter Mehrwegverpackungen als Handlungsmaxime festzulegen und nur im begründeten Einzelfall zum Einwegsystem zu greifen. Dies entspräche auch der in der Abfallhierarchie festgeschriebenen Grundidee.

11 Hygiene: Sind Mehrwegverpackungssysteme hier kritisch?

Die Nutzung von Mehrwegbechern, -behältnissen und -geschirr wurde in der Vergangenheit mehr nachgefragt. Dennoch gibt es auch gelegentlich Zweifel, aktuell durch die Corona-Pandemie bedingt verstärkt, ob Mehrwegsysteme aus hygienischer Sicht unbedenklich sind. Die lebensmittelrechtliche Konformität von Mehrwegverpackungssystemen aus Kunststoff ist wie bei jedem Verpackungsmaterial durch Vorschriften in Bezug auf Sicherheit und sensorische Aspekte sichergestellt. Damit die Hygienebestimmungen im Umgang mit Mehrwegverpackungen beachtet werden, existieren zudem Leitlinien, Merkblätter und Lehrvideos für alle in der Umlaufprozesskette beschäftigten. Aus diesen Gründen, und weil die verwendeten Kunststoffmaterialien über sehr gut zu reinigende Oberflächen verfügen, kann die Verwendung von Mehrwegverpackungen grundsätzlich als hygienisch unbedenklich angesehen werden. Darüber hinaus sind Kreislauf und Reinigungsprozess bei Mehrwegverpackungen deutlich definierter und besser nachvollziehbar als das Recycling von Einwegsystemen.

12 Individualismus ade: Fehlt es Mehrwegsystemen und großen Poollösungen an Einzigartigkeit?

Die Differenzierung im Wettbewerb erfordert immer wieder neue individuelle Designs und Funktionen auch im Verpackungssektor. Wenn dies bei Mehrwegsystemen versucht wird, kann es zu Problemen in der Rückführlogistik führen und die Vorteile der Mehrwegsysteme verspielen. Dies wird aktuell beispielsweise in der Getränkeindustrie diskutiert, wo auch im Mehrwegbereich Sonderflaschen eingesetzt wurden, die über weite Wege zur Befüllung zurückgeführt werden müssen. Es stellt sich allerdings die Frage, ob die Individualisierung über die Verpackung noch zeitgemäß ist. Neue Möglichkeiten der Digitalisierung erlauben die virtuelle Erweiterung der Verpackung mit zusätzlichen Funktionen und Nutzen für die anwendenden Personen. Hier haben die Mehrwegverpackungen, bei denen sich über die hohen Umlauffzahlen und die zerstörungsfreie Kreislaufführung Funketiketten, Sensorik und User-Interfaces ökologisch und ökonomisch rechnen, deutlich Vorteile gegenüber Einwegverpackungen. Neue, spannende Anwendungsbeispiele könnten hier in den kommenden Jahren zeigen, was Mehrwegverpackungen leisten.

13 Erweiterte Herstellerverantwortung: Sind Mehrwegsysteme die beste Antwort?

Mehrwegsysteme erfordern per Definition eine Rücknahme durch den Poolbetreiber oder Inverkehrbringer. Insbesondere in Bezug auf illegale oder unregelmäßige Praktiken beim End-of-Life sind die zur Sicherstellung der Kreislaufführung eingesetzten Anreizsysteme (Pfand, Miete) besonders leistungsfähig. Hersteller und Poolbetreiber gestalten aus Eigeninteresse ihre Verpackungen und Systeme so, dass sie lange und verlustfrei den Kreislauf aufrechterhalten können. Kreisläufe, die auf Recycling basieren und bei denen Rezyklate nur selten in die gleiche Anwendung und noch seltener zum gleichen Hersteller zurückgelangen, erreichen ein solch hohes Maß an Verantwortlichkeit nicht. Bei Einwegsystemen besteht eher die Tendenz zu »Aus den Augen, aus dem Sinn«.

14 Abhängigkeit vom Rohöl: Erhöhen kunststoffbasierte Mehrwegverpackungen nicht unsere Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen?

Mehrwegsysteme erhöhen den Bestand der anthropogen gelagerten Werkstoffmenge in rohstoffarmen Nationen wie Deutschland. Sie gleichen somit die ungleich verteilten natürlichen Ressourcen in Richtung des Bedarfs aus und reduzieren so die Abhängigkeit von Importen und die Risiken von Handelshemmnissen. Letztlich kann der Aufbau anthropogener Lager durch Mehrwegsysteme zu einer größeren technologischen Souveränität auch im Verpackungssektor führen. Anlagenstilllegungen (»Force Majeure«) bei Kunststoffherstellern, die immer häufiger gemeldet werden, würden Mehrwegsysteme kaum treffen.

15 Umlaufzahlen: Wie viele Einwegverpackungen ersetzen Mehrwegsysteme?

Eine Antwort auf diese Frage ist prinzipiell abhängig vom genutzten System. Bei allen drei untersuchten Demonstratoren in dieser Studie – Mehrwegsteigen, Mehrwegpflanzentrays und Mehrwegbecher – sind 70 bis 100 Umläufe realistisch. Damit ersetzen sie während eines ihrer Lebenszyklen also bereits die Herstellung von 70 bis 100 Einwegverpackungen. Bei diesen Umlaufzahlen sind Mehrwegsysteme in nahezu allen ökonomischen und ökologischen Kriterien gegenüber den Einwegsystemen deutlich im Vorteil. Am Lebensende können sie zusätzlich mit der sehr guten Rezyklierbarkeit ihres Materials punkten. Bei Einwegsystemen findet eine geschlossene Kreislaufführung nur in Ausnahmen (z. B. bei bepfandeten PET-Einwegflaschen) statt. Stattdessen muss der Kunststoff der meisten Einwegverpackungen aus einer weitgehend undefinierten und zudem mit Produktresten verschmutzten Abfallmischfraktion (»Gelber Sack«) recycelt werden. Die daraus erzeugten Rezyklate eignen sich kaum für den gleichen Verwendungszweck, insbesondere im Lebensmittelbereich. Bei den Mehrwegsystemen existiert am Ende eines ersten Lebenszyklus, wenn eine Mehrwegverpackung beispielsweise wegen irreparabler Beschädigungen aussortiert werden muss, ein definiertes Material. Dessen Verwendung ist über den gesamten Lebenszyklus gut dokumentiert und dessen stoffliche Zusammensetzung ist bekannt. Das daraus hergestellte Rezyklat ist daher die ideale Ausgangsbasis für weitere Lebenszyklen mit weiteren jeweils 70 bis 100 Umläufen.

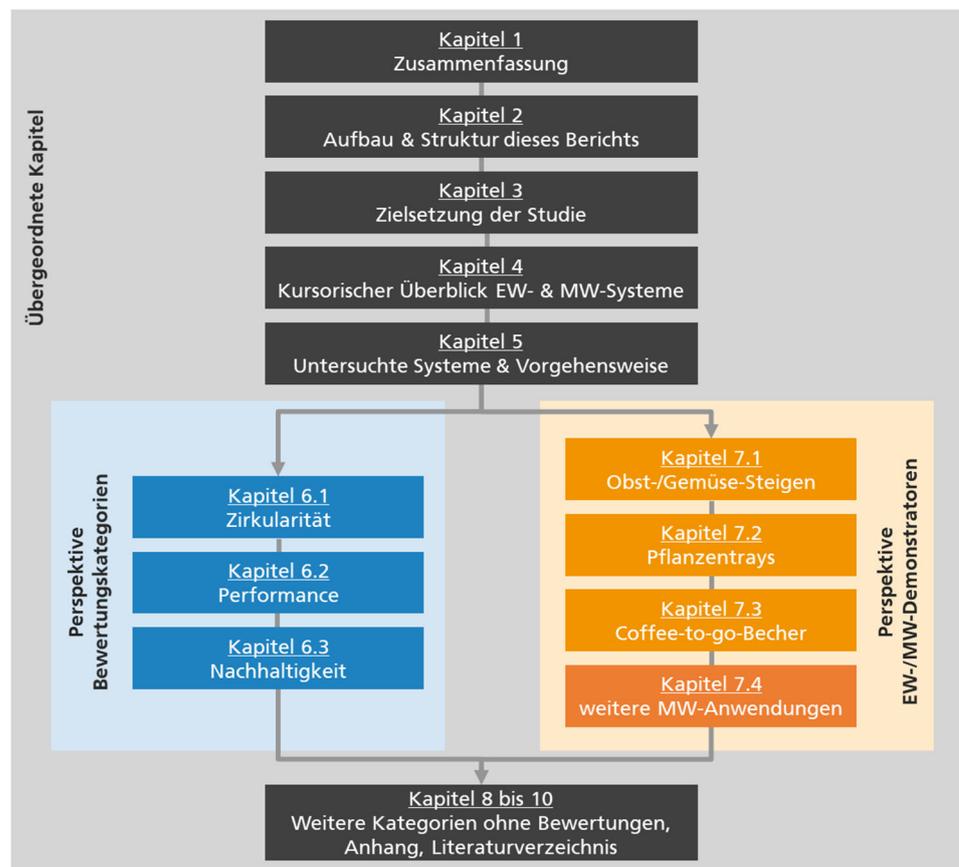
2 Aufbau und Struktur dieses Berichts

Einführend werden übergeordnete Themen wie die Zielsetzung der Studie (Kapitel 2), ein erster kursorischer Überblick über Einweg- und Mehrwegsysteme (Kapitel 4) sowie die untersuchten Systeme im Speziellen (Kapitel 5) kurz behandelt. Darauf folgen zwei parallele Stränge:

- Die in der Studie gewählten 17 **Bewertungskategorien** werden in Kapitel 5.2 methodisch vorgestellt. Die Resultate unserer Bewertungen der gewählten drei Demonstratoren Obst- und Gemüsesteigen, Pflanzentrays und Coffee-to-go-Becher werden in Kapitel 6 präsentiert.
- Die Ergebnisse der einzelnen **Einweg- und Mehrwegdemonstratoren** sind in Kapitel 7 dargestellt. Nach einer kurzen Beschreibung der Anwendung wird der Status der jeweiligen Einweg- und Mehrweglösung skizziert. Anschließend werden die Bewertungsergebnisse zusammenfassend je Demonstrator präsentiert.

Den aufgeführten Kapiteln ist eine Zusammenfassung inkl. eines Frage-Antwort-Kataloges vorangestellt (Kapitel 1).

Abbildung 3:
Struktur der Studie



3 Zielsetzung der Studie

Ziel der Studie ist, einen wissenschaftlichen Beitrag zur Bewertung kunststoffbasierter Mehrwegverpackungssysteme zu leisten. Deren Merkmale (Vorteile und Defizite), Herausforderungen und Verbesserungspotenziale werden in einem multikriteriellen Ansatz untersucht.

3.1 Gegenstand und Vorgehen

Zu diesem Zweck werden in der Studie ausgewählte kunststoffbasierte Mehrwegverpackungssysteme mit bestehenden Einwegalternativen in Deutschland⁹ verglichen. Diese Analyse erfolgt in Bezug auf Kategorien aus den Themenfeldern Zirkularität, Performance und Nachhaltigkeit. Die drei Themen sind jeweils durch ein detailliertes Kategorienset unterlegt, was differenzierte Analysen ermöglicht.

Im Vorfeld wurden in einem Dialog mit dem Auftraggeber, der Stiftung Initiative Mehrweg, den europäischen Mitgliedern sowie im Rahmen einer Diskussionsveranstaltung auf der European Green Week 2021, zunächst drei Anwendungsbeispiele ausgewählt:

- Steigen für Obst, Gemüse, Fleisch oder Industrieprodukte
- Pflanzentransportsysteme (Pflanzentrays)
- Coffee-to-go-Becher (C2G-Becher)

Diese Mehrwegsysteme umfassen sowohl Lösungen für die Bereiche Business-to-business (B2B) (Steigen) und Business-to-consumer (B2C) (C2G-Becher) als auch solche, die übergreifend im Geschäfts- und Endkundenverkehr (B2B und B2C) genutzt werden können (Pflanzentrays). Die Mehrwegsysteme sind bereits seit Jahrzehnten (Steigen) oder einigen Jahren (C2G-Becher) in größerem Umfang etabliert, oder sie befinden sich nach langjährigem Einsatz in kleineren Mengen kurz vor der flächendeckenden Einführung (Pflanzentrays). Die Studie ist so aufgebaut, dass zukünftig weitere Anwendungen ergänzt werden können, um langfristig eine Gesamtschau der Mehrwegsysteme zu ermöglichen.

Der Vergleich der ausgewählten Mehrwegsysteme findet mit den im jeweiligen Anwendungsbereich etablierten Einwegsystemen statt, unabhängig davon, ob letztere aus Karton (Steigen), Kunststoff (Pflanzentrays) oder Verbundwerkstoffen aus kunststoffbeschichtetem Papier (C2G-Becher) bestehen. Soweit die Auswahl der Anwendungen und die Datenlage dies erlauben, werden Verallgemeinerungen für den Vergleich kunststoffbasierter Mehrwegsysteme mit konkurrierenden Einwegsystemen abgeleitet. Ein Vergleich zu alternativen Werkstoffen für Mehrwegsysteme ist nicht Gegenstand der Studie.

⁹ Dies bedeutet nicht, dass grenzüberschreitende Verpackungssysteme ausgeschlossen sind.

Als Datenquellen dienten die wissenschaftliche Literatur, Produktinformationen der Hersteller und Poolbetreiber von Ein- und Mehrwegverpackungen sowie Interviews mit Expertinnen und Experten. Davon ausgehend wurden vereinfachte Überschlagsberechnungen durchgeführt. Eigene vertiefende Berechnungen oder Ökobilanzierungen wurden nicht vorgenommen. Die Interviews wurden vor allem mit Mitgliedern der beauftragenden Stiftung Initiative Mehrweg (SIM) geführt, ergänzt um Gespräche mit weiteren Akteurinnen und Akteuren auf europäischer Ebene zur Klärung spezifischer Sachverhalte.

Besonderer Fokus wurde auf die Einordnung der Datenverfügbarkeit und -qualität gelegt. Die Unsicherheit der Daten sowohl aus Literaturquellen als auch aus Expertenaussagen wurde durch einen Pedigree-Ansatz (vgl. Abschnitt 9.3.1) berücksichtigt, mit dem die Datenqualität nachvollziehbar bewertet und dokumentiert wird.

3.2 Darstellung der Ergebnisse

Zur Einführung in das Thema werden zunächst einige Begriffsdefinitionen, systemische Überlegungen, Vorabvergleiche sowie der Status beim Verpackungsverbrauch und die regulatorische Situation vorangestellt (Kapitel 4). Im Anschluss (Kapitel 5) werden die untersuchten Systeme und die Vorgehensweise beschrieben.

Die Ergebnisse in den untersuchten Kategorien werden als paarweiser Vergleich der Einweg- und Mehrwegsysteme in den untersuchten Anwendungen dargestellt (Kapitel 6). Soweit dies möglich war, wurde eine Einordnung der Paarvergleiche in Bezug auf eine absolute Referenz vorgenommen. Die Ergebnisse aller Kategorien, in denen quantifizierbare Werte erhalten werden konnten (z. B. Treibhausgasemissionen), wurden in Indexwerte einer fünfstufigen Skala (-2, -1, 0, +1, +2) überführt. Somit sind vergleichende Betrachtungen mit rein qualitativ bewertbaren Kategorien (z. B. Recyclingfähigkeit) möglich. Diese Einordnung mündete in eine gemeinsame grafische und tabellarische Darstellung der Ergebnisse je Kategorie.

Der Darstellung nach Kategorien folgt eine solche nach Demonstratoren (Kapitel 7). Sie beginnt mit einer detaillierten Beschreibung der Anwendung und dem Stand bei Mehrweg- und Einwegsystemen. Anschließend wurden die Indexwerte sämtlicher Kategorien zusammenfassend in Form einer Harfe für jedes betrachtete Mehrwegsystem und das konkurrierende Einwegsystem grafisch dargestellt. Diese Ergebnisdarstellung erlaubt es, Vorteile, Defizite und Verbesserungspotenziale aufzuzeigen. In Bezug auf den vorhandenen technologischen und systemischen Status der Mehrwegsysteme in den untersuchten Bewertungskategorien (Zirkularität, Performance und Nachhaltigkeit) werden Entwicklungspotenziale aufgezeigt und Maßnahmen empfohlen.

4 Cursorischer Überblick zu Einweg- und Mehrwegsystemen¹⁰

4.1 Einweg- und Mehrwegsysteme in der öffentlichen Wahrnehmung

Die öffentliche Debatte um Mehrwegsysteme – im weiteren Verlauf dieser Studie oftmals vereinfacht als »Mehrweg« bezeichnet – konzentriert sich fast ausschließlich auf Getränkeflaschen. Die Befandung und separate Rückführung von Einweggetränkeflaschen trägt dabei zur Verwirrung des Konsumenten bei, weil Einweg- und Mehrwegverpackungen für den Verbraucher zunehmend weniger unterscheidbar sind. Zwar hat sich das Littering von Flaschen (nicht zuletzt durch die Pfandsammler) verringert und die Recyclingindustrie Zugriff auf weitgehend getrennt gesammelte Stofffraktionen bekommen, die ökologisch durchaus relevante Differenzierung »Recycling oder Wiederverwendung« ist durch den Verbraucher aber kaum noch zu leisten (NABU 2021; Verbraucherzentrale 2020).

Am Markt etablierte Label tragen ebenfalls nicht zu mehr Klarheit bei. Das Symbol für bepfandete Einweggetränkeverpackungen gibt durch die gewählte Bildsprache keinerlei Hinweise auf die vollständig unterschiedliche Art der Kreislaufführung und Verwertung (Abbildung 4 - Mitte) in diesem System.

Abbildung 4:
Mehrweglabel, Einweg-
pfand-Symbol und
Blauer Engel Mehrweg-
label



Erst seit kurzem wird auch ein Blauer Engel für To-go-Mehrwegverpackungen vergeben, für den es bislang allerdings nur drei Zeichennehmer gibt. Weitere Label insbesondere auch für den B2B-Bereich existieren bislang in Deutschland nicht.

4.2 Definitionen und Klassifikationen

Die Abgrenzung von Ein- und Mehrwegsystemen ist nicht trivial. Im §3 des Verpackungsgesetzes finden sich folgende Legaldefinitionen (VerpackG 2021):

»(3) Mehrwegverpackungen sind Verpackungen, die dazu konzipiert und bestimmt sind, nach dem Gebrauch mehrfach zum gleichen Zweck wiederverwendet zu werden und deren tatsächliche Rückgabe und Wiederverwendung

¹⁰ Wir weisen darauf hin, dass es sich bei den Ausführungen in diesem Kapitel um eine wissenschaftlich-technische Bewertung und nicht um eine juristische Beurteilung der rechtlichen Einordnung handelt.

durch eine ausreichende Logistik ermöglicht sowie durch geeignete Anreizsysteme, in der Regel durch ein Pfand, gefördert wird.

(4) Einwegverpackungen sind Verpackungen, die keine Mehrwegverpackungen sind.«

Die europäische Einwegkunststoffrichtlinie (EU 2019/904) definiert entsprechend konsistent Einwegkunststoffartikel (also nicht nur Verpackungen) wie folgt:

»Einwegkunststoffartikel: ein ganz oder teilweise aus Kunststoff bestehender Artikel, der nicht konzipiert, entwickelt und in Verkehr gebracht wird, um während seiner Lebensdauer mehrere Produktkreisläufe zu durchlaufen, indem er zur Wiederbefüllung oder Wiederverwendung zum ursprünglichen Verwendungszweck an einen Hersteller zurückgegeben wird«

In der Definition der EU-Verpackungsrichtlinie (94/62/EG), geändert durch (2018/852/EU) wird noch ergänzt, dass Mehrwegverpackungen von vornherein so beschaffen sein müssen, dass eine mehrfache Verwendung möglich ist:

»Wiederverwendbare Verpackungen: Verpackungen, die so konzipiert und ausgelegt sind und in Verkehr gebracht werden, dass ihre Beschaffenheit während ihrer Lebensdauer mehrere Kreislaufdurchgänge ermöglicht, indem sie ihrer ursprünglichen Zweckbestimmung entsprechend wiederbefüllt oder wiederverwendet werden«

Gemäß den obigen Legaldefinitionen sind Mehrwegverpackungen solche,

- die nach einem ersten Gebrauch unter Formerhalt mehrfach für den gleichen Zweck genutzt werden (also eine Mindestumlaufzahl von drei besitzen),
- eine funktionale und robuste Gestaltung für die Mehrfachverwendung aufweisen,
- für die eine geeignete Logistik vorhanden ist, welche die mehrfache Nutzung unter Formerhalt für den gleichen Zweck ermöglicht und
- für die ein Anreizsystem existiert, das eben diese Art der Kreislaufführung gegenüber der (werk)stofflichen oder energetischen Verwertung fördert.

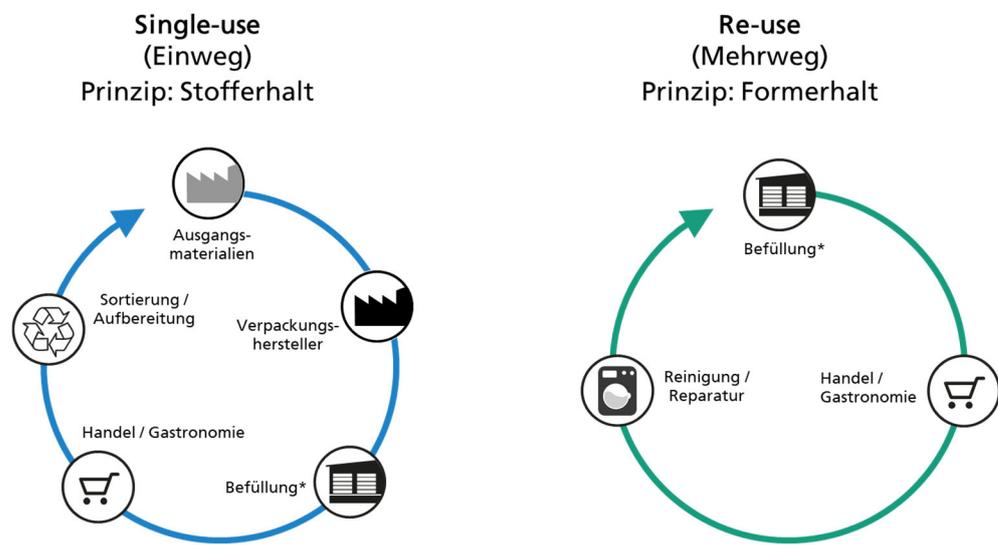
Nur wenn diese Bedingungen erfüllt sind, kann von einem Mehrwegsystem gesprochen werden. Einwegsysteme, die nur gelegentlich und nicht systematisch zu einer Mehrfachnutzung führen oder für die weder Anreizsystem noch Mehrweglogistik existieren, genügen diesen Anforderungen nicht. Auch Behältnisse, die direkt an den Verbraucher verkauft werden und die mehrfach zur Befüllung im Einzelhandel mitgebracht werden, entsprechen den Anforderungen nicht, da weder Anreiz noch Logistik als System organisiert sind. Daher werden diese Varianten in der hier vorliegenden Studie nicht betrachtet.

Mit Mehrwegsystemen werden Erwartungen vor allem bezüglich ihrer ökologischen Vorteilhaftigkeit gegenüber Einwegsystemen verbunden. In diesem Zusammenhang wird diskutiert, ob eine Präzisierung des Mehrwegbegriffs mithilfe von Zielvorgaben bspw. anhand der Umlaufzahl sinnvoll wäre. Technische Kriterien wie bspw. eine Mindestumlaufzahl würden aber die Einführung von neuen Mehrwegsystemen erschweren und könnten anwendungsspezifisch sehr unterschiedlich sein. Sinnvoller erscheint es, die nach einer Einführungsphase zu erreichenden Mindestumlaufzahlen in Labeln wie bspw. dem Blauen Engel anwendungsspezifisch über einen noch zu definierenden Prozess festzuschreiben. Ein umfassender Leitbildprozess, der die Werte adressiert, die man mit Mehrwegsystemen verbunden wissen möchte, kann hingegen nur auf Verbandsebene initiiert werden.

4.3 Systembetrachtung von Ein- und Mehrwegsystemen

Abgesehen von der zuvor beschriebenen Abgrenzungsproblematik beschreiben die Begriffe »Einweg« und »Mehrweg« nur sehr ungenügend die Unterschiede der beiden Systeme. Grundsätzlich kann in beiden Systemen eine Kreislaufführung realisiert werden. Sofern Einwegsysteme im Kreis geführt werden sollen, erfolgt dies durch erneute Verwendung der (Werk-)Stoffe. Mehrwegsysteme hingegen setzen auf den Erhalt der Form und Funktion über den gesamten Kreislauf. Einwegsysteme erfordern in jedem Kreislauf eine erneute Herstellung des Packmittels, Mehrwegsysteme vor allem Reinigungs- und ggf. Reparatur-schritte. Die Kreisläufe sind idealtypisch vereinfacht in Abbildung 5 dargestellt.

Abbildung 5: Idealtypische Kreisläufe bei Single-use (Einweg) und Re-use (Mehrweg)



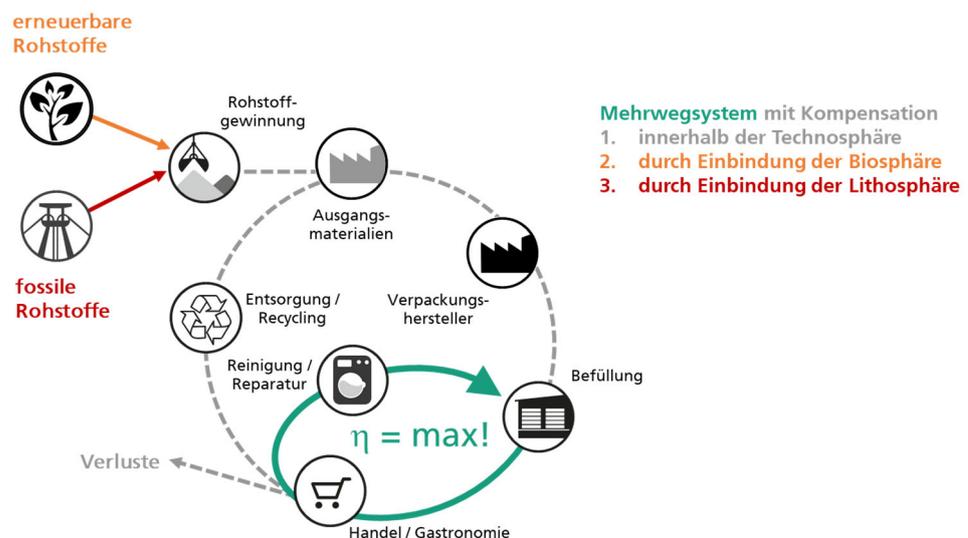
* teilweise mit Handel / Gastronomie identisch

In dieser Darstellung wird vernachlässigt, dass Materialien ermüden, Verluste auftreten und der Energiebedarf zum Betrieb des Kreislaufs ebenfalls durch Ressourceneinsatz gedeckt werden muss. Für eine leistungsfähige Kreislaufwirtschaft sind daher folgenden Maßnahmen notwendig (Abbildung 6):

1. Zunächst sind Maßnahmen zu ergreifen, um die Effizienz (η) zu maximieren. Dazu sind Wirkungsgrade zu erhöhen und Verluste zu verringern.
2. Dort, wo die Mehrfachnutzung an Grenzen gelangt, sollte sie durch Recyclingkreisläufe ergänzt werden. Rezykliert werden dabei aufgrund von Schädigungen nicht mehr nutzbare Produkte oder Verpackungen in einem geschlossenen Kreislauf (Kompensation innerhalb der Technosphäre).
3. Materialverluste und der notwendige Energiebedarf werden im Idealfall durch erneuerbare Rohstoffe gedeckt. Die Schließung des Kreislaufs geschieht dann über die Einbindung natürlicher Kreisläufe innerhalb ihrer Belastungsgrenzen (Kompensation durch Einbindung der Biosphäre).
4. Materialverluste und Energiebedarf, soweit sie nicht aus erneuerbaren Ressourcen darstellbar sind, werden schließlich aus nicht erneuerbaren Quellen gedeckt (Kompensation innerhalb der Lithosphäre).

Eine Kombination aus Mehrwegsystemen und Recycling nach einem ersten Lebenszyklus besitzt das Potenzial, die Systemverluste und den Ressourcenaufwand zur Kreislaufschließung zu verringern (Abbildung 6).

Abbildung 6: Kombiniertes Kreislauf mit Re-use (Mehrweg) und Single-use (Einweg) als zweiter Option sowie der Kompensation von Verlusten durch erneuerbare und fossile Ressourcen.



4.4 Vorabvergleich zum Primärenergieaufwand von Mehrweg zu Einweg

Mehrwegsysteme machen ökologisch Sinn, solange Ressourcenaufwand und Emissionen über einen Kreislauf geringer sind als die für einen konkurrierenden Einwegkreislauf (s. Abbildung 5). Vereinfachend ausgedrückt, ist der Mehrwegkreislauf dann ökologisch vorteilhaft, wenn der Aufwand für Herstellung, Waschen, Reparatur und Transportieren der Mehrwegverpackung geringer ist als der Aufwand für das Transportieren und Rezyklieren der Einwegverpackung. Die letztere Annahme ist für Papier und Altglas sinnvoll, da hier bereits heute ein nahezu geschlossener Einwegkreislauf besteht. Für Einwegverpackungen aus Kunststoff ist sie hingegen zu optimistisch, da die Recycling- und Wiedereinsatzquoten heute noch weit von einer Kreislaufschließung entfernt sind (vgl. Abschnitt 4.5).

Im Folgenden soll am Beispiel des Primärenergieaufwandes¹¹ von Teilprozessen gezeigt werden, dass das Ergebnis sehr unterschiedlich ausfallen kann. Jedes der Systeme, ob Einweg oder Mehrweg, erfordert letztlich eine umfassende Optimierung, um als nachhaltige Option bezeichnet werden zu dürfen.

Der Primärenergieaufwand für die Verarbeitung von Kunststoffen mittels Spritzgießens kann mit etwa 1,8 bis 3,6 kWh pro Kilogramm angenommen werden (Kent 2009). Der energetische Aufwand für die Aufbereitung von Kunststoffverpackungsabfällen zu Sekundärrohstoffen dürfte vor allem durch den Zerkleinerungsaufwand bestimmt werden und bei ca. 0,2 bis 1,8 kWh pro Kilogramm liegen (Morris 1996) .

Eine industrielle Bandspülmaschine benötigt ca. 0,11 kWh pro Kilogramm Verpackungsgewicht (Meiko 2021).¹² Es ist allerdings davon auszugehen, dass auch beim Recycling insbesondere für Anwendungen im Lebensmittelbereich der Waschaufwand mindestens genauso hoch ist. Vermutlich liegt dieser sogar noch höher, da das den Reinigungsaufwand bestimmende Oberfläche/Massen-Verhältnis zerkleinerter Kunststoffabfälle deutlich größer ist als das von ganzen Mehrwegverpackungen. Der Reparaturaufwand bei Mehrwegsystemen findet im Wesentlichen in Form eines Austauschs von Teilen, die ebenfalls über Spritzguss hergestellt werden, statt.

Darüber hinaus sind die zwischen den einzelnen Prozessen eines Kreislaufes notwendigen Transporte und der damit einhergehende Energiebedarf zu berücksichtigen. Die häufig anzutreffende Meinung, dass die Transportstrecken von Mehrwegsystemen aufgrund des Transportes der leeren Verpackungen per se höher seien, ist nicht korrekt. Sofern auch für Einwegverpackungen das Ziel einer geschlossenen Kreislaufwirtschaft unterstellt wird, werden sie nach dem Gebrauch zunächst als Abfall entsorgt, dieser wird transportiert und aufbereitet und später als Sekundärrohstoff erneut zum Ort der Herstellung der Verpackung befördert. Die Idee einer Kreislaufwirtschaft erfordert also auch bei Einwegverpackungen, dass der gesamte Stoffstrom über den Kreislauf transportiert wird. Mit der Kreislaufführung sind daher auch bei Einwegsystemen zu berücksichtigende Transportaufwände inkl. einer Vielzahl an Leerfahrten (bspw. bei den Abfalltransporten) sowie Energieaufwände verbunden. Sie müssen im konkreten Anwendungsfall bestimmt werden. Eine grundsätzliche Aussage, dass eine der beiden Alternativen, Einweg oder Mehrweg, in Bezug auf die Gesamttransportstrecke begünstigt ist, lässt sich nicht treffen (Details in Kapitel 6.2.5).

Der Energiebedarf des Transports wird insbesondere durch die zurückzulegende Entfernung sowie das zu transportierende Gewicht bestimmt (Entfernung [km] x Gewicht [t] = Transportleistung [tkm]). Da die Entfernungen stark vom jeweiligen Einsatzgebiet der Verpackungslösung abhängen, sei hier insbesondere das Augenmerk auf das Gewicht gelegt: denn Mehrweglösungen sind

¹¹ Verwendete Primärenergiefaktoren für Strom 1,8, Diesel 1,2 und Erdgas 1,1

¹² Diese Annahme wurde mit Hilfe es angegebenen Datenblatts abgeschätzt. Es wurde weiterhin die Annahme getroffen, dass ein Normteller aus Kunststoff ein Gewicht von 125 Gramm besitzt und dass das Oberfläche/Masse-Verhältnis in etwa dem von Mehrwegverpackungen entspricht.

in der Regel etwas schwerer als deren Einwegalternative. Nur in seltenen Fällen, bspw. bei sehr schweren Verpackungen, ergibt sich aber eine Begrenzung der Lademenge aufgrund des Erreichens des zulässigen Gesamtgewichts. Weiterhin kann sich eine volumenseitige Begrenzung durch ungünstige Größenverhältnisse von Füllgut zu Verpackung ergeben. Beide Effekte können bei Einweg- und Mehrweg auftreten und werden hier nicht weiter berücksichtigt. Ein Großteil des Kraftstoffverbrauchs beim Transport wird bereits durch das Eigengewicht sowie die Luft- und Rollwiderstände verursacht, der ladungsbedingte Anteil ist deutlich niedriger. Auf Basis der Angaben im Handbuch für Emissionsfaktoren (Infras 2019) haben wir kalkuliert: Leerverbrauch: 2,9 kWh/km zzgl. 0,09 kWh/tkm für die Ladung

In Abbildung 7 ist das Berechnungsergebnis eines Vergleichs des Primärenergieaufwands von Mehrweg zu Einweg dargestellt. Dabei ist das Primärenergieverhältnis auf der y-Achse als Funktion der Umlaufzahl (x-Achse, logarithmisch skaliert) sowie der Strecken- und Massenverhältnisse (Scharparameter) aufgetragen. Für die Transportstreckenverhältnisse Mehrweg zu Einweg (SV) und die entsprechenden Gewichtsverhältnisse (MV) wurden verschiedene Annahmen getroffen. Das Verhältnis der Transportwege SV wurde in der Basisberechnung (durchgezogene Linien) zu 1 gesetzt (SV id), d. h. es wird mit denselben Transportentfernungen gerechnet. Als Varianten sind eine nur halb so weite (SV min = 0,5; gepunktete Linien) und eine doppelt so weite Transportentfernung (SV max = 2,0; gestrichelte Linien) dargestellt. Das Verhältnis der Masse der Mehrwegverpackung zur Masse der Einwegverpackung wurde mit zwei Werten, dem niedrigen, MV low = 2 (orange Linien), und dem hohen, MV high = 5 (blaue Linien) angenommen.

Ergebnisse: Bei gleichen Transportstrecken (SV id) ist eine doppelt so schwerere Mehrwegverpackung (MV low) bereits ab 3 Umläufen überlegen, eine fünfmal schwerere Mehrwegverpackung (MV high) erreicht diesen Punkt erst bei ca. 6 Umläufen (logarithmische Skalierung der x-Achse des Diagramms). Gleichzeitig ist der Abbildung zu entnehmen, dass auch die Transportstreckenverhältnisse einen Einfluss haben. Bei doppelt so langer Gesamtstrecke des Mehrwegsystems (s max) müssen deutlich mehr Umläufe (35) durchlaufen werden, damit ein Vorteil erreicht wird. Bei halb so langer Gesamtstrecke (s min) ist das Mehrwegsystem hingegen bereits bei geringer Umlaufzahl im Vorteil.

Die Aussagekraft der Darstellung ist, da sie nur den direkten Primärenergieaufwand näherungsweise betrachtet, begrenzt. Aus Sicht der Mehrwegsysteme ist sie allerdings als eher konservativ anzusehen, da für das Einwegsystem 100 Prozent Recycling angenommen wurde. Dennoch zeigt die Darstellung, dass bei einem relativ geringen Massenverhältnis von 2 bereits bei Umlaufzahlen im Bereich ab 2 Vorteile selbst bei langen Transportstrecken zu erwarten sind. Bei einem hohen Massenverhältnis von 5 stellen sich diese bei niedrigeren und gleichen Transportstrecken ebenfalls bei Umlaufzahlen ab 5 ein. Erst bei einer deutlich höheren Masse und längeren Transportstrecken wird es für Mehrwegsysteme schwerer, aber nicht unmöglich, die Wettbewerbsfähigkeit in Bezug auf den Primärenergieaufwand zu erreichen. Die Transportentfernungen sind

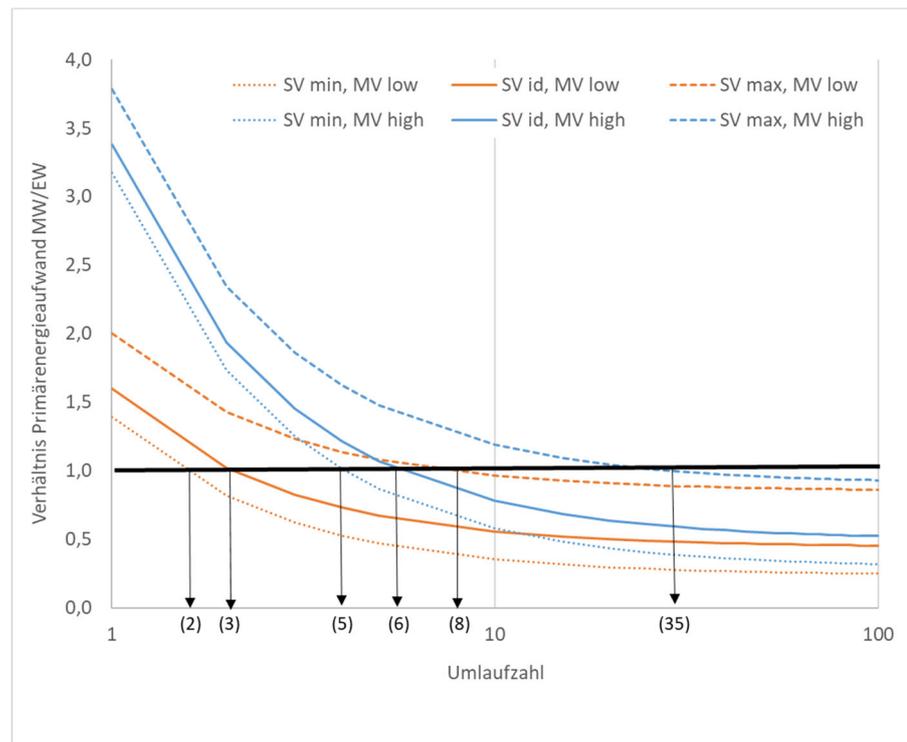
dabei nicht nur abhängig von der Qualität der logistischen Planung, sondern vor allem von der Regionalität des Wirtschaftskreislaufs.

Die Berechnung findet sich im Anhang (Kapitel 9.1). Eine detailliertere Betrachtung zum kumulierten Energieaufwand findet sich in Kapitel 6.3.2.

Abbildung 7: Vergleich Primärenergieaufwand Mehrweg zu Einweg als Funktion der Umlaufzahl [Eigene Berechnung]

SV: Verhältnis der Transportwege Mehrweg zu Einweg;
SV min = 0,5
SV id = 1,0
SV max = 2,0

MV: Verhältnis der Masse Mehrweg zu Einweg;
MV low = 2
MV high = 5



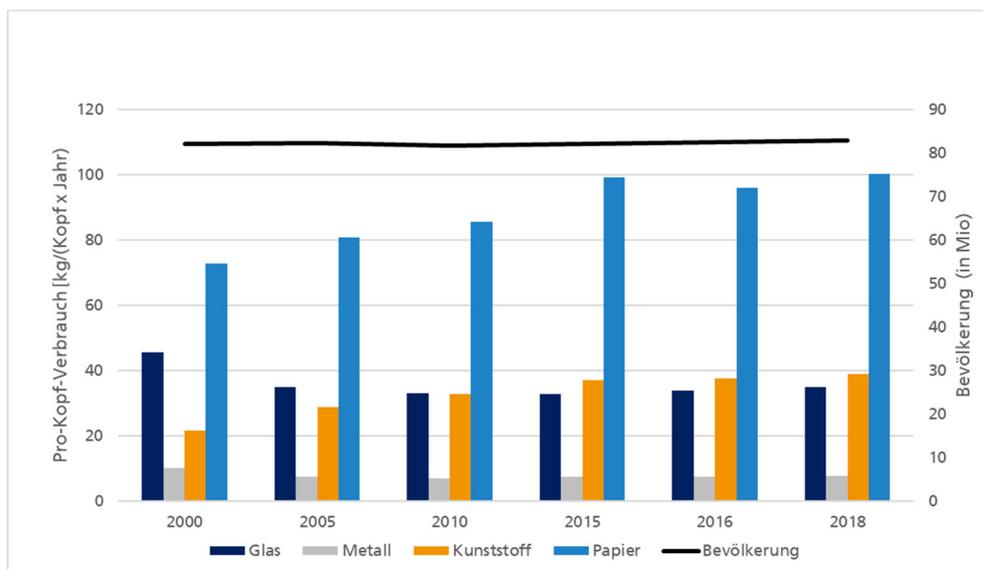
4.5 Status beim Verpackungsverbrauch in Deutschland

Trotz der Einführung von Verpackungsverordnung und Kreislaufwirtschaftsgesetz in den 1990er Jahren hat bei etwa gleichbleibender Bevölkerungszahl die Menge des Verpackungsverbrauchs in Deutschland pro Person kontinuierlich zugenommen (Umweltbundesamt 2018). Der Gesamtverbrauch betrug in Deutschland im Jahr 2016 etwa 220 Kilogramm pro Person und Jahr, davon in den vier wichtigsten Werkstoffgruppen Papier, Kunststoff, Glas und Metall ca. 190 Kilogramm pro Person und Jahr (Abbildung 8).

Die höchsten Zuwächse in absoluten Zahlen weisen Papierverpackungen mit einem Zuwachs von 27,5 Kilogramm pro Person und Jahr auf, Kunststoffe erreichen 17,3 Kilogramm pro Person und Jahr. Demgegenüber stagniert der Verbrauch von Metallen, während der Bereich Glas nach einer vorübergehenden Reduktion seit 2010 ebenfalls wieder Zuwächse aufweist. In relativen Zahlen zeigen Kunststoffe über den betrachteten Zeitraum von 18 Jahren das größte Wachstum mit 4,4 Prozent im Jahresdurchschnitt, vor Papier mit 2,1 Prozent.

Die Zuwächse im Kunststoffverbrauch sind kaum durch ein gesteigertes Recycling begleitet. Der Anteil von Sekundärmaterialien betrug in 2019 gerade einmal 10,5 Prozent (Conversio 2020), während 44,4 Prozent des Verbrauchs dem Zuwachs seit 2000 entsprechen. Das heißt, selbst wenn man unterstellt, dass es im Jahr 2000 noch keine Kunststoffzyklate im Verpackungssektor gab, decken sie weniger als ein Viertel (23,6 Prozent) des Wachstums ab. Demgegenüber liegt der Rezyklatanteil im Bereich Papier- und Kartonverpackungen seit 2000 weitgehend konstant bei ca. 90 Prozent. Dies bedeutet, dass auch das Wachstum beim Papierverbrauch zu ca. 90 Prozent, aber nicht vollständig, durch Recycling ermöglicht wurde (vdp 2015, 2021).¹³ De facto findet daher weder bei Papier und noch weniger bei Kunststoffen eine Reduktion des Primärrohstoffverbrauchs statt. Daher stellt sich die Frage, ob nicht vor allem bei Kunststoffverpackungen neben dem Recycling ein verstärkter Wechsel von Einweg- zu Mehrwegsystemen für eine Verbesserung der Zirkularität und eine Verringerung des Rohmaterialbedarfs notwendig ist.

Abbildung 8: Bevölkerungsentwicklung und Verbrauch an Verpackungen pro Person nach Material, Eigene Darstellung auf Basis von Daten des Umweltbundesamtes (Umweltbundesamt 2018)



4.6 Abfall- und stoffrechtliche Situation

Die folgenden Rechtsvorschriften und Strategiepaper aus Deutschland und der EU sind von hoher Bedeutung für das Thema (Mehrweg-)Verpackungen:

- Europäische Abfallrahmenrichtlinie (Waste Framework Directive - WFD) (EU RL 2008/98)
- Deutsches Verpackungsgesetz (VerpackG 2021)
- EU-Verpackungsrichtlinie (2018/852/EU)

¹³ Da es sich bei der in den Quellen angegebenen Altpapierwiedereinsatzquote nicht aber um den tatsächlichen Rezyklatanteil im Produkt handelt, wurde sie um das Verhältnis bei Wellpaper für alle papierbasierten Verpackungstypen korrigiert, um den Vergleich mit den Werten für die Kunststoffrezyklatanteile zu ermöglichen.

- EU-Richtlinie zu Einwegartikeln aus Kunststoff (EU 2019/904)
- EU-Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft (COM(2020) 98 final)
- EU-Kunststoffstrategie (COM(2018) 28 final)
- 5-Punkteplan des Bundesumweltministeriums (BMU 2018)

Darin finden sich, im Wesentlichen übereinstimmend, die folgenden Maßnahmen zur Reduktion von Verpackungsabfällen:

- Verbote und Mengenbegrenzungen
- Recycling gebrauchter Verpackungen
- Recyclinggerechte Gestaltung von Verpackungen
- Förderung des Rezyklatgehalts
- Förderung von Mehrweg
(oft auch als »wiederverwendbare Verpackungen« bezeichnet)

Im deutschen Verpackungsgesetz (VerpackG 2021) wurde bereits in seiner Erstfassung von 2017 einleitend in §4 gefordert, dass »die Wiederverwendbarkeit von Verpackungen und der Anteil von sekundären Rohstoffen an der Verpackungsmasse auf ein möglichst hohes Maß gesteigert« werden. Das ist ein deutliches Signal für die Erhöhung des Einsatzes von Mehrwegverpackungen. Eingeschränkt wird diese Forderung nur durch wenige Ausnahmen, beispielsweise wenn es »unter Berücksichtigung der Gewährleistung der erforderlichen Sicherheit und Hygiene der zu verpackenden Ware und unter Berücksichtigung der Akzeptanz für den Verbraucher technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist«. In der EU-Verpackungsrichtlinie findet sich eine analoge Einschränkung. Auch hier wird gefordert, dass »die Erhöhung des Anteils in Verkehr gebrachter wiederverwendbarer Verpackungen« zu fördern ist, allerdings »ohne dabei die Lebensmittelhygiene oder die Sicherheit der Verbraucher zu gefährden« (EU 2019/904 2019). Die EU-Richtlinie zu Einwegartikeln aus Kunststoff möchte ebenfalls »kreislauforientierte Ansätze, die nachhaltige und nichttoxische wiederverwendbare Artikel und Wiederverwendungssysteme gegenüber Einwegartikeln« fördern.

Gemäß dem EU-Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft wird gefordert, die verbindlichen grundlegenden Anforderungen an Verpackungen auf dem EU-Markt zu verschärfen (COM(2020) 98 final). Der Schwerpunkt soll unter anderem auf Maßnahmen zur Verringerung von Verpackungen und Verpackungsabfällen und zur Förderung des Designs mit Blick auf die Wiederverwendung und Recyclingfähigkeit von Verpackungen liegen. Die EU-Strategie für Kunststoffe ist ein Schritt hin zur Schaffung einer Kreislaufwirtschaft, in der bei der Gestaltung und Herstellung von Kunststoffen und Kunststoffprodukten den Erfordernissen in Bezug auf Wiederverwendung, Reparatur und Recycling in vollem Umfang Rechnung getragen wird und nachhaltigere Materialien entwickelt und gefördert werden (COM(2018) 28 final). Ein Bestandteil des dort aufgezeigten Zukunftsbilds einer neuen Kunststoffwirtschaft für Europa ist, dass bis 2030 alle auf dem EU-Markt in Verkehr gebrachten Kunststoffverpackungen wiederverwendbar sind oder kosteneffizient rezykliert werden können. Auch wenn somit festzustellen ist, dass Mehrweg/Wiederverwendung in diesen beiden wichtigen

EU-Strategiepapieren eine zentrale Rolle spielt, wird es darin im Widerspruch zur Idee der Abfallhierarchie auf eine Stufe mit dem Recycling gestellt.

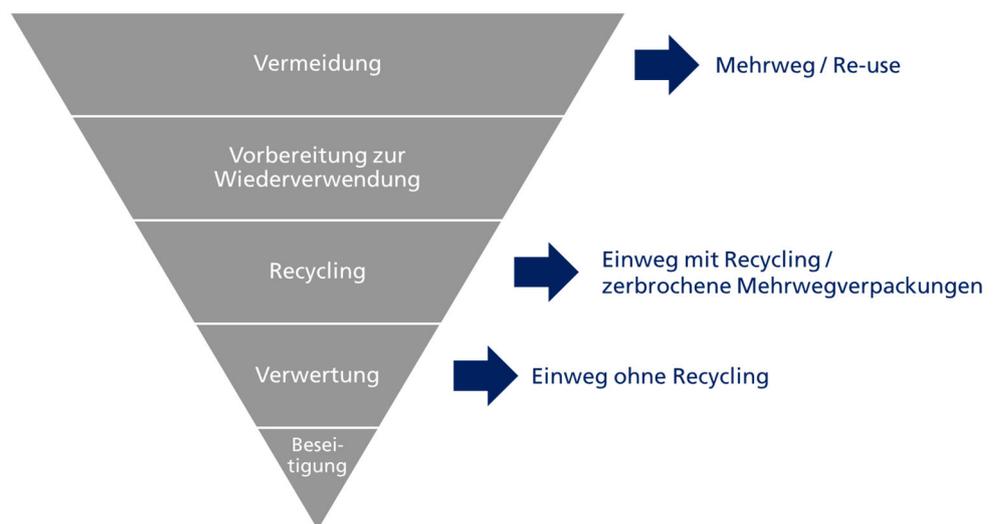
Das Bundesumweltministerium hat Ende 2018 den 5-Punkte-Plan für weniger Plastik und mehr Recycling vorgelegt (BMU 2018). Darin werden die folgenden Schwerpunkte für den Weg Deutschlands aus der Wegwerfgesellschaft formuliert:

- Überflüssige Produkte und Verpackungen vermeiden
- Verpackungen umweltfreundlicher gestalten, Mehrwegverpackungen stärken
- Umweltfreundliches Produktdesign fördern
- Stoffkreisläufe durch kluges und hochwertiges Recycling schließen
- Einträge von Plastikabfällen in die Weltmeere drastisch reduzieren

In dieser Auflistung befinden sich Mehrwegverpackungen vor dem Recycling. Bei der Detailbeschreibung der Schwerpunkte fokussiert sich der 5-Punkte-Plan allerdings allein auf die Anwendungen Getränkeflaschen und Coffee-to-go-Behälter. Weitere Mehrwegsysteme werden nicht genannt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Förderung von Mehrwegverpackungen bei allen Maßnahmenlisten zur Vermeidung von Verpackungsabfällen genannt wird. Sie findet sich in den Strategiepapieren der EU (zu Kreislaufwirtschaft/Circular Economy und zur Kunststoffstrategie/Plastics Strategy) und sie ist von dort als politische Zielsetzung im deutschen Verpackungsgesetz und der EU-Verpackungsrichtlinie zu finden. Bislang gibt es jedoch nur im VerpackG (2021) eine Zielquote für Mehrweg – diese ist aber auf Getränkeverpackungen/-flaschen beschränkt, hat lediglich appellativen Charakter und ist nicht rechtlich bindend. Daher bleibt immer noch zu fragen, ob und wie die Politik mit weiteren konkreten Maßnahmen den Einsatz von Mehrwegverpackungen in Zukunft fördern möchte.

Abbildung 9: Einordnung von Einweg- und Mehrweg in der Abfallhierarchie



Mehrwegverpackungen sind keine Abfälle, solange sich der jeweilige Besitzer ihrer nicht entledigen will. Im Weiteren zählt die Wiederverwendung von Erzeugnissen – also auch von Verpackungen – zur Abfallvermeidung. Die Anwendung von Mehrwegverpackungen steht demnach auf der obersten Stufe der Abfallhierarchie und trägt direkt zur Ressourcenschonung bei. Die nachfolgende Stufe, die Vorbereitung zur Wiederverwendung, ist an den Beginn der Abfalleigenschaft geknüpft. Solange die Mehrwegverpackung durch den Besitzer selbst gereinigt oder repariert wird, ist diese Stufe noch nicht erreicht. Die Nutzung von Mehrwegsystemen hat demnach gemäß der in der europäischen Abfallrahmenrichtlinie (EU RL 2008/98) und im deutschen Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) festgelegten Abfallhierarchie Priorität vor Einwegsystemen und deren Recycling oder energetischer Verwertung. Eine Abweichung von der Abfallhierarchie ist dann möglich, wenn dadurch das beste Ergebnis in Bezug auf den Gesundheits- und Umweltschutz erreicht wird. Dies betrifft vor allem

- die zu erwartenden Emissionen,
- das Maß der Schonung natürlicher Ressourcen,
- die einzusetzende Energie und
- die Anreicherung von Schadstoffen.

Dabei sollen auch technische Machbarkeit, wirtschaftliche Zumutbarkeit und soziale Folgen berücksichtigt werden.

Die Vorgaben zur Abfallhierarchie sind in der europäischen Abfallrahmenrichtlinie (EU RL 2008/98) und dem deutschen Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) übereinstimmend formuliert (KrWG 2012). Würde die Abfallhierarchie in der Praxis umgesetzt, wäre der Einsatz von Mehrwegverpackungen der Standard und Abweichungen – insbesondere die Verwendung von Einwegverpackungen inkl. deren Recycling – müssten durch entsprechende Nachweise verbesserter Umweltverträglichkeit und verbesserten Gesundheitsschutzes begründet werden. Eine derartige strikte Anwendung der Abfallhierarchie findet allerdings heute nicht statt.

Die konkreten Maßnahmen zur Stärkung der Abfallvermeidung im Bereich der Verpackungen sind bislang spärlich. Kunststofftragetaschen mit einer Wandstärke von 15 bis 50 Mikrometern sowie Einweg-Serviceverpackungen aus Polystyrol wurden verboten. Gleichzeitig wird im Abfallvermeidungsprogramm des Bundesumweltministeriums auf Maßnahmen verwiesen, die gar nicht der Ebene der Abfallvermeidung zuzurechnen sind (Bundesministerium für Umwelt (BMU) 2020). Dazu gehören die Rücknahmepflicht für Elektro- und Elektronikgeräte, die Ausweitung der Pfandpflicht auf weitere Einweggetränkeflaschen und -dosen sowie die Verpflichtung zum Rezyklateinsatz bei Kunststoffgetränkeflaschen. Auch schreibt das im Jahr 2021 novellierte Verpackungsgesetz (VerpackG 2021) nunmehr vor, dass ab 2023 Lebensmittel und Getränke zum Mitnehmen auch in Mehrwegverpackungen angeboten werden müssen und dass diese nicht teurer als die Einwegverpackungen sein dürfen. Auf der anderen Seite wird aber kleineren Verkaufsstellen eine Ausnahme eingeräumt. Hier besteht nur die Pflicht, von Verbraucherinnen und Verbrauchern mitgebrachte Mehrwegbehältnisse zu befüllen. Wenn sie solche nicht dabei haben, können

weiter Einwegkunststofflebensmittelverpackungen und Einweggetränkebecher verwendet werden. Auch wenn die genannten Maßnahmen auf den weiteren Ebenen der Abfallhierarchie durchaus ihre Berechtigung haben, können sie über den schlechten Stand der Anreize in der obersten Hierarchiestufe, der Abfallvermeidung, nicht hinwegtäuschen.

In Bezug auf die Abfallvermeidung wird vor allem auch auf die erweiterte Herstellerverantwortung hingewiesen. Auch wenn es sich grundsätzlich um ein sinnvolles Instrument handelt, verkennt dies aber, dass gerade Mehrwegsysteme ein hersteller- und konsumentenübergreifendes Kreislaufsystem erfordern, welches für einen einzelnen Hersteller nur in Ausnahmefällen wirtschaftlich zumutbar wäre.

Möglicher Einfluss auf die Verwendung von Kunststoffen in Verpackungen und deren Recycling könnte in Zukunft von der Europäischen Kunststoffsteuer ausgehen. Die Europäische Union hat als ersten Schritt des EU-Eigenmittelsystems, mit dem die Union sich Mittel für eine geordnete Entwicklung ihrer Politikbereiche verschafft hat, eine »Kunststoffsteuer« eingeführt (EU, Euratom 2020/2053). Dabei handelt es sich primär um eine Eigenmittelquelle für den EU-Haushalt 2021-2027 und nicht um eine direkte Steuer. Die Mitgliedstaaten müssen aus ihren Haushalten Beiträge an die EU abführen, die sich nach der Menge der nicht rezyklierten Kunststoffverpackungsabfälle richten, die in den einzelnen Mitgliedstaaten anfallen.

Ab dem 1. Januar 2021 wird dieser Beitrag mit einem einheitlichen Satz von 0,80 Euro pro Kilogramm berechnet. Grundlage sind Eurostat-Daten, die die Mitgliedstaaten bereits im Rahmen bestehender Berichtspflichten – insbesondere der Richtlinie über Verpackungen und Verpackungsabfälle und deren Durchführungsbeschluss (EU 2019/665) – erheben und übermitteln.

Ersten Schätzungen zufolge kann dieser neue Beitrag für Kunststoffverpackungen der EU zusätzliche Einnahmen in Höhe von 6 bis 8 Mrd Euro pro Jahr beschaffen. Im Einklang mit der europäischen Strategie werden die nationalen Beiträge proportional zu der Menge an Kunststoffverpackungsabfällen sein, die in den einzelnen Mitgliedstaaten nicht rezykliert werden. Ersten Schätzungen zufolge entfallen auf Deutschland ca. 1,3 Mrd Euro jährlich. (KPMG 2021)

Die Planungen der neuen Bundesregierung sehen vor, dass diese europäische Plastiksteuer auch in Deutschland an Verpackungshersteller oder -inverkehrbringer umgelegt wird (SPD, Bündnis 90/Die Grünen, FDP 2021). In anderen Ländern (Italien, Spanien) schreitet die Einführung der nationalen Umlage der Kunststoffsteuern bereits rasch voran und auch weitere EU-Staaten dürften folgen. In der Folge werden Unternehmen, die Verpackungen herstellen oder importieren, mit zusätzlichen Kosten konfrontiert. Es besteht die Gefahr, dass Mehrwegsysteme, bei denen Verpackungen im Zuge der einzelnen Umläufe über Landesgrenzen oder auch über die EU-Binnenmarktgrenze hinweg transportiert werden, bei jedem Umlauf mit diesen Kosten belastet werden. Die Gesetzgeber in Brüssel, den EU-Mitgliedsstaaten und auch Handelspartnern wie Großbritannien, das ebenfalls eine Kunststoffsteuer eingeführt hat, sollten hier

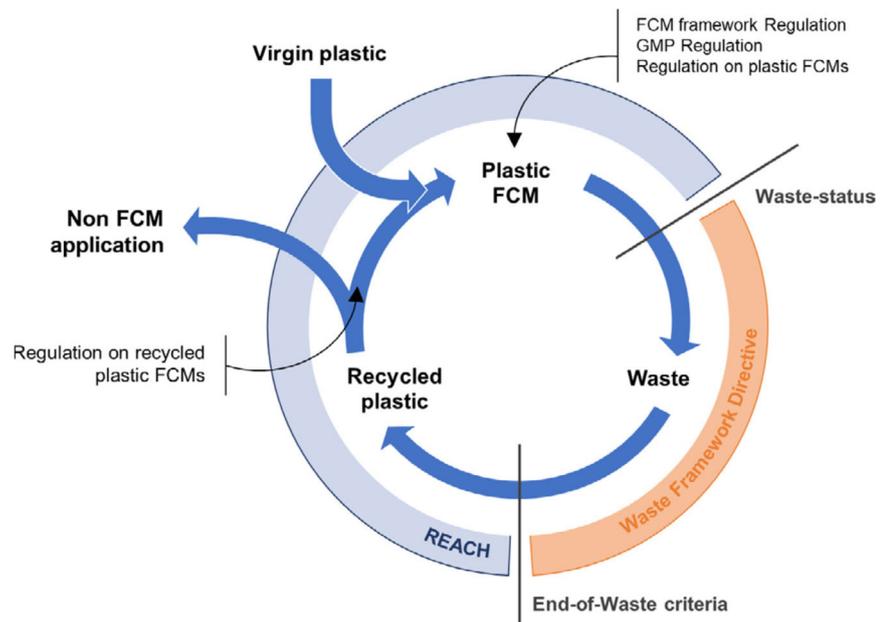
Regelungen treffen, durch die solche die Mehrwegsysteme belastenden Steuerzahlungen ausgeschlossen werden.

Ein weiteres zu berücksichtigendes Element sind die EPR-Gebühren (EPR: Extended Producer Responsibility), die erhöht werden könnten, um den Kunststoffsteuer-Beitrag zu decken. EPR-Gebühren müssen Unternehmen für die Entsorgung ihrer Verpackungen am Ende deren Lebensdauer zahlen. Die Gebühren werden für die Sammlung, Sortierung, Behandlung, Bewirtschaftung und das Recycling von Verpackungsabfällen verwendet. Ein Teil der EPR-Gebühren kann in einigen Ländern zur Finanzierung der EU-Kunststoffabgabe verwendet werden (z. B. Frankreich und Belgien). Die EPR-Gebühren in diesen, wie auch in anderen Ländern könnten steigen, um die nationalen Kunststoffabgaben zu finanzieren. (EY 2021)

In Verbindung mit (Mehrweg-)Verpackungen ist in Bezug auf die eingesetzten Materialien neben dem allgemeinen Verpackungs- und Abfallrecht das EU-Chemikalienrecht (REACH - Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) zu beachten (EG 1907/2006). Für Produkte, die in Kontakt mit Lebensmitteln kommen, sind darüber hinaus insbesondere Vorschriften über Materialien mit Lebensmittelkontakt (Food Contact Materials - FCM) zu beachten (EG 1935/2004). Diese regelt die lebensmittelrechtliche Konformität von Verpackungssystemen jeden Materials in Bezug auf Sicherheit und sensorische Aspekte. Für Verpackungen aus Kunststoff sind spezifische Anforderungen in der Europäischen Kunststoffverordnung (EU) Nr. 10/2011 (EU) festgelegt. Diese enthält u. a. detaillierte Regeln für die Bestimmung der Gesamtmigration und der spezifischen Migration sowie Zeit-/Temperaturkombinationen, die für analytische Migrationstests verwendet werden müssen. Chemikalien mit niedrigem Molekulargewicht, wie Monomere und Zusatzstoffe, haben das Potenzial, aus Gegenständen, die mit Lebensmitteln in Berührung kommen, zu migrieren. Die Migration dieser ist nach international anerkannten wissenschaftlichen Grundsätzen zur Risikobewertung zu beurteilen (Artikel 19 der Verordnung (EU) Nr. 10/2011 (EU)). Besondere Anforderungen gelten vor allem auch für rezyklierte Materialien. Die europäische Recycling-Verordnung (EG) Nr. 282/2008 legt großen Wert auf die Verpackungs- und Lebensmittelsicherheit, wenn neue Materialien für den Kontakt mit Lebensmitteln aus rezykliertem Post-Consumer-Material hergestellt werden.

Der aktuelle Stand zum Einsatz von Rezyklatkunststoffen in FCM ist in einem Artikel eines belgischen Teams dargestellt (Tandt et al. 2021). Der Artikel gibt einen Überblick über die gesetzlichen Anforderungen an die Verwendung von werkstofflich rezyklierten Kunststoffen in Erzeugnissen, die in der EU in Verkehr gebracht werden. Auch die Wechselwirkungen zwischen REACH und der Abfallrahmenrichtlinie (WFD - Waste Framework Directive, (EU RL 2008/98)) werden darin erörtert. In einem zweiten Teil wird der Schwerpunkt auf die Verwendung von rezyklierten Kunststoffen als Lebensmittelkontaktmaterial gelegt. Der Geltungsbereich der verschiedenen anwendbaren EU-FCM-Verordnungen wird ebenso dargestellt (siehe Abbildung 10) wie die wichtigsten damit verbundenen Rechtsgrundsätze.

Abbildung 10:
Grafische Darstellung der Anwendbarkeit der EU-REACH- und EU-FCM-Verordnungen auf (rezyklierte) Kunststoff- in Lebensmittelkontaktmaterialien (FCM) über den gesamten Wertschöpfungszyklus (aus Tandt et al. (2021))



Weiterhin widmet sich der Artikel der Diskussion über die Zulassung von Recyclingverfahren im Rahmen der FCM-Verordnung und den praktischen Herausforderungen, die mit der effektiven Einführung von FCM, die rezyklierte Kunststoffe enthalten, verbunden sind. Insgesamt wird festgestellt, dass die Komplexität der verschiedenen rechtlichen Perspektiven, ein Mangel an Kommunikation und Transparenz innerhalb der Kunststoff-Wertschöpfungskette sowie technische Herausforderungen im Zusammenhang mit den Recyclingverfahren die tatsächliche Einführung von FCM aus rezykliertem Kunststoff (mit Ausnahme von PET-Flaschen) nach wie vor stark behindern. Die Autorinnen und Autoren wünschen sich die Entwicklung zielgerichteter Lösungen für die gesamte Wertschöpfungskette unter Berücksichtigung der verschiedenen Perspektiven in Bezug auf Rechtsvorschriften und Gesundheitsschutz, Wirtschaftswachstum und technische Innovationen. Nur dann könne eine Kreislaufwirtschaft für Kunststoffe, einschließlich rezyklierter Kunststoffe für FCM, verwirklicht werden. (Tandt et al. 2021)

4.7 Instrumente für nachhaltige Investitionen

Die EU plant im Rahmen des 2019 vereinbarten Green Deals eine Umgestaltung der EU-Wirtschaft im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung (COM(2019) 640 final). Ein zentrales Element ist dabei die Finanzierung dieser Wende. Dazu wurden neue Vorgaben erstellt, die nachhaltige Investitionen und die Nachhaltigkeitskommunikation auf eine verbindliche und datenbasierte Grundlage stellen. Interpretationsbedürftige Aussagen und Greenwashing, die im Unklaren lassen, ob eine Wirtschaftsaktivität oder Investition nachhaltig ist oder nicht, sollen so vermieden werden.

Dabei sind vor allem drei regulatorische Elemente von Bedeutung: Sustainable Finance Disclosure Regulation (SFDR), Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) sowie die EU-Taxonomie (ESG Enterprise)¹⁴. Während SFDR und CSRD die Art, den Umfang und die Form der Offenlegungs- und Berichtspflichten von Finanzmarktteilnehmern und Unternehmen festlegen, stellt die Taxonomie-Verordnung ein Klassifikationssystem dar, anhand dessen entschieden wird, ob und in welchem Umfang eine Finanzaktivität als ökologisch nachhaltig bezeichnet werden darf. Neben positiven Nachhaltigkeitswirkungen in einem bestimmten Bereich (bspw. Treibhausgasminderung) liegt dabei ein besonderer Fokus auf der Vermeidung nachteiliger Auswirkungen in anderen Bereichen (bspw. Schadstofffreiheit). Über die EU-Taxonomie und die CSRD erreichen die Anforderungen an Finanzmarktteilnehmer und deren Finanzprodukte auch die Realwirtschaft. Nur diese kann die notwendigen Technologien entwickeln, bereitstellen und anwenden, für die dann die »harten Fakten« gemessen oder berechnet werden, die letztlich eine Entscheidung über die Nachhaltigkeitsperformance einer Investition und damit eines Finanzprodukts ermöglichen.

Die EU-Taxonomie (2018/852/EU) adressiert die folgenden Umweltziele:

- a) Klimaschutz;
- b) Anpassung an den Klimawandel;
- c) nachhaltige Nutzung und Schutz von Wasser- und Meeresressourcen;
- d) Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft;
- e) Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung;
- f) Schutz und Wiederherstellung der Biodiversität und der Ökosysteme.

In Artikel 13 der EU-Taxonomie werden für einen Übergang in die Kreislaufwirtschaft verschiedene Maßnahmen wie Recycling, Verlängerung der Lebensdauer, Verbesserung der Reparierbarkeit und die Wiederverwendung benannt. Für die vorliegende Studie ist aber vor allem die Definition des Begriffs »Kreislaufwirtschaft« in Artikel 2 interessant (2018/852/EU):

»Kreislaufwirtschaft [ist ein] ein Wirtschaftssystem, bei dem der Wert von Produkten, Materialien und anderen Ressourcen in der Wirtschaft so lange wie möglich erhalten bleibt und ihre effiziente Nutzung in Produktion und Verbrauch verbessert wird, wodurch die Auswirkungen ihrer Nutzung auf die Umwelt reduziert und das Abfallaufkommen sowie die Freisetzung gefährlicher Stoffe in allen Phasen ihres Lebenszyklus minimiert werden, auch durch Anwendung der Abfallhierarchie.«

Insbesondere im letzten Halbsatz wird explizit auf die Abfallhierarchie hingewiesen. Diese wird in der vorliegenden Studie in Kapitel 4.6 detaillierter beschrieben, und sie wurde dem kombinierten Modellansatz in Kapitel 4.3 zugrunde gelegt.

¹⁴ Erläuterungen dazu finden sich bspw. hier: SFDR, NFRD, and CSRD: Guidance on EU Taxonomy <https://www.esgenterprise.com/esg-reporting/eu-taxonomy-sfdr-nfrd-csrd/>

Die Ziele der Taxonomie-Verordnung werden von der EU in delegierten Rechtsakten konkretisiert. Bislang wurden solche nur für die beiden Kriterien Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel erlassen. Für die anderen Umweltziele werden darin bereits an manchen Stellen Nebenkriterien (DNSH-Kriterien, »do no significant harm«) berücksichtigt. Die DNSH-Kriterien sollen sicherstellen, dass eine positive Auswirkung einer betrieblichen Maßnahme in einem Umweltziel (bspw. Klimaschutz) nicht mit Nachteilen bei anderen Umweltzielen (bspw. dem Übergang in die Kreislaufwirtschaft) verbunden ist (EU 2020/852 (DV)).

Zur inhaltlichen Vorbereitung der delegierten Rechtsakte wurde eine Expertenkommission für nachhaltige Investments ins Leben gerufen. Insbesondere die im Anhang zum Abschlussbericht der Expertengruppe enthaltenen Empfehlungen für die Herstellung von Kunststoffen sind für diese Studie von Interesse (EU Technical Expert Group on Sustainable Finance 2020). Vorgeschlagen wurde, dass die kunststoffproduzierenden Unternehmen als Nebenkriterium sicherstellen sollten, dass 90 Prozent der produzierten Menge eines Kunststofftyps entweder nicht in Einweganwendungen verwendet werden dürfen oder dass dies auf Basis von rezykliertem Kunststoff stattfinden müsse. Bei einer deutschlandweiten Recyclingquote von derzeit 13,7 Prozent und einem Verpackungsanteil am Gesamtverbrauch von ca. 26,6 Prozent in Deutschland, der weitgehend als Einweg angesehen werden kann, hätte in dieser Forderung ein deutlicher Impuls für einen erhöhten Mehrweganteil oder ein deutlich verbessertes Recycling gelegen. Obwohl eine Vielzahl der Empfehlungen der Expertengruppe sich im inzwischen beschlossenen und veröffentlichten delegierten Rechtsakt zur EU-Taxonomie wiederfinden, wurde diese Empfehlung zur Kreislaufwirtschaft der Kunststoffe aber ersatzlos gestrichen (EU 2020/852 (DV)).

Neben den DNSH-Kriterien werden als weitere Nebenbedingungen »minimum safeguards« vorgegeben, damit sind Mindeststandards bei Menschenrechten und Sozialstandards adressiert. Es wäre eine spannende aber in dieser Studie nicht adressierte Frage, ob sich hier Unterschiede zwischen Einweg- und Mehrwegsystemen ergeben.

Erforderlich ist, dass die delegierte Verordnung zur Kreislaufwirtschaft, die sich noch in der Vorbereitungsphase befindet, weitreichendere Regelungen für eine gelungene Kreislaufwirtschaft enthält.¹⁵ Dabei muss auch berücksichtigt werden, dass die nachhaltigen Mehrweglösungen gegenüber Einweglösungen wirtschaftlich für die handelnden Unternehmen attraktiv zu gestalten sind. Das Umlenken von Kapitalströmen durch Kopplung an belastbare Nachhaltigkeitskriterien, wie in der Taxonomie vorgesehen, ist dafür ein geeignetes Mittel. Die sinnvolle Abstimmung von Rezyklateinsatzquoten (> 90 Prozent) bei der Produktion und Mindestumlaufzahlen für Mehrwegsysteme (> 10), wie es derzeit in den Expertengremien zur Taxonomie-Verordnung diskutiert wird, scheint dazu geeignet.

¹⁵ Ursprünglich war eine Veröffentlichung für den 31.12.2021 geplant, was aber bis zur Veröffentlichung dieser Studie noch nicht stattgefunden hat. Die gesamte Taxonomie inkl. der delegierten Verordnung zur Kreislaufwirtschaft soll bis 2023 in Kraft gesetzt sein.

5 Untersuchte Systeme und Vorgehensweise

5.1 Die Demonstratoren in dieser Studie

Als Arbeitsgrundlage für die Untersuchungen zur vorliegenden Studie wurden vom Auftraggeber, der Stiftung Initiative Mehrweg, unterstützt durch deren europäische Mitglieder, in Abstimmung mit den Auftragnehmern zunächst drei Demonstratoren ausgewählt, anhand derer die Analysen stattfinden sollten (Abbildung 11). Dies sind.¹⁶

- **Steige** (Mehrwegtransportkiste für Obst, Gemüse, Backwaren etc.)
- **Trays** zum Transport und zur Handhabung von Pflanzen in Töpfen
- Coffee-to-go-Becher (**CG**)

Während bei den Steigen sowohl Einweg- als auch Mehrwegsysteme etabliert sind, ist der Markt für Pflanzentrays bislang eine Domäne von Einwegprodukten. Es gibt aber bereits weitreichende Planungen zur flächendeckenden Einführung eines Mehrwegsystems für die kommenden Jahre. Beide Systeme sind dem B2B-Bereich zuzuordnen, bei den Trays wird allerdings eine Ausweitung auf den B2C-Bereich diskutiert. Mehrwegsysteme für Coffee-to-go-Becher sind seit einigen Jahren am Markt und verbreiten sich – unterstützt durch gesetzliche Vorgaben – derzeit rasant. Sie stellen eine reine B2C-Lösung dar.

Bei den drei Mehrweglösungen werden ausschließlich kunststoffbasierte Varianten betrachtet. Ihnen werden Einweglösungen z. B. aus PPK, Kunststoff oder Holz (Einwegsteige), Kunststoff (Einwegtray) und Papier-Kunststoff-Verbunden (Einwegbecher) gegenübergestellt. Sofern bei den Einwegsystemen weitere werkstoffliche Lösungen relevant sind und eine ausreichende Datengrundlage existierte, wurden diese mitbetrachtet. Weitere Details zu den Demonstratoren finden sich in den Unterabschnitten in Kapitel 7.

¹⁶ Die fett gesetzten Begriffe, werden im Weiteren auch als Abkürzungen verwendet.

Abbildung 11:
In dieser Studie verwendete Demonstratoren

	Obst- und Gemüsesteige	Pflanzentray	Coffee-to-go-Becher
Mehrweg			
Einweg			

5.2 Vorgehensweise – von den Kategorien zum Demonstratorprofil

Wie bereits in den Vorbemerkungen zum Aufbau des Berichts beschrieben, erfolgt die Darstellung unserer Analyse in zwei Dimensionen. Zunächst werden die ausgewählten Demonstratoren jeweils gemeinsam anhand verschiedener Bewertungskategorien analysiert (Kapitel 6). Im Anschluss werden die Bewertungen für jeden Demonstrator zusammengeführt (Kapitel 7).

Für die Bewertung innerhalb einer Kategorie wird ein fünfstufiges Bewertungssystem verwendet. Die in Bezug auf das Kriterium beste Stufe bekommt den Wert +2 und die Farbcodierung dunkelgrün, die schlechteste Stufe den Wert -2 und die Farbcodierung dunkelrot. Zwischenstufen sind mit +1 (hellgrün), 0 (gelb) und -1 (orange) codiert. Dabei sind positive Werte stets so gewählt, dass sie einen Zustand beschreiben, der aus Sicht der Autoren für das Erreichen des Ideals einer nachhaltigen Wirtschaftsweise erstrebenswert ist (bspw. niedrige Treibhausgasemissionen oder ein hoher Rezyklatanteil).

Die Bewertung innerhalb einer Kategorie geschieht mit qualitativen oder quantitativen Indikatoren. Bei qualitativen Indikatoren wird für jede der fünf Stufen eine Beschreibung erstellt, die eine Zuordnung der Demonstratoren erlaubt. Bei quantitativen Indikatoren wird eine konkrete Messgröße benannt und dargestellt, wie die Daten erhalten und, falls erforderlich, berechnet wurden. Anschließend werden für die gewählten Ein- und Mehrwegdemonstratoren die Indikatorwerte berechnet und präsentiert.

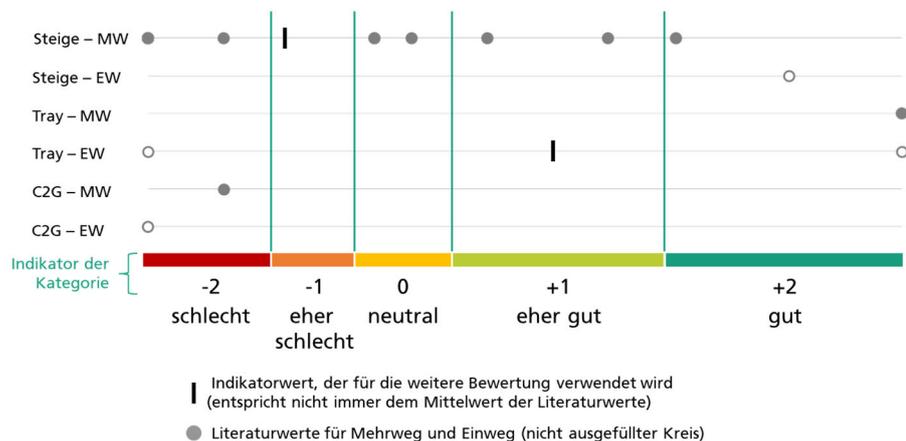
Für die Zuordnung der Indikatorwerte zu einer Bewertungsstufe existieren zwei Möglichkeiten:

- Es sind Referenzwerte vorhanden, anhand derer die Stufeneinteilung vorgenommen werden kann. Es kann sich hier um statistische Mittelwerte aus Branchenerhebungen, Werte aus Analogiebetrachtungen etc. handeln. Für eine sinnvolle Stufeneinteilung liegen im Idealfall mehrere Referenzwerte vor, die sich plausibel Qualitätsstufen zuordnen lassen.
- Sofern keine oder zu wenige Referenzwerte vorliegen, erfolgt die Einteilung der Stufen anhand des für die Demonstratoren berechneten Wertebereichs.

Der Fall b) führt zu einer subjektiven Bewertung anhand von Wertemaßstäben, die vom Autorenteam auf der Basis des durch die ausgewählten Demonstratoren erhalten Wertebereichs bestimmt wurden. Die Analyse weiterer Demonstratoren könnte zukünftig zu Änderungen führen. Wo immer möglich, hat das Autorenteam daher der Methode a) den Vorzug gegeben.

Die Bewertung der Demonstratoren innerhalb einer Kategorie wird in einem Diagramm zusammengefasst (Abbildung 12). Auf der x-Achse sind dabei im Falle von qualitativen Bewertungen die Stufen (als Farbskala) dargestellt; bei quantitativer Bewertung zusätzlich mit dem absoluten Wertebereich der Stufen. Auf der y-Achse sind die Demonstratoren benannt, soweit für diese Daten vorlagen. Bei mehreren Datensätzen pro Demonstrator finden sich diese dann in den zu den Demonstratoren gehörenden Zeilen im Diagramm wieder. Sofern die unterschiedlichen Datensätze für einen einzelnen Demonstrator durch bekannte Parameter erklärt werden können, sind diese Werte im Diagramm ergänzend angegeben. Wird für die zusammenfassende Bewertung des jeweiligen Demonstrators ein Indikatorwert verwendet, welcher nicht bereits als Datenpunkt aufgeführt ist, ist dieser als senkrechter Strich ergänzend eingetragen.

Abbildung 12:
Beispielhafte Darstellung der Bewertung innerhalb einer Kategorie



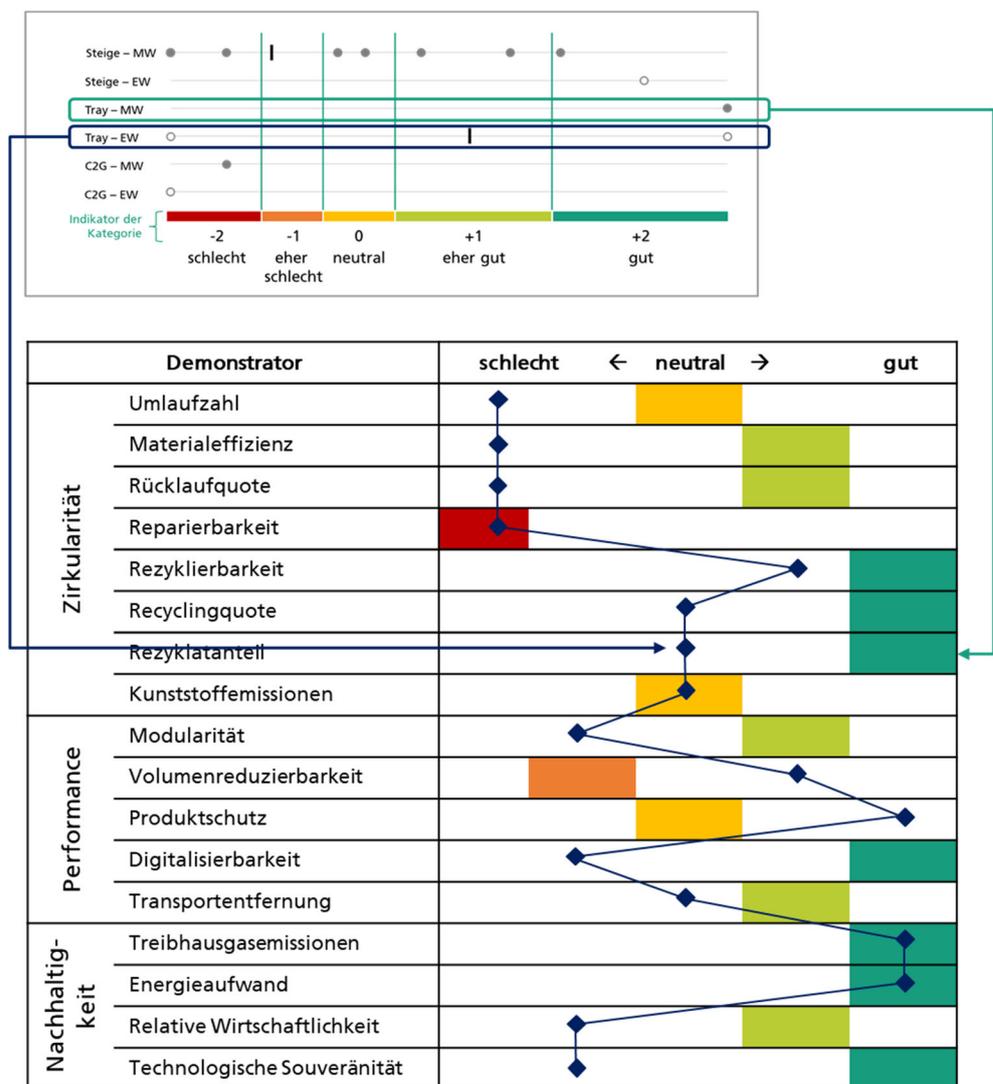
Die Zusammenstellung der Ergebnisse für die verschiedenen Demonstratoren in einem einzigen Diagramm ermöglicht auch einen Vergleich zwischen den sehr unterschiedlichen Anwendungen. Damit dieser Vergleich sinnvoll ist, haben wir bei Materialeffizienz, Wirtschaftlichkeit, Treibhausgasemissionen und kumuliertem Energieaufwand das Verpackungsvolumen als Bezugsgröße verwendet.¹⁷

¹⁷ Bei den Pflanzentrays wurde das Volumen der einzustellenden Pflanzentöpfe verwendet.

Anders als die Masse des Füllguts führt das Verpackungsvolumen zu robusteren Ergebnissen, da die Füllgutmasse als Bezugsgröße von der Dichte des Füllguts abhängig ist. Dennoch sollte berücksichtigt werden, dass es je nach Kategorie für sehr unterschiedliche Ergebnisse zwischen den Demonstratoren auch gute Gründe geben mag, die einen direkten Vergleich erschweren. So können zum Beispiel hoch- und niedrigpreisige Güter unabhängig vom Füllgutvolumen sehr unterschiedlich verpackt sein.

Sämtliche Kategorien werden für jeden Demonstrator zu einem Profil zusammengefasst, welches in Kapitel 7 zu finden ist und hier beispielhaft in Abbildung 13 gezeigt wird. Die Darstellung gibt einen Überblick zur Leistungsfähigkeit in drei Bereichen Zirkularität, Performance und Nachhaltigkeit. Je mehr Indexwerte im grünen Bereich liegen, desto besser ist der Demonstrator. Die Indizes des Mehrwegdemonstrators werden durch farbige Quader gekennzeichnet, die Einwegalternative wird ergänzend als Linie eingezeichnet. Auf diese Weise werden Schwächen und Optimierungspotenziale der Mehrweglösung auf einen Blick sichtbar.

Abbildung 13: Bewertungsprinzip - von den Kategorien zum Demonstratorprofil



5.3 Definition der Parameter: Umlaufzahl, Verlustquote, Bruchquote, Schwund

Die Definition der **Umlaufzahl** mit »durchschnittliche[r] Zahl der Nutzungsphasen eines Mehrwegpackmittels« (Detzel et al. 2016, S. 248) erscheint einfach. Ihre praktische Bestimmung ist hingegen mit Schwierigkeiten verbunden. Erste Einschränkung ist, dass sie nur angegeben werden kann für Systeme, die sich in einem Gleichgewichtszustand befinden. Das bedeutet, es existiert eine feststehende Zahl an Verpackungsmitteln, die im Mehrwegkreislauf zirkulieren.

Bei diesen etablierten MW-Systemen, die eine Marktsättigung erreicht haben, entspricht die Menge der zugeführten Packmittel der Menge an Verlusten. Die **Verluste** entstehen durch Ausschleusung und Schwund von Packmitteln. Dabei erfolgt die **Ausschleusung** mit anschließender Zuführung zu einem Verwertungssystem bei Packmitteln, die nicht mehr repariert werden können, i. d. R. bei der Inspektion vor der Wiederbefüllung durch Poolbetreiber oder Anwendende. **Schwund** entsteht im Wesentlichen durch die Entnahme aus dem Kreislauf zur endgültigen Fremdverwendung, Diebstahl oder Littering. Der Schwund, durch den es zum Materialverlust aus dem Kreislaufsystem kommt, kann auch durch die Rücklaufquote ausgedrückt werden:
Schwundquote = 1 - Rücklaufquote.

Der Gesamtverlust an Packmitteln durch Schwund und Ausschleusung muss durch neu hergestellte Produkte ausgeglichen werden. Aus einer Anzahlbilanz der Packmittel folgt, dass die Umlaufzahl und die Verlustquote pro Umlauf miteinander in Beziehung stehen: **Umlaufzahl = 1/Verlustquote**. Wenn nach einem Umlauf ein Prozent der Packmittel nicht wiederbefüllt werden kann, unabhängig davon, ob dies darin begründet ist, dass sie wegen Schwunds nicht zurück gelangten oder ausgeschleust wurden, folgt eine durchschnittliche Umlaufzahl der Packmittel von 100. Bei zwei Prozent Verlust ist die Umlaufzahl 50. Somit ist die Umlaufzahl auf einfache Weise über die Menge der nachzuliefernden frischen Packmittel in ein System bestimmbar. Wie bereits erwähnt, gilt dies allerdings nur für ein System, das sich im Gleichgewicht befindet, also mit konstanter Zahl an Packmitteln arbeitet.

Befinden sich Mehrwegsysteme noch im Aufbau oder expandieren, so ist die Zahl der neu in das System eingebrachten Packmittel höher als der Ausgleich der Verluste. In diesem Fall – und der ist bei den meisten auf Kunststoffverpackungen basierten Mehrwegsystemen heute vorliegend – kann die Umlaufzahl nicht aus der Zahl der in das System eingebrachten Packmittel hergeleitet werden. Die im späteren Gleichgewicht erwartbaren Umlaufzahlen müssen stattdessen aus der Kenntnis der Aussonderungs- und Schwundquoten abgeschätzt werden, da deren Summe die Verlustquote ergibt. Hierbei ist jedoch zu bedenken, dass die Werte für Aussonderung und Schwund in Systemen, die sich noch im Aufbau befinden, nicht mit denen der etablierten Systeme übereinstimmen dürften. So wird einerseits die Aussonderung bei noch vergleichsweise jungen Packmitteln geringer sein als nach langjährigem Betrieb des Mehrwegsystems. Auf der anderen Seite wird der Schwund durch Entnahme zu anderen Nutzungen im Laufe der Zeit zurückgehen.

Die Bestimmung der Umlaufzahlen im Rahmen dieser Studie erfolgte auf der Basis einer umfassenden Literaturrecherche und von Interviews mit erfahrenen Personen aus dem Betrieb der betrachteten Beispielsysteme (s. Kapitel 6.1.1).

5.4 Umgang mit Unsicherheiten

Die Aussagen der vorliegenden Studie basieren auf konkreten Fallstudien, Literaturdaten, Expertenbefragungen und eigenen Berechnungen. Dort wo die Ergebnisse im Sinne der Zielsetzung der Studie, nämlich einen generellen Vergleich zwischen kunststoffbasierten Mehrwegsystemen und ihren Einwegwettbewerbern zu erstellen, verallgemeinern, müssen sie daher als vorläufig und mit Unsicherheiten behaftet verstanden werden. Anders ist es für eine Metastudie wie dieser auch kaum möglich. Bis heute liegen nur wenige Lebenszyklusbetrachtungen von Einweg- und Mehrwegsystemen vor, deren Datengrundlage sich für Metastudien empfehlen würde. Die bei verfügbaren Ökobilanzstudien angewendeten komplexen und ausgefeilten Methoden dürfen nicht darüber hinwegtäuschen, dass sich die Berechnungen zum erheblichen Teil auf Branchenmittelwerte, Expertenschätzungen, Vereinfachungen oder Analogiebetrachtungen stützen. Zudem werden die Systemgrenzen und Allokationsregeln sehr unterschiedlich gewählt. Zu manchen von uns betrachteten Kategorien konnten wir auf keinerlei Vorstudien zurückgreifen, sodass wir eigene, vereinfachende Analysen durchgeführt haben. Wir gehen davon aus, dass diese Analysen und die erzielten Ergebnisse für die Leser ausreichend plausibel dargelegt wurden, und stehen als Autorenteam für Nachfragen zu unserem Vorgehen gerne zur Verfügung. Die Unsicherheiten, die sich aus dem gewählten Vorgehen ergeben, sollten bei Verallgemeinerungen und Schlussfolgerungen auf der Basis der hier berichteten Ergebnisse immer berücksichtigt werden.

Wir haben die Quellen für die Analyse der Kategorien in Bezug auf ihre Qualität bewertet und dafür den Pedigree-Ansatz verwendet (Kapitel 9.3.1). Damit lassen sich Literaturquellen und Expertenmeinungen einer qualitativen Bewertung unterziehen. Die Unsicherheiten haben wir damit transparent gemacht. Trotzdem verzichten wir in den meisten Fällen bei der Auswertung der Kategorien auf die Angabe von Spannbreiten, da auch diese Angaben nur Schätzwerte darstellen würden und eine falsche Sicherheit suggerieren könnten.

Politische Entscheidungen und Rahmensetzungen sind in der Regel nicht für jeden Einzelfall legitimiert. Thema ist stattdessen, die wahrscheinlich sinnvollste Richtung vorzugeben. Ein gutes Beispiel hierfür ist die in der Abfallpyramide festgeschriebene Hierarchie der Behandlungsmaßnahmen, die nicht für jeden Anwendungsfall sinnvoll ist. Auch wurde deren Einhaltung nicht für jeden Anwendungsfall überprüft. Stattdessen stellt sie vor allem eine von den Experten ausgearbeitete sinnvolle Vorabschätzung dar. Trotz der Unsicherheiten halten wir daher den hier vorgenommenen Versuch einer Gesamtschau und der Ableitung von verallgemeinerten Empfehlungen für notwendig. Sie können ein wichtiges Element in politischen Debatten zu Mehrweg- und Einwegverpackungen sein. Dennoch sollte die Datengrundlage zukünftig verbessert werden, um Einzelfallentscheidungen faktenbasiert treffen zu können und auch eine fortlaufende Nachjustierung der politischen Rahmenbedingungen zu ermöglichen.

6 Bewertung von Ein- und Mehrwegalternativen anhand ausgewählter Kategorien

Die verwendeten Kategorien zur Beschreibung der Vor- und Nachteile von Ein- und Mehrweglösungen lassen sich in drei Gruppen (Hauptkategorien) einteilen:

- Zirkularitätskategorien,
- Performancekategorien und
- Nachhaltigkeitskategorien.

Die Zirkularitätskategorien adressieren die unternehmensübergreifenden Aspekte einer Kreislaufwirtschaft. Wir gehen von der grundlegenden und von vielen Akteuren geteilten Annahme aus, dass eine effiziente Kreislaufwirtschaft sowohl im Sinne von Wirtschaftlichkeit als auch Umweltverträglichkeit wünschenswert und gegenüber einer linearen Wirtschaft im Vorteil ist. Diese Annahme muss sich letztlich aber auch in Vorteilen bei den Performance- und Umweltkategorien ausdrücken. Die Circular Economy ist daher vor allem ein vielversprechender Lösungsansatz, darf aber kein Selbstzweck sein. Da das lineare Wirtschaften in der heutigen Weise aber ganz offensichtlich nicht fortschreibbar ist, ohne die menschliche Existenz zu bedrohen, Effizienzsteigerungen nur noch begrenzt möglich und umfassende Verzichtsstrategien (Suffizienz) kaum durchsetzbar sind, ist die Circular Economy wohl auch weitgehend alternativlos.

Unter Performancekategorien verstehen wir vor allen Dingen solche Kategorien, die sich auf die unmittelbare Wirkung beziehen, die Verpackungen auf die Geschäftsprozesse der sie nutzenden Unternehmen haben. Die Nachhaltigkeitskategorien adressieren die Wirkungen von Verpackungssystemen in Bezug auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft.

Die Auswahl der Kategorien (Abbildung 14) erfolgte nach Relevanz aus Sicht der Autoren und Datenverfügbarkeit. Sie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder Überschneidungsfreiheit. Dennoch gehen wir davon aus, dass sie einen guten Ausschnitt aus den Funktionen und Eigenschaften, die üblicherweise mit Verpackungen verbunden sind, wiedergeben.

Abbildung 14:
In dieser Studie betrachtete Kategorien



Die Analysen innerhalb der einzelnen Kategorien orientieren sich an der folgenden Struktur

1. Kurze Beschreibung der Kategorie und ihrer Relevanz
2. Vorschlag für einen Bewertungsmaßstab/Indikator
3. Bestimmung der Werte für die untersuchten Systeme

Bei den verwendeten Bewertungsmaßstäben und Indikatoren nutzen wir sowohl bekannte Größen als auch solche, die neu sind und auf eigenen Überlegungen basieren. Um eine Gesamtbewertung anhand verschiedener Kategorien zu ermöglichen, werden die absoluten Indikatorwerte in Indexpunkte einer fünfstufigen Skala von -2 bis +2 überführt. Wo möglich, haben wir für die Indexierung absolute Referenzen zur Anwendung gebracht. In anderen Fällen haben wir als Bezugsgröße die Werte für Einwegsysteme verwendet. Eine Zusammenstellung der Kategorien je Demonstrator findet sich in Kapitel 7.

Im Anhang (Kapitel 9.4) befinden sich zu den untersuchten Kategorien die Zahlenwerte in Tabellen, ergänzt um eine Bewertung der Datenqualität nach dem Pedigree-Ansatz (vergl. Kapitel 9.3.1).

6.1 Zirkularitätskategorien

Die im Folgenden analysierten Zirkularitätskategorien sollen darüber Aufschluss geben, wie gut die Kreislaufführung eines Packmittels möglich ist. Wichtig ist, die Zirkularitätskategorien nicht pauschal mit positiven Nachhaltigkeitswirkungen gleichzusetzen. Dennoch sehen in einer Befragung, die die weltgrößte Klassifikationsgesellschaft für Schiffe durchgeführt hat (DNV 2021), von 793 Unternehmen 57,5 Prozent in der Umsetzung einer Circular Economy Chancen für eine verbesserte Nachhaltigkeitsperformance. 65,7 Prozent erhoffen sich von einer hohen Zirkularität Kosteneinsparungen. Darüber hinaus wird erwartet, dass eine Umsetzung von Strategien der Circular Economy (CE) den Markenwert steigert sowie eine bessere Berücksichtigung von Kunden-, Stakeholder- und Investoreninteressen ermöglicht. Als wichtigste Strategien für eine CE

werden die Kreislaufführung von Produkten, die Verlängerung der Produktlebensdauer, die gemeinsame Nutzung von Produkten (Sharing), die Wiederverwertung von Ressourcen sowie die Umsetzung von Konzepten zu Produkt-Service-Systemen angesehen.

75 Prozent der befragten Unternehmen analysieren die Chancen einer Circular Economy für ihr Unternehmen, 33 Prozent wollen in den nächsten Jahren mindestens einen strategischen Ansatz für eine Circular Economy umsetzen, 26 Prozent haben das Konzept einer CE bereits in ihre Nachhaltigkeitsstrategie integriert und 12,4 Prozent sehen darin bereits heute den Kern ihres Geschäftsmodells. Zentrales Ergebnis der Befragung ist aber, dass eine Circular Economy stärker als bisher unternehmensübergreifende Kooperationen entlang der Supply Chain, über den Lebenszyklus und sogar mit vermeintlichen Wettbewerbern erfordert.

Vor diesem Hintergrund kann die Circular Economy als wichtiger Enabler (Befähiger) für eine nachhaltige Entwicklung angesehen werden. Sie wird daher in den folgenden Kapiteln in Bezug auf den Gegenstand dieser Studie ausdifferenziert und genauer analysiert.

6.1.1 Re-use/Umläufe und Lebensdauer

Die Wiederverwendung (Re-use) von Verpackungslösungen ist eine der zentralen Strategien in einer Circular Economy. Durch sie werden Nutzungsdauer und -häufigkeit von Produkten oder ausgewählten Einzelkomponenten gesteigert (Potting et al. 2017). Von Wiederverwendung spricht man, wenn die erneute Nutzung unter Erhalt der Produktgestalt für den gleichen Zweck erfolgt. Findet die erneute Nutzung für einen anderen Zweck statt, spricht man von Weiterverwendung. Der Erhalt der Gestalt (Form) unterscheidet die Wiederverwendung und Weiterverwendung vom Recycling, bei dem ausschließlich eine erneute Nutzung des (Werk-)Stoffs stattfindet.

Die Wiederverwendung sollte beim Design der Verpackungslösung berücksichtigt werden, da die Kreislaufführung der Mehrwegvariante zusätzliche Anforderungen und Möglichkeiten ergänzend zur eigentlichen Verpackungsaufgabe stellt, wie beispielsweise die Volumenreduktion (vgl. Abschnitt 6.2.2) oder die Reparierbarkeit (Abschnitt 6.1.4) zur Verlängerung der Lebensdauer. Hier können durch die Branche erarbeitete Standards zukünftig helfen.

Bewertungsmaßstab/Indikator

Die Häufigkeit der Wiederverwendung einer Verpackungslösung wird mit den Umläufen, dargestellt als Umlaufzahl gemessen. In einem methodischen Gutachten zu Ökobilanzen von Getränkeverpackungen für das Umweltbundesamt fassen Detzel et al. (2016) zusammen, dass »Umlaufzahlen [...] seit jeher ein Diskussionspunkt in Ökobilanzen [sind], da es kein verbindliches Verfahren zur Bestimmung gibt und meist keine empirisch gestützte Ermittlung der Umlaufzahlen durchgeführt wird.« (Detzel et al. 2016, S. 33)

Die Definition von Detzel et al. (2016), nach der die **Umlaufzahl** die »durchschnittliche Zahl der Nutzungsphasen eines Mehrwegpackmittels« ist, sowie weitere damit zusammenhängende Indikatoren wurden in Kapitel 5.3 erläutert.

Einwegsysteme haben somit per Definition die Umlaufzahl 1. Da Re-use/Wiederverwendung eine zentrale Strategie zur Realisierung einer Circular Economy ist und neben dem Recycling eine zweite Option zur Schließung der Kreisläufe darstellt, ist es dennoch sinnvoll, die Umlaufzahl für beide Systeme auszuweisen, auch wenn die Einwegsysteme hier grundsätzlich schlechter abschneiden. Die Bestimmung der Umlaufzahlen für die Mehrwegsysteme erfolgte auf Basis einer umfassenden Literaturrecherche und der Durchführung von Interviews mit erfahrenen Personen aus dem Betrieb der betrachteten Demonstratoren.

Für die Nutzung des Indikators »Umlaufzahl« wird nachfolgende Skala verwendet (Tabelle 1). Bei der Festlegung der Wertebereiche wurden die betrachteten MW-Systeme als »neutral« bis »gut« eingestuft, nur diejenigen mit Umlaufzahlen von über 150 werden als »sehr gut« eingestuft. Das ermöglicht, die Skala nach »oben« für Demonstratoren mit höheren Umläufen sowie für zukünftige Weiterentwicklungen der betrachteten MW-Systeme zu reservieren.

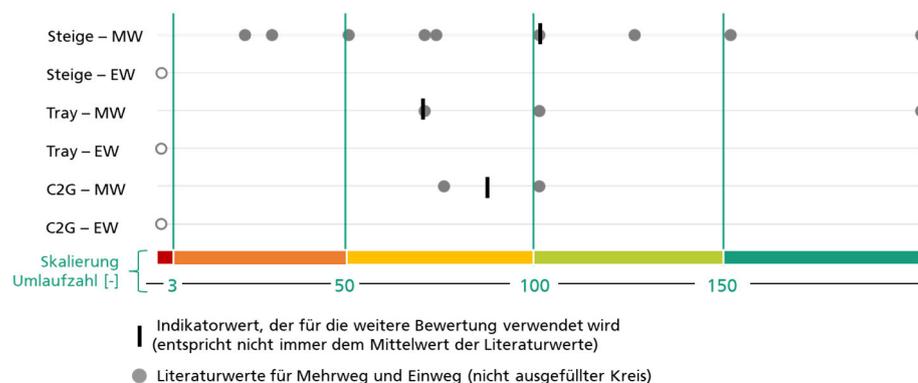
Tabelle 1: Bewertung des Indikators Umlaufzahl

Indikator	-2 (schlecht)	-1 (eher schlecht)	0 (neutral)	+1 (eher gut)	+2 (gut)
Umlaufzahl	< 3	3 bis < 50	50 bis < 100	100 bis < 150	≥ 150

Bestimmung der Werte für die untersuchten Systeme

Die folgende Grafik zeigt die Ergebnisse für die untersuchten Mehrwegsysteme (MW) und die korrespondierenden Einwegalternativen (EW). Hinweise zur Ermittlung der Werte sind im Text unter der Abbildung gegeben. Tabellen mit den verwendeten Daten finden sich in Kapitel 9.4.1.

Abbildung 15:
Umlaufzahl von Einweg- und Mehrwegsystemen im Vergleich



Aufbauend auf den in Kapitel 9.4.1 aufgeführten Umlaufzahlen wurden nachfolgende Indikatorwerte für **Obst- und Gemüsesteigen** abgeleitet. Am häufigsten wurden Umlaufzahlen zwischen 100 bis 150 für MW-Steigen recherchiert/genannt. Erfahrungen aus der Praxis haben jedoch in den letzten Jahren eher eine Umlaufzahl der Obst- und Gemüse-Mehrwegsteigen von maximal 100 gezeigt. Hier wird ein Indikatorwert von +1 zugeordnet.

Bei **Pflanzentrays** wurde der Wertebereich für Mehrweg etwas enger und niedriger mit 70 bis 100 angegeben. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass die Mehrweglösung noch weniger etabliert ist als diejenige im Gemüse- und Obstsektor. Für den weiteren Vergleich wird eine Umlaufzahl von 70 (Indikatorwert 0) verwendet.

Der Markt für **Coffee-to-go-Becher** befindet sich ebenfalls noch im Aufbau, so sind beispielsweise die heutigen RECUP-Becher frühestens seit Mai 2017 im Umlauf (Pachaly 2021). Bei 15 Umläufen pro Jahr seit ca. 5 Jahren sind somit bereits 75 Umläufe erreicht. Bei Testzyklen in industriellen Waschmaschinen konnten nach 1000 Wäschen keine Mängel an den Bechern festgestellt werden. Ein Wertebereich von 70 bis 100 Umläufen (im Mittel 85 Umläufe, Indikatorwert 0) ist daher für die MW-Becher als realistisch anzusehen und wird in dieser Studie für den weiteren Vergleich verwendet. Für PET-Mehrwegflaschen werden heute nur Umlaufzahlen von 15 bis 20 erreicht (Deutsche Umwelthilfe e.V. 2020). Hier muss sich zukünftig zeigen, ob die hohen Erwartungen an die Umläufe bei den Mehrwegbechern gerechtfertigt sind.

6.1.2 Materialeffizienz und Materialintensität

Der Materialbedarf für Verpackungen ist sehr unterschiedlich. Bei Einwegsystemen wird versucht, den Materialeinsatz so weit wie möglich zu reduzieren, um Kosten für Material und Abfallbeseitigung einzusparen. Mehrwegverpackungen werden hingegen in der Regel mit einem deutlich höheren Materialeinsatz in einem robusten Design realisiert, um viele Nutzungen und eine lange Lebensdauer zu ermöglichen. Letztlich muss es für eine ökologisch und ökonomisch vorteilhafte Verpackung ein grundlegendes Ziel sein, den Materialeinsatz bezogen auf das Füllgutvolumen pro Nutzung zu minimieren. Dies wirkt sich tendenziell günstig auf die Kosten, die extrahierten Ressourcen oder auch die Freisetzung von Kohlendioxid bei der thermischen Beseitigung aus.

Bei der Bewertung der Materialeffizienz ist zu berücksichtigen, ob Einsparungen im Bereich der Primärverpackung ggf. auf Kosten eines steigenden Materialeinsatzes bei Sekundär- und Tertiärverpackungen erreicht wurden. So erfordert eine nicht stapelfähige Primärverpackung ausreichend stabile Transportverpackungen, um eine effiziente Nutzung von Transportraum- und Lagerraumkapazitäten sicherzustellen.

Bewertungsmaßstab/Indikator

Als Maßstab für die Materialeffizienz wird in dieser Studie die Materialintensität, definiert als Masse der Verpackung bezogen auf das Volumen des Füllguts und die Zahl der Nutzungen, verwendet. Je niedriger die Materialintensität

desto höher die Materialeffizienz. Klooster et al. (2017) haben für eine Vielzahl von Produkten im Bereich der Lebensmittelverpackungen das Verhältnis von Verpackungsgewicht zu Produktgewicht untersucht. Die Spannweite reichte von etwa 1 Gramm bis 100 Gramm Verpackung pro Kilogramm Füllgut, wobei nur wenige Ausnahmen darunter oder darüber lagen. Die Erwartung, dass sich das Verhältnis von Verpackungsmasse zur Masse des Füllguts mit zunehmender Füllgutmasse reduziert, konnten die Autoren nicht bestätigen. Sie begründen dies u. a. mit erhöhten Stabilitätsanforderungen bei größeren Verpackungen. Unter der Annahme, dass die Füllgüter eine Dichte von etwa 1 Kilogramm pro Liter haben, wurde für die Bewertung der Materialintensität eine Einteilung gemäß Tabelle 2 festgelegt. Auch wenn diese generische Einteilung einen Vergleich von Verpackungen anwendungsübergreifend ermöglicht, muss darauf hingewiesen werden, dass es spezifische Anwendungen gibt, die deutlich abweichende Materialintensitäten erfordern (bspw. aus Gründen des Produktschutzes). Hier sind dann im Einzelfall detailliertere Analysen erforderlich.

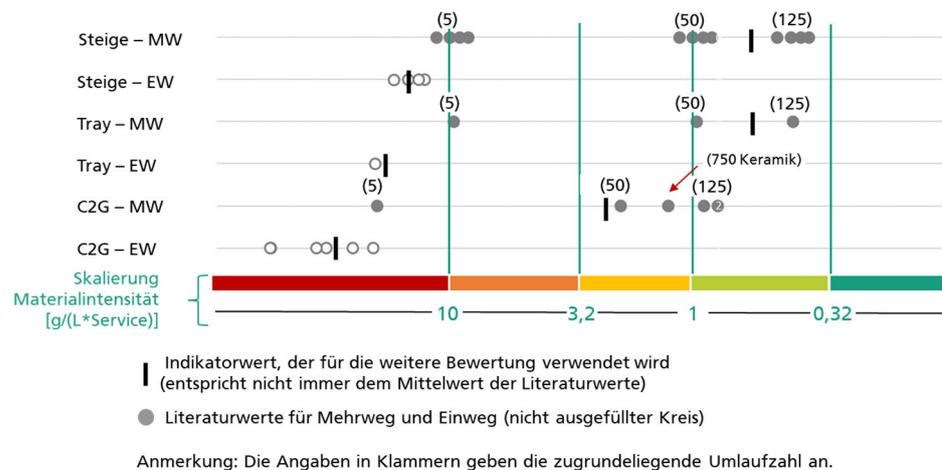
Tabelle 2: Bewertung des Indikators Materialintensität

Indikator	-2 (schlecht)	-1 (eher schlecht)	0 (neutral)	+1 (eher gut)	+2 (gut)
Materialintensität [g/(L x Nutzung)]	≥ 10	3,2 bis < 10	1 bis < 3,2	0,32 bis < 1	< 0,32

Bestimmung der Werte für die untersuchten Systeme

Die folgende Grafik zeigt die Ergebnisse für die untersuchten Mehrwegsysteme (MW) und die korrespondierenden Einwegalternativen (EW). Hinweise zur Ermittlung der Werte sind im Text unter der Abbildung gegeben. Tabellen mit den verwendeten Daten finden sich in Kapitel 9.4.2.

Abbildung 16: Materialeffizienz und -intensität von Einweg- und Mehrwegsystemen im Vergleich



Die Vorteile bei der Materialeffizienz fallen bei allen drei Demonstratoren deutlich zugunsten der Mehrwegsysteme aus. Dies zeigt sich bereits bei einer geringen Gesamtumlaufzahl von 5. Bei Erhöhung der Umlaufzahl sinkt die Materialintensität deutlich, sodass durch Mehrwegsysteme eine Materialeffizienz erreicht wird, die durch Einwegverpackungen selbst bei Ausschöpfung zukünftiger Einsparpotenziale (dünnere Folien, Vermeidung sogenannter »Mogelverpackungen«) kaum erreichbar sein wird.

Für **Mehrwegsteigen** für O/G im B2B-Einsatz sind Umlaufzahlen von über 50 üblich. Daraus ergeben sich Materialintensitäten von unter 1 Gramm pro Nutzung und Liter Füllgut (Indikatorwert +1). **Einwegsteigen** liegen hingegen deutlich über 10 Gramm pro Nutzung und Liter Füllgut (Indikatorwert -2). Das vermeintlich hohe Gewicht von Mehrwegverpackungen wird also über die Vielzahl der Nutzungen mehr als überkompensiert. Darüber hinaus kann die Materialintensität bei Mehrwegverpackungen nicht nur durch Materialeinsparungen am Packmittel selbst, sondern auch durch eine Erhöhung der Umlaufzahl (bspw. durch Minimierung von Verlusten, Verkürzung der Umschlagszeit etc.) verringert werden.

Einwegpflanzentrays aus Kunststoff sind seit langem im Einsatz. Aufgrund der besseren mechanischen Eigenschaften erreichen sie eine etwas niedrigere Materialintensität als die Einwegsteigen aus Karton (Indikatorwert -2). Dennoch können sie mit der (zu erwartenden) Materialeffizienz für **Mehrwegpflanzentrays** (bei der Annahme, dass mindestens 50 Umläufe erreicht werden, Indikatorwert +1) nicht konkurrieren. Die Erfahrungen mit bestehenden Lösungen sowie Designstudien für zukünftige Mehrwegsysteme lassen ähnliche oder sogar höhere Materialintensitäten wie bei den Mehrwegsteigen erwarten, da es keine beweglichen Teile gibt.

Coffee-to-go-Becher adressieren im Gegensatz zu Steigen und Trays den B2C-Markt. Etabliert haben sich hier in den letzten Jahrzehnten vor allem Einweglösungen. Als **Coffee-to-go-Einwegbecher** kommen zukünftig vor allem Papierbecher infrage. Aufgrund der Tatsache, dass diese zunehmend doppelwandig und geriffelt ausgeführt werden, sind die Materialintensität vergleichsweise hoch und die Materialeffizienz niedrig. Eine etwas geringere Materialintensität weist der »Automatenbecher« aus Polystyrol auf. Grundsätzlich bleibt die Materialintensität bei allen Varianten aber über 10 Gramm pro Nutzung und Liter Füllgut (Indikatorwert -2). Becher aus geschäumtem Polystyrol sind durch die Umsetzung von Regelungen der EU-Einwegkunststoffrichtlinie EU 2019/904 (2019) im VerpackG (2021) seit Juli 2021 verboten.

Bei den **Coffee-to-go-Mehrwegbechern** setzen die derzeitigen Anbieter fast ausnahmslos auf Polypropylenbecher. Die Materialeffizienz im Vergleich zur Einweglösung ist ab 5 Nutzungen gegeben. Spülmaschinentests haben gezeigt, dass sich die Becher deutlich öfter verwenden lassen, für eine konservative Abschätzung gehen wir hier von mindestens 50 Umläufen aus (vgl. Abschnitt 6.1.1). Es ergibt sich ein Indikatorwert von 0. Bei sehr häufiger Nutzung (750-mal) weisen selbst schwere Keramikbecher eine gute Materialeffizienz auf. Bis

heute gibt es aber keine Belege, dass entsprechend häufige Nutzungen realistisch sind.

Materialintensitäten von 0,32 Gramm pro Verpackung und Nutzung und damit ein Indikatorwert von +2 wären für alle Mehrweganwendungen bei deutlich höheren Umlaufzahlen (ca. 500) erreichbar. Diese scheinen derzeit in der Praxis aber noch nicht darstellbar.

6.1.3 Rückläufe und Materialverluste

Materialverluste behindern eine effiziente Kreislaufwirtschaft. Die Verluste stehen für eine hochwertige Verwertung nicht zur Verfügung und müssen durch Neumaterial kompensiert werden. Materialverluste aus einem Kreislaufsystem können verschiedene Ursachen haben:

- Beseitigung als Restabfall oder Zufuhr zum Recycling außerhalb des Kreislaufsystems – das schließt den Export von Abfällen zum Recycling außerhalb der betrachteten Region, hier Deutschland, ein
- Nichtrückgabe wegen endgültiger Fremdverwendung (Sammelobjekt, Baumaterial etc.)

Darüber hinaus können auch Littering oder Abrieb Gründe für Materialverluste sein, diese sind in der Regel aber deutlich geringer und werden separat in Abschnitt 6.1.8 behandelt. Die nicht verlorengangenen Verpackungsmaterialien werden erfasst und weiter genutzt oder einer Verwertung zugeführt.

Bewertungsmaßstab/Indikator

Als Bewertungsmaßstab für die Materialverluste dient die Rücklaufquote. Bei Mehrwegsystemen wird die Rücklaufquote häufig direkt erfasst. Bei Einwegsystemen berechnet sie sich aus der zur Verwertung erfassten Abfallmenge, bezogen auf die insgesamt zur Entsorgung anstehende Abfallmenge:

$$\text{Rücklaufquote} = \frac{\text{Abfallmenge zur Verwertung}}{\text{Abfallmenge zur Entsorgung}}$$

Die zur Entsorgung anstehende Abfallmenge kann dabei aus der Verbrauchsmenge, korrigiert um Export-/Importüberschüsse, Produktionsabfallmengen und Änderungen, im Lagerbestand bestimmt werden. Aus der GVM-Studie zum Aufkommen von Verpackungsabfällen lassen sich Referenzwerte ableiten, anhand derer die Einteilung der Ordinalskala zur Bewertung durchgeführt werden kann (Schüler 2020). Dazu werden im Folgenden einzelne Abfallgruppen analysiert.

Der Verbrauch an Kunststoffverpackungen in Deutschland, korrigiert um Importe und Exporte sowie Produktionsabfälle, betrug 2018 3,24 Millionen Tonnen. Von dieser Menge werden derzeit 2,46 Millionen Tonnen für die Verwertung durch Systemanbieter, Branchenlösungen, Einwegpfandsysteme etc. erfasst (ohne energetische Verwertung in Abfallverbrennungsanlagen). Es ergibt

sich eine durchschnittliche Rücklaufquote von Kunststoffverpackungen für Deutschland von:

$$\text{Rücklaufquote}_{\text{Kunststoff},2018} = \frac{2,46 \text{ Mt}}{3,24 \text{ Mt}} \approx 76 \%$$

Würde von der zur Verwertung erfassten Menge der ins Ausland exportierte Anteil abgezogen (0,20 Millionen Tonnen), so verringerte sich die Rücklaufquote bei Kunststoffen auf 69,8 Prozent. Unklar ist allerdings, ob und wie viel Sekundärmaterialien aus dem Ausland wieder für den Kunststoffverbrauch in Deutschland importiert wird. Vereinfachend wird angenommen, dass diese Stoffströme identisch sind, sodass auf eine Korrektur verzichtet werden kann.

Für Papier, Pappe und Karton (PPK) beträgt die Rücklaufquote (VDP - Verband deutscher Papierfabriken 2021).¹⁸

$$\text{Rücklaufquote}_{\text{PPK},2018} = \frac{7,28 \text{ Mt}}{8,34 \text{ Mt}} \approx 87 \%$$

Aufbauend auf den Werten für Kunststoff werden Rücklaufquoten von unter 80 Prozent als eher niedrig und unter 70 Prozent als niedrig eingestuft. Eine akzeptable Rücklaufquote ergibt sich aus dem aktuellen Wert für Papier und beträgt zwischen 80 und 90 Prozent, eher hohe Rücklaufquoten betragen 90 bis 95 Prozent, hohe Rückquoten legen wir auf über 95 Prozent fest (Tabelle 3).

Tabelle 3: Abstufung des Indikators Rücklaufquote

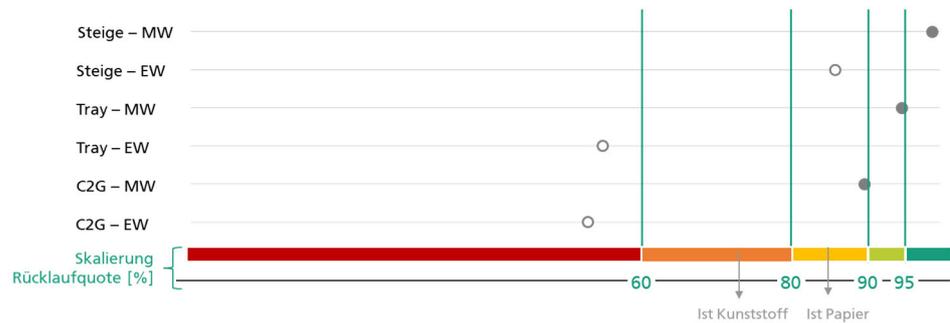
Indikator	-2 (schlecht)	-1 (eher schlecht)	0 (neutral)	+1 (eher gut)	+2 (gut)
Rücklaufquote	< 70 %	70 bis < 80 %	80 bis < 90%	90 bis < 95 %	≥ 95 %

Bestimmung der Werte für die untersuchten Systeme

Die folgende Grafik zeigt die Ergebnisse für die untersuchten Mehrwegsysteme (MW) und die korrespondierenden Einwegalternativen (EW). Hinweise zur Ermittlung der Werte sind im Text unter der Abbildung gegeben. Tabellen mit den verwendeten Daten finden sich in Kapitel 9.4.3.

¹⁸ Für PPK insgesamt gibt der Verband der deutschen Papierfabriken niedrigere Werte von 78 % an.

Abbildung 17: Rücklaufquote von Einweg- und Mehrwegsystemen im Vergleich



Mehrwegsteigen im B2B-Einsatz erreichen Rücklaufquoten von 99,2 Prozent (Muske 2021). Dies entspricht einem Indikatorwert von +2. Woher der Schwund von 0,8 Prozent resultiert, ist unklar. Vermutlich handelt es sich um Verwendungen außerhalb des angedachten Zwecks, die ggf. auch nur zu verlängerten Rücklaufzeiten führen.

Die Verwertung von PPK-Transportverpackungen im Handel ist sehr heterogen. Sie findet durch eine Vielzahl unterschiedlicher Unternehmen und auf sehr unterschiedlichen Pfaden statt. Sowohl das Abfallaufkommen als auch die zur Verwertung anstehenden Mengen lassen sich daher nur schwer quantifizieren (Schüler 2020). Für **Kartonage-Einwegsteigen** wird daher für die Rücklaufquote der Durchschnittswert von 87 Prozent für die Werkstoffgruppe PPK als realistisch angenommen (Indikatorwert 0).

Bei **Einwegtrays für den Pflanzentransport** liegt der Recyclinganteil (Tray-to-tray) laut Angaben eines Marktführers bei 50 Prozent (Normpack 2021). Aufgrund der Tatsache, dass für Gewerbeabfälle keine verpflichtenden Sammelsysteme existieren und auch keine explizite Brancheninitiative für die Sammlung von Pflanzentrays identifiziert wurde, kann davon ausgegangen werden, dass die Rücklaufquote bei ca. 55 Prozent liegt (Recyclinganteil zuzüglich 5 Prozent Ausschuss) und der Rest der thermischen Abfallverwertung zugeführt wird (Indikatorwert -2).

Für **Mehrwegpflanzentrays** hängt die realisierbare Rücklaufquote auch davon ab, ob das System zum Endkonsumenten hin geöffnet wird (Mitnahme und Rückgabe des Trays durch den Verbraucher). In diesem Fall zeigen Erfahrungen, dass nur bei Erhebung eines Pfands mit hohen Rücklaufquoten zu rechnen ist. Die Erwartung von Experten gehen aber davon aus, dass höchstens 5 Prozent der Trays von Endkonsumenten mitgenommen werden (Muske 2021; Oldenburg 2021). Im Ergebnis kann daher eine Rücklaufquote von über 95 Prozent erwartet werden (Indikatorwert +2).

Für den **Coffee-to-go-Mehrwegbecher** wurden im Rahmen einer Untersuchung bei einem Tankstellenbetreiber Rücklaufquoten von bis zu 90 Prozent ermittelt (Pachaly 2021). Da die Mehrwegsysteme noch im Aufbau sind und die Bestandsmenge derzeit deutlich zunimmt, sind Rücklaufquoten auf der Ebene des Poolbetreibers noch nicht verfügbar (Indikatorwert 0).

Einwegverpackungen werden zu 81 Prozent für den Sofort- und Außer-Haus-Verzehr verwendet. Es ist kaum davon auszugehen, dass große Mengen getrennt erfasst und über die dualen Systeme einer Verwertung zugeführt werden. Vor allem in öffentlichen Abfallbehältern entsorgte **Einwegbecher** werden vermutlich zum großen Anteil als Restabfall beseitigt und stehen demnach für eine Verwertung nicht mehr zur Verfügung. Dies bedeutet auch, dass die Einwegbecher neben der Gebühr, die sich aus der Beteiligungspflicht an den dualen Systemen ergibt, zusätzliche Kosten erzeugen, da die Entsorgung als Restabfall in öffentlichen Papierkörben über die Abfallgebühren finanziert wird (Städte-Gemeindebund Nordrhein-Westfalen 2003). Etwa 43 Prozent der Einwegbecher werden im To-go-Bereich eingesetzt (Kauertz et al. 2019). Vereinfachend wird angenommen, dass dieser Anteil keiner Verwertung über die dualen Systeme zugeführt wird, sondern über öffentliche Papierkörbe als Restabfall thermisch beseitigt wird. Sofern für den Außer-Haus-Verzehr verwendete Becher nach der Nutzung der Gelben Tonne zugeführt würden, könnte der Anteil verwerteter Einwegbecher höher sein, gleichzeitig könnten aber auch auf Veranstaltungen genutzte Einwegbecher, die über öffentliche Papierkörbe entsorgt werden, die nicht verwertete Menge deutlich erhöhen. Die Rücklaufquote in die Verwertungssysteme für Einwegbecher wird daher mit 57 Prozent angenommen (Indikatorwert -2).

6.1.4 Reparierbarkeit

Die Reparatur von Produkten ist in Mehrwegsystemen eine Möglichkeit, die Lebensdauer zu verlängern. Sie ist in der Regel eine Option bei Produkten, die aus mehreren Komponenten bestehen. Ob eine Reparatur in Betracht gezogen wird, ist letztlich eine Entscheidung zwischen den Reparaturkosten im Vergleich zum Neuwert des Produkts. Während einer Reparatur ausgetauschte Komponenten sind beispielsweise bewegliche Teile bei Steigen, die die Klappbarkeit und damit Volumenreduktion ermöglichen (z. B. Hebel, Seitenteile) oder derzeit noch zum Teil aufgeklebte Codes/Tags für die Identifikation der Produkte.

Bewertungsmaßstab/Indikator

Um die Reparierbarkeit der betrachteten Verpackungen qualitativ bewerten zu können, wird nachfolgende Skalierung verwendet (Tabelle 4).

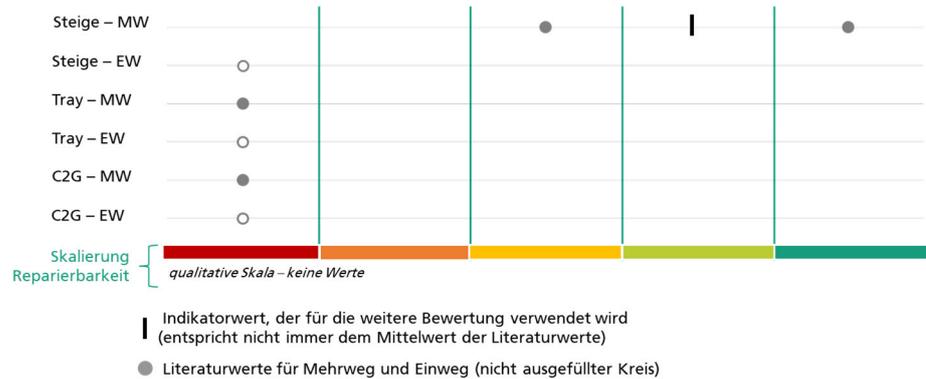
Tabelle 4: Bewertung der Reparierbarkeit

Indikator	-2 (schlecht)	-1 (eher schlecht)	0 (neutral)	+1 (eher gut)	+2 (gut)
Reparierbarkeit	Die Reparatur ist nicht vorgesehen und findet nicht statt.	Die Reparatur ist vorgesehen, findet aber nicht statt.	Die Reparatur ist nicht primär vorgesehen, findet aber individuell statt.	Die Reparatur ist vorgesehen, findet aber nur selten statt.	Die Reparatur ist Standard.

Bestimmung der Werte für die untersuchten Systeme

Die folgende Grafik zeigt die Ergebnisse für die untersuchten Mehrwegsysteme (MW) und die korrespondierenden Einwegalternativen (EW). Hinweise zur Ermittlung der Werte sind im Text unter der Abbildung gegeben. Tabellen mit den verwendeten Daten finden sich in Kapitel 9.4.4.

Abbildung 18:
Reparierbarkeit von Einweg- und Mehrwegsystemen im Vergleich



Da falt-/klappbare **Obst- und Gemüsesteigen** bewegliche Teile benötigen (z. B. Hebel, Seitenteile), ist deren Austausch und damit die Reparatur der Steige grundsätzlich denkbar, wird jedoch unterschiedlich in den jeweiligen Pools durchgeführt, weshalb sowohl eine »neutrale« als auch »sehr gute« Reparierbarkeit in Abbildung 18 zugeordnet wurde. Im Mittel ergibt sich ein Indikatorwert von +1 (grüner Punkt). Die Reparierbarkeit von Einwegsteigen ist als Einwegpackmittel weder vorgesehen noch gegeben. Daher wird die Reparierbarkeit als »schlecht« eingestuft (Indikatorwert -2).

Pflanzentrays bestehen aus Monomaterial, Identifikationsoptionen sind aufgedruckt/eingeschmolzen und haben keine beweglichen Komponenten. Eine Reparierbarkeit ist aus heutiger Sicht sowohl für die Einweg- als auch die Mehrwegvariante weder vorgesehen noch gegeben (»schlecht«, Indikatorwert -2).

Coffee-to-go-Becher bestehen aus Monomaterial, zukünftige Identifikationsoptionen sind aufgedruckt/eingeschmolzen geplant. Der Becher selbst hat keine beweglichen Komponenten, der wahlweise verwendete Decker ist eine separate Komponente, die durch den Kunden erworben wird. Eine Reparierbarkeit ist heute sowohl für die Einweg- als auch die Mehrwegvariante weder vorgesehen noch gegeben (»schlecht«, Indikatorwert -2).

6.1.5 Rezyklierbarkeit

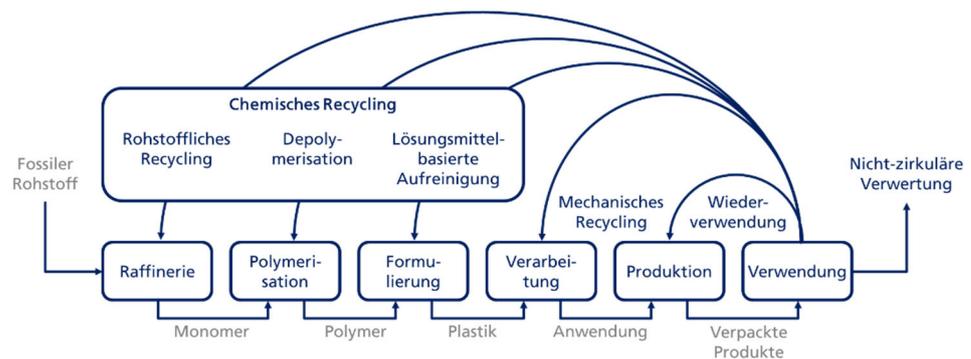
Kunststoffe sind Materialien, die als Hauptbestandteil organische Makromoleküle enthalten. Letztere bestehen in den meisten Fällen aus einer Abfolge sich wiederholender Grundbausteine, der Monomere, und werden als Polymere bezeichnet. Die Eigenschaften der Kunststoffe hängen wesentlich von der Struktur der Polymere (linear oder verzweigt), deren Kettenlänge/Molekülgröße und den zwischen den Polymeren wirkenden molekularen Anziehungskräften ab.

Auf der Vielzahl an möglichen Monomeren, der vielen Wege, diese zu polymerisieren und den zahlreichen Möglichkeiten, die Polymere miteinander zu mischen, basiert die große Vielfalt an Kunststoffen, die heute verfügbar sind. Nochmals erweitert wird die Bandbreite der Materialeigenschaften durch die Verwendung von Additiven (s. Abschnitt 8.2). Bei Kunststoffen kann es sich um weichelastische (z. B. Gummiringe), weichflexible (z. B. Plastiktüten) bis hin zu harten und starren Materialien (z. B. Telefongehäuse) handeln.

Kunststoffe werden üblicherweise in Abhängigkeit ihres Verhaltens beim Erhitzen in zwei Hauptgruppen eingeteilt. Diejenigen, die durch Erwärmen zunächst Erweichen und dann eine fließfähige Polymerschmelze ausbilden, werden als Thermoplaste bezeichnet. Ihr Zusammenhalt bei tieferen Temperaturen beruht auf den vergleichsweise lockeren Wechselwirkungen zwischen den Makromolekülen. Duromere (auch als Duroplaste bezeichnet) hingegen erweichen beim Erhitzen nicht, sondern zersetzen sich chemisch. Ihr Zusammenhalt beruht auf einem bei der Herstellung des Kunststoffbauteils ablaufenden Vernetzungsprozess, bei dem sich ein über kovalente Bindungen verbundenes dreidimensionales Netzwerk ausbildet. In Bezug auf die Verarbeitung und das Recycling unterscheiden sich die beiden Gruppen fundamental: Die Formgebung eines Thermoplasten ist ein reversibler Prozess. Das Material kann geschmolzen und erneut verarbeitet werden. Ein Duroplast hingegen kann nach der Herstellung des Bauteils nicht wieder umgeschmolzen oder umgeformt werden; beim Erhitzen zersetzt sich das Material, in der Regel in eine Vielzahl unterschiedlicher Bruchstücke.

Basierend auf dem Herstellungsprozess eines Bauteils oder Produkts aus Kunststoff stehen für die Wiedernutzung seiner Inhaltsstoffe verschiedene Recyclingoptionen zur Verfügung, die in der folgenden Abbildung skizziert sind.

Abbildung 19:
Überblick über verschiedene Kreisläufe für Plastik in einer Kreislaufwirtschaft.
Abgeändert nach IN4climate.NRW (2020).



Alle Kunststoffe können am Ende der Nutzungsdauer eines daraus hergestellten Bauteils oder Produkts zur Energiegewinnung durch Verbrennung genutzt werden (rechts außen in Abbildung 19, »nicht-zirkuläre Verwertung«). Wiederverwendung, z. B. einer Mehrwegverpackung, stellt die nächste Möglichkeit dar, die ebenfalls für alle Kunststoffe anwendbar ist. Das folgende werkstoffliche (oder auch materielle oder mechanische) Recycling, d. h. die erneute Nutzung von bereits verarbeiteten oder gebrauchten Kunststoffen durch Umschmelzen, kann nur mit thermoplastischen Kunststoffmaterialien durchgeführt

werden. Chemisch vernetzte – also duroplastische oder elastische – Sekundärmaterialien können im besten Fall zu einem geringen Anteil bei der Neuproduktion zugemischt werden. Gleiches gilt für die lösungsmittelbasierte Aufreinigung, bei der es darum geht, die Polymere in niedermolekularen Lösungsmitteln aufzulösen, um sie so voneinander und auch von Additiven zu trennen und wieder nutzen zu können. Dieser physikalische Lösungsprozess funktioniert nur bei nicht-chemisch vernetzten Polymeren. Neben den duroplastischen und elastomeren Polymeren lassen sich bspw. auch elektronenstrahlvernetzte Thermoplaste nicht vollständig rezyklieren. Die Depolymerisation von Kunststoffen zu den Grundbausteinen erfolgt in der Regel durch Erhitzen und/oder die Zugabe chemischer Reagenzien. Der Prozess ist insbesondere für Polymere, die über funktionelle chemische Gruppen verknüpft sind wie Polyester, Polyamide oder Polyurethane, anwendbar. Auch Polymethylmethacrylat (PMMA, bekannt als Plexiglas) und Polystyrol (PS) können eingesetzt werden. Bei den anderen Polyolefinen (vor allem PE, PP und PVC) ist die Depolymerisation nicht möglich. Unter rohstofflichem Recycling wird die Gewinnung von niedermolekularen, flüssigen oder gasförmigen Chemikalien verstanden. Der dafür notwendige Zersetzungsprozess wird durch starkes Erhitzen der Kunststoffe verursacht und kann bei allen Duromeren und Thermoplasten angewandt werden.

Gerade thermoplastische Kunststoffe sind wegen der prinzipiellen Möglichkeit, dass sie wie Metalle oder Glas nach Wiedereinschmelzen zur Herstellung neuer Produkte verwendet werden können, prinzipiell kreislauffähige Materialien. Im Vergleich der Recyclingmethoden ist dieses Verfahren wegen seiner Einfachheit und der nahezu 100-prozentigen Rückgewinnung das beste (Meys 2020). Allerdings ist dabei die Qualität des wiedereinzuschmelzenden Materials von großer Bedeutung. Laut Pfaender (2016) ist das mechanische Recycling »die energieeffizienteste und ökologisch bevorzugte Recyclingmethode, vorausgesetzt, es liegt ein verhältnismäßig sortenreiner und sauberer Materialstrom vor. Die Vorteile des werkstofflichen Recyclings sinken mit zunehmendem Sortier- und Reinigungsaufwand. Das letztendliche Ziel des werkstofflichen Recyclings ist der Ersatz von Neumaterial mit der gleichen Funktionalität, d. h. ein geschlossener Kreislauf sollte erreicht werden (»closed-loop«). Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass es Grenzen für sich wiederholende Nutzungs- und Recyclingzyklen gibt (Shamsuyeva und Endres 2021). Grund dafür sind die auf die Polymere einwirkenden, zu chemischen Veränderungen führenden Einflüsse durch Licht, UV-Strahlung und Wasser (Nutzungsphase), Sauerstoff (Nutzungsphase und Recycling) sowie hohe Temperaturen (vor allem im Recycling). Diese Veränderungen sind nicht umkehrbar, sie können aber – und werden es auch bei der Herstellung von Kunststoffen, siehe Abschnitt 8.2 – durch den Einsatz stabilisierender Additive verzögert werden. Für eine ausreichende Rezyklatqualität mit benötigter Verarbeitungs- und Langzeitstabilität für die beabsichtigte Anwendung ist eine Neuformulierung mit geeigneten Additiven oft erforderlich. Dafür steht grundsätzlich das gesamte Additivfeld wie für Neuware zur Verfügung. Selbst PP aus Abfallsammlungen kann hinsichtlich der Verarbeitungs- und Thermostabilität mit Neumaterial konkurrieren, sofern eine solche Nachstabilisierung erfolgt. Ähnliches gilt für PE, z. B. Flaschenkästen (Pfaender 2016). Wie stark sich trotz Additivzugabe das mehrfache Recycling auf die Werkstoffquali-

täten (ausgedrückt z. B. durch Zugfestigkeit, Biegesteifigkeit und Schlagzähigkeit des Materials) auswirkt, kann nach dem heutigen Wissensstand nicht generell angegeben werden (Shamsuyeva und Endres 2021).

Bewertungsmaßstäbe/Indikatoren (Tabelle 5)

Prinzipielle Rezyklierbarkeit: Unter der prinzipiellen Rezyklierbarkeit wird in dieser Studie die grundsätzliche Eignung der in den betrachteten Produkten verwendeten Kunststoffe für ein möglichst hochwertiges sowie energie- und materialeffizientes Recycling verstanden. Die Bewertung wird anhand der für das Material zur Verfügung stehenden Methoden am Ende der Nutzungsdauer bewertet. Beste Stufe der prinzipiellen Rezyklierbarkeit (+2) ist das werkstoffliche (mechanische) Recycling, ausgehend von weitgehend sortenrein und sauber vorliegenden Kunststoffprodukten. Es folgen in der Abstufung nach unten das werkstoffliche Recycling ausgehend von gemischten und/oder verschmutzten Kunststoffprodukten (+1) und das lösemittelbasierte Recycling (0). Die Depolymerisation (-1) und das rohstoffliche Recycling (-2) stellen die schlechteren Recyclingverfahren dar, da sie mit höherem Energieeinsatz und höheren Materialverlusten einhergehen.

Praktische Rezyklierbarkeit: Bei der praktischen Rezyklierbarkeit wird bewertet, ob die für das Recycling der Materialien der Demonstratorprodukte notwendige Technik für Sammlung, Sortierung und Aufbereitung vorhanden ist. Für die beste Stufe der praktischen Rezyklierbarkeit (+2) im Rahmen dieser Studie wird vorausgesetzt, dass in Deutschland industriell genutzte Anlagen mit Betriebserfahrungen existieren und betrieben werden. Es folgen in der Abstufung in Europa genutzte Anlagen (+1) und außerhalb Europas befindliche (0). Ist die Anlagentechnik für das Recycling in der industriellen Erprobung, wird die Stufe (-1) zugewiesen und, wenn sie aktuell erst erforscht wird oder sich noch gar nicht damit beschäftigt wurde, wird (-2) vergeben.

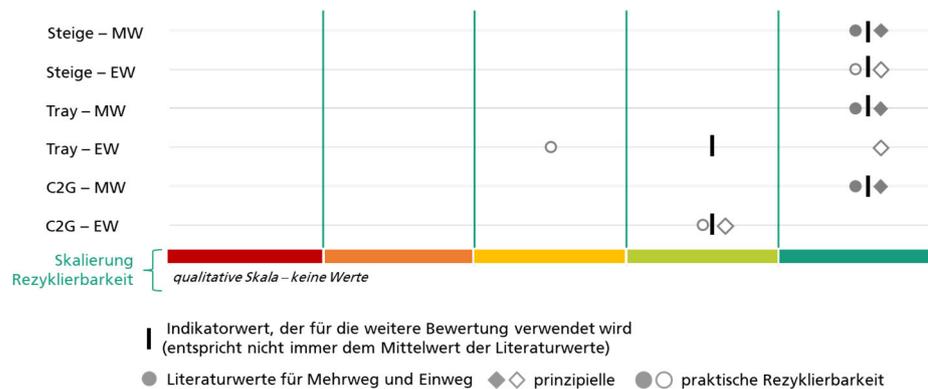
Tabelle 5: Indikator und Bewertung von prinzipieller und praktischer Rezyklierbarkeit

Indikator	-2 (schlecht)	-1 (eher schlecht)	0 (neutral)	+1 (eher gut)	+2 (gut)
Prinzipielle Rezyklierbarkeit (PriRe)	Duromere, Elastomere, vernetzte Thermoplaste verschmutzte Thermoplastgemische	Polyester, Polyamide, Polyurethane, PMMA, PS	Thermoplaste, verunreinigt, vermischt oder unerwünschte Additive enthaltend	Thermoplaste, gemischt oder verunreinigt	Thermoplaste, weitgehend sortenrein und gering verschmutzt
Praktische Rezyklierbarkeit (PraRe)	Technik wird noch erforscht oder ist noch gar nicht erprobt	Technik befindet sich in industrieller Erprobung	Technik wird außerhalb der EU im industriellen Maßstab betrieben	Technik wird in EU im industriellen Maßstab betrieben	Technik wird in DE im industriellen Maßstab betrieben

Bestimmung der Werte für die untersuchten Systeme

Die folgende Grafik zeigt die Ergebnisse für die untersuchten Mehrwegsysteme (MW) und die korrespondierenden Einwegalternativen (EW). Hinweise zur Ermittlung der Werte sind im Text unter der Abbildung gegeben. Tabellen mit den verwendeten Daten finden sich in Kapitel 9.4.5.

Abbildung 20: Rezyklierbarkeit von Einweg- und Mehrwegsystemen im Vergleich



Alle betrachteten Literaturstellen und auch die Interviewpartner gaben an, dass **Mehrwegsteigen** für Obst und Gemüse in der Regel aus Polypropylen (PP) oder der Polyethylen hoher Dichte (HDPE) gefertigt werden. Bei manchen Konstruktionen, z. B. bei Verschlusssystemen, werden zusätzlich gut gleitfähige und dauerhafte Polymere wie Polyoxymethylen (POM) verwendet (Haidlmair 2021). Dem PP oder dem HDPE sind lediglich Farbstoffe, UV- und Oxidationsstabilisatoren zugegeben; Mineralische Füllstoffe werden kaum eingesetzt (Haidlmair 2021). Daher werden diese Kunststoffe bei der standardmäßig in der Aufarbeitung der zerkleinerten Steigen verwendeten Schwimm-/Sink-Trennung sehr gut von POM oder anderen Fremdmaterialien wie Polyestern oder Polyamiden getrennt. PP und HDPE wiederum können über optische Sortierung, in der Regel im Infrarotbereich (IR-Sorter), gut voneinander separiert werden – falls das nicht bereits vor der Zerkleinerung z. B. durch Trennung nach Herstellern, Typen oder Farben erfolgt sein sollte.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Materialien der Mehrwegsteigen nach der Aufarbeitung als weitgehend sortenreine und gering verschmutzte Thermoplaste (PP und HDPE) anfallen. Sie sind daher gut prinzipiell rezyklierbar. Der Indikatorwert für »Prinzipielle Rezyklierbarkeit« der Mehrwegsteigen liegt bei +2.

Alle Prozesse zur Zerkleinerung, Reinigung, Abtrennung von Verunreinigungen und das Wiedereinschmelzen der so aufbereiteten Obst- und Gemüsesteigen zählen zum Stand der Technik in Deutschland. Der Indikatorwert für »Praktische Rezyklierbarkeit« der Mehrwegsteigen liegt ebenfalls bei +2.

Auch das Material des **Einwegvergleichsprodukts**, einem **Transportkarton**, ist sehr gut rezyklierbar. Das liegt darin begründet, dass in der Regel die Kartonnagen aus dem Lebensmitteleinzelhandel sauber und sortenrein gesammelt

und dem Papierrecycling zugeführt werden. Der Indikatorwert für »Prinzipielle Rezyklierbarkeit« des Transportkartons liegt bei +2. Das Verfahren des Recyclings von Altpapier zählt zum Stand der Technik in Deutschland. Der Indikator für »Praktische Rezyklierbarkeit« der Kartons erhält daher ebenfalls den Wert +2.

Die betrachteten Literaturstellen und der Interviewpartner gaben an, dass **Mehrwegpflanzentrays** in der Regel aus Polypropylen (PP) oder Polyethylen hoher Dichte (HDPE) gefertigt werden. Wie oben für die Obst- und Gemüsesteigen dargestellt, sind diese Kunststoffe gut prinzipiell rezyklierbar und sie können nach dem Stand der Technik in Deutschland problemlos rezykliert werden. Die Indikatorwerte für »Prinzipielle Rezyklierbarkeit« und »Praktische Rezyklierbarkeit« für Mehrwegpflanzentrays liegen bei +2.

Das Material des **Einwegpflanzentrays** ist in der Regel Polystyrol (PS). Dieser Thermoplast ist prinzipiell gut rezyklierbar. Allerdings geht sein Einsatz im Verpackungsbereich in den letzten Jahren in Deutschland stark zurück, sodass mittlerweile bei der Überarbeitung des Mindeststandards für die Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen gemäß § 21 Abs. 3 VerpackG für PS-Verpackungen nur noch eine begrenzt vorhandene Recyclinginfrastruktur in Deutschland angegeben wird. Der Indikatorwert für »Prinzipielle Rezyklierbarkeit« der Einwegpflanzentrays liegt daher ebenfalls bei +2. Die »Praktische Rezyklierbarkeit« der Einwegpflanzentrays wird hingegen als neutral, 0, bewertet.

In der Literatur werden als Materialien für **Coffee-to-go-Mehrwegbecher** neben Polypropylen (PP), das immer genannt wird, auch einmal Polyethylenterephthalat (PET) und der biobasierte Kunststoff Polymilchsäure (PLA) angegeben. Der Interviewpartner, ein Vertreter des in Deutschland verbreiteten Pfandsystems reCup (Pachaly 2021), gibt an, dass für die Becher dieses Systems PP zum Einsatz kommt. Dieses Material wird daher als Standard angenommen. Es ist gut prinzipiell rezyklierbar und kann nach dem Stand der Technik in Deutschland gut rezykliert werden. Die Indikatorwerte für »Prinzipielle Rezyklierbarkeit« und »Praktische Rezyklierbarkeit« der Coffee-to-go-Mehrwegbecher liegen bei +2.

Das Material von **Coffee-to-go-Einwegbechern** ist in der Regel beschichtete Pappe. Die Papierfasern dieses Verbundwerkstoffs sind prinzipiell rezyklierbar. Da die Kunststoffbeschichtung aber zum einen das Papierrecycling erschwert und zum anderen dieser Kunststoffanteil nicht rezykliert werden kann, wird der Indikatorwert der Coffee-to-go-Einwegbecher für die »Prinzipielle Rezyklierbarkeit« etwas abgewertet zu +1. Auch der Wert für die »Praktische Rezyklierbarkeit« dieser Becher wird mit +1 angesetzt. Zwar ist das Papierrecycling in Deutschland umfassend etabliert, jedoch landen viele der Coffee-to-go-Einwegbecher im Restabfall, wo sie nur energetisch verwertet werden.

6.1.6 Recyclingquote

Die Recyclingquote ist eine Kategorie, bei der das End-of-life der Produkte betrachtet wird. Sie gibt an, wieviel Prozent der Materialien nach Ende der Produktnutzungsdauer über eines der Recyclingverfahren – mechanisches oder chemisches Recycling (vgl. Abbildung 19, Kapitel 6.1.5) – im Materialkreislauf verbleiben. Für die Übertragung in eine fünfstufige ordinale Skala wird zur Einordnung die aktuelle Situation beim Verpackungsrecycling in Deutschland herangezogen, wie sie in der Studie »Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2019« des Umweltbundesamtes beschrieben ist (Burger et al. 2021). Dabei werden die Daten auf der Basis des deutschen Verpackungsgesetzes, beschrieben in Kapitel 7 der vorgenannten Studie verwendet. Der massebezogene Anteil der stofflichen Verwertung von Kunststoffen in Deutschland beträgt 51,5 Prozent gemäß (UBA 2021, Tabelle 84). Diese Recyclingquote plus/minus etwa 20 Prozent des Wertes, also der Bereich von 41 bis 62 Prozent wird in der Skala als 0 (neutral) angesetzt. Bis hinunter zur Hälfte des Wertes (26 Prozent) erfolgt die Einordnung in die Stufe -1 (eher schlecht), bis zur Recyclingquote von »Papier, Pappe, Karton« (88 Prozent) in die Stufe +1 (eher hoch). Darunter und darüber schließen sich die Stufen -2 (schlecht) und +2 (gut) an (Tabelle 6).

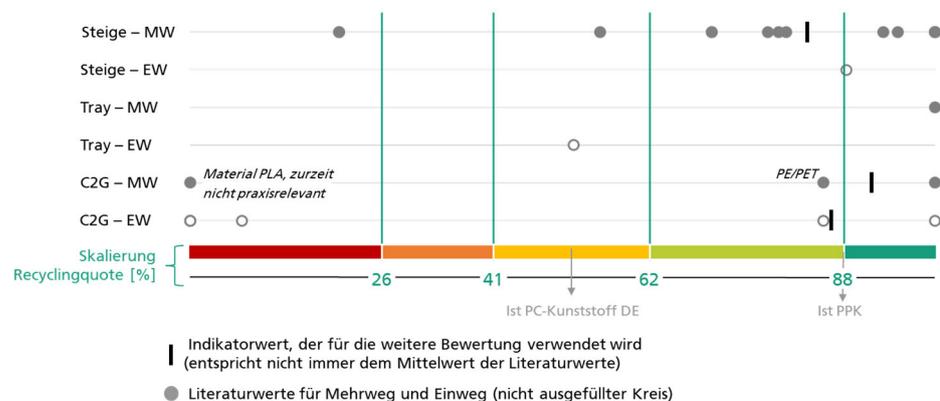
Tabelle 6: Indikator und Bewertung der Recyclingquote der Demonstratorprodukte

Indikator	-2 (schlecht)	-1 (eher schlecht)	0 (neutral)	+1 (eher gut)	+2 (gut)
Recyclingquote	< 26 %	26 bis < 41 %	41 bis < 62 %	62 bis < 88 %	≥ 88 %

Bestimmung der Werte für die untersuchten Systeme

Die folgende Grafik zeigt die Ergebnisse für die untersuchten Mehrwegsysteme (MW) und die korrespondierenden Einwegalternativen (EW). Hinweise zur Ermittlung der Werte sind im Text unter der Abbildung gegeben. Tabellen mit den verwendeten Daten finden sich in Kapitel 9.4.6.

Abbildung 21: Recyclingquote von Einweg- und Mehrwegsystemen im Vergleich



Die Angaben für die Recyclingquoten bei der Herstellung von **Mehrwegsteigen** für Obst und Gemüse aus der Literatur und den Interviews weisen eine große Bandbreite auf. Im Unterschied zum Rezyklateinsatz überwiegen hier insgesamt gesehen Angaben am oberen Ende, insgesamt siebenmal wird eine 100-prozentige Recyclingquote angegeben. Der niedrigste in der Literatur angegebene Wert, allerdings in einer 20 Jahre alten Quelle, liegt bei 20 Prozent (ADEME 2000). Im Mittel ergibt sich eine Recyclingquote von etwa 80 Prozent in den Mehrwegsteigen. Damit liegt deren Indikatorwert für die »Recyclingquote« bei +1.

Als Recyclingquote des **Einwegvergleichssystems Transportkarton** wird der Wert für das stoffliche Recycling von Verpackungen »Papier, Pappe, Karton« aus (UBA 2021, Tabelle 84) verwendet. Er liegt bei 89 Prozent. Daraus ergibt sich ein Indikatorwert für die »Recyclingquote« des Einwegtransportkartons von +2.

Für die Recyclingquote von **Mehrwegpflanzentrays**, die in der Regel ebenfalls aus Polypropylen (PP) oder Polyethylen hoher Dichte (HDPE) gefertigt werden, gibt es in der Literatur keine Angaben. Bei der Beurteilung wird hier daher die Angabe aus dem Experteninterview, das mit einem Hersteller geführt wurde (Breukers 2021), verwendet. Demzufolge beträgt die Recyclingquote nicht mehr gebrauchstauglicher Mehrwegpflanzentrays 100 Prozent. Deren Indikatorwert »Recyclingquote« liegt demnach bei +2.

Für die Recyclingquote der **Einwegpflanzentrays** finden sich nur wenige Angaben. Der Hersteller Normpack gibt den closed loop-Anteil mit 50 % (Normpack 2022). Unter der Annahme, dass die gebrauchten Produkte in Deutschland über die Dualen Systeme dem Recycling von Leichtverpackungen zugeführt werden, kann als Recyclingquote der Wert für die stoffliche Verwertung von Kunststoffen von 51,5 Prozent angenommen werden (UBA 2021, Tabelle 84). Es ergibt sich über beide Annahmen ein Indikatorwert »Recyclingquote« für die Einwegpflanzentrays von 0.

Nur in einer Literaturstelle sind Angaben zur Recyclingquote von **Coffee-to-go-Mehrwegbechern** gegeben (Cottafava et al. 2021). Für die Materialien PE und PET werden 85 Prozent genannt. Bei PLA wird angenommen, dass gebrauchte Becher der Kompostierung zugeführt werden, also 0 Prozent Recyclingquote. Laut Experteninterview beträgt die Recyclingquote 100 Prozent. Da die Angabe für PLA aus der Literatur sich auf einen (noch nicht) praxisrelevanten Fall bezieht, wird sie bei der Mittelwertbildung nicht berücksichtigt. Im Mittel wird daher eine Recyclingquote bei Coffee-to-go-Mehrwegbechern von 92,5 Prozent festgestellt. Deren Indikatorwert »Recyclingquote« liegt demnach bei +2.

Material von **Coffee-to-go-Einwegbechern** ist in der Regel beschichtete Pappe. Als Recyclingquote bei diesen Einwegbechern könnte in erster Näherung der Wert für die stoffliche Verwertung von »Papier, Pappe, Karton« (PPK) von 88 Prozent nach (UBA 2021, Tabelle 84) angenommen werden. Allerdings ist zu bedenken, dass vermutlich deutlich weniger Coffee-to-go-Becher als an-

dere PPK-Verpackungen in die Altpapiersammlung, sondern in Restabfalltonnen gegeben werden. Daher wird der Indikatorwert »Recyclingquote« für die C2G-Einwegbecher um eine Stufe auf +1 abgewertet.

6.1.7 Rezyklatanteil

Der Rezyklatanteil bemisst sich an dem massebezogenen Anteil an Rezyklat, der bei der Herstellung der betrachteten Demonstratorprodukte eingesetzt wird. Für die Übertragung in eine fünfstufige ordinale Skala wird zur Einordnung ein aktuell als besonders gut angesehenes Closed-loop-Recyclingsystem¹⁹, das der PET-Einwegflaschen, herangezogen. In der Studie »Aufkommen und Verwertung von PET-Getränkeflaschen in Deutschland 2019« der Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH beträgt der massebezogene Anteil von Recycling-PET in der deutschen Flaschenproduktion 34,4 Prozent (Schüler 2020). Dieser Rezyklatanteil plus/minus etwa 20 Prozent des Wertes, also der Bereich von 28 bis 41 Prozent wird in der Skala als 0 (neutral) angesetzt. Bis hinunter zur Hälfte des Werts (17 Prozent) erfolgt die Einordnung in die Stufe -1 (eher schlecht), bis zum Doppelten (69 Prozent) in die Stufe +1 (eher gut). Darunter und darüber schließen sich die Stufen -2 (schlecht) und +2 (gut) an (Tabelle 7).

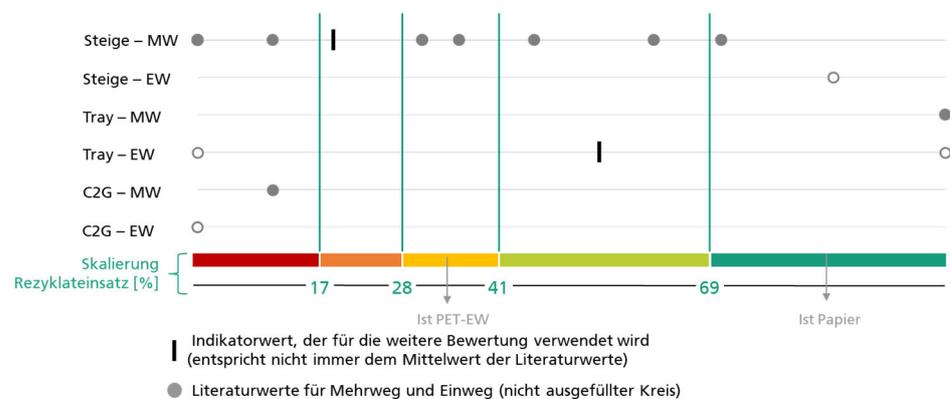
Tabelle 7: Indikator und Bewertung des Rezyklatanteils in den Demonstratorprodukten

Indikator	-2 (schlecht)	-1 (eher schlecht)	0 (neutral)	+1 (eher gut)	+2 (gut)
Rezyklatanteil	< 17 %	17 bis < 28 %	20 bis < 41 %	41 bis < 69 %	≥ 69 %

Bestimmung der Werte für die untersuchten Systeme

Die folgende Grafik zeigt die Ergebnisse für die untersuchten Mehrwegsysteme (MW) und die korrespondierenden Einwegalternativen (EW). Hinweise zur Ermittlung der Werte sind im Text unter der Abbildung gegeben. Tabellen mit den verwendeten Daten finden sich in Kapitel 9.4.7.

Abbildung 22: Rezyklatanteil von Einweg- und Mehrwegsystemen im Vergleich



¹⁹ Im Sinne der Kreislaufschließung des Materials zu gleicher Anwendung mit gleicher Qualität

Alle betrachteten Literaturstellen und auch die Interviewpartner gaben an, dass **Mehrwegsteigen** für Obst und Gemüse in der Regel aus Polypropylen (PP) oder Polyethylen hoher Dichte (HDPE) gefertigt werden. Die Angaben für deren Rezyklatanteil weisen in der Literatur und den Interviewangaben eine große Bandbreite auf. In der Literatur und in den Interviews wird von bis zu 70 Prozent Einsatz an Rezyklat berichtet, aber oft wird auch beschrieben, dass ausschließlich Neuware verwendet werde. Gerade Letzteres, der Verzicht auf jegliches Rezyklat, wird zumeist mit der notwendigen Zulassung der Produkte für den Kontakt mit Lebensmitteln begründet. Im Mittel ergibt sich, aufgrund der hohen Gewichtung des insgesamt achtmal benannten Null-Rezyklateinsatzes, ein Rezyklatanteil von etwa 19 Prozent in den Mehrwegsteigen. Damit liegt der Indikatorwert der Mehrwegsteigen für »Rezyklatanteil« bei -1.

Der Rezyklatanteil des **Einwegvergleichssystems Transportkarton** beträgt dem Datensatz »corrugated board, mixed fibre, double wall, at plant« der LCA-Datenbank Ecoinvent zufolge 83 Prozent. Damit liegt der Indikatorwert für den Rezyklatanteil des Einwegtransportkartons bei +2.

Für den Rezyklatanteil von **Mehrwegpflanzentrays**, die in der Regel ebenfalls aus Polypropylen (PP) oder Polyethylen hoher Dichte (HDPE) gefertigt werden, wird in der Literatur, allerdings bei rein theoretischen Betrachtungen des Lebenszyklus, sowohl ein Wert von 100 Prozent als auch ein Wert von 0 Prozent angegeben (van Paassen und Scholten 2020). Bei der Beurteilung wird hier daher die Angabe aus dem Experteninterview, das mit einem Hersteller geführt wurde (Breukers 2021), verwendet. Demzufolge wird 100-prozentiges Rezyklat für die Herstellung von Mehrwegpflanzentrays eingesetzt. Dieser sehr hohe Rezyklateinsatz wird dadurch begünstigt, dass diese Produkte keine Zulassung für den Kontakt mit Lebensmitteln benötigen. Der Indikatorwert für »Rezyklatanteil« von Mehrwegpflanzentrays liegt demnach bei +2.

Der Rezyklatanteil bei den **Einwegpflanzentrays** wird in der Literatur mit 0 Prozent angegeben. Allerdings ist auch dieser Wert als Annahme einer LCA-Berechnung anzusehen. In der Praxis finden sich heute bei einzelnen Herstellern Einwegpflanzentrays, die bereits zu 90 bis 100 Prozent aus Post-consumer-Rezyklat bestehen (Pöppelmann 2021; Normpack 2022). Über den Anteil der Produkte aus PCR am Gesamtmarkt ist nichts veröffentlicht. Somit ist nicht möglich, aus allgemein zugänglichen Daten eine Angabe für den mittleren Rezyklateinsatz bei Einwegpflanzentrays zu erhalten. Der Indikatorwert für »Rezyklatanteil« der Einwegpflanzentrays wird daher als neutral (0) angesetzt.

In der Literatur werden keine Angaben zum Rezyklatanteil in den **Coffee-to-go-Mehrwegbechern** gemacht. Bei der Beurteilung wird daher die Angabe aus dem Experteninterview von weniger als 10 Prozent Rezyklateinsatz angesetzt. Der Indikatorwert für »Rezyklatanteil« der Coffee-to-go-Mehrwegbecher liegt demnach bei -2.

Material von **Coffee-to-go-Einwegbechern** ist in der Regel beschichtete Pappe. Die Papierfasern dieses Verbundwerkstoffs werden in der Regel aufgrund der benötigten Festigkeiten und wegen des Lebensmittelkontakts ausschließlich aus Frischzellstoff hergestellt. Der zweite Grund ist auch ursächlich dafür, dass für die Kunststoffbeschichtungen ebenfalls Frischware eingesetzt wird. Der Indikatorwert für »Rezyklatanteil« von Coffee-to-go-Einwegbechern liegt demnach ebenfalls bei -2.

6.1.8 Kunststoffemissionen

Kunststoffemissionen in Form von Littering und Mikroplastik werden seit einigen Jahren intensiv debattiert und wissenschaftlich untersucht. Auch wenn über die Wirkungen der Kunststoffemissionen noch Unklarheit besteht, existiert ein gesellschaftlicher Konsens, dass sie im Sinne des Vorsorgeprinzips, soweit möglich, zu reduzieren sind. Fraglich bleibt, warum der Fokus bei den Emissionen bislang fast ausschließlich auf den Kunststoffen liegt und nicht auch Gläser, Metalle und modifizierte Naturstoffe wie imprägniertes Holz oder Papier umfasst. Darüber hinaus können auch unmodifizierte natürliche Stoffe als Emission bewertet werden, sofern sie in ein Umweltkompartiment gelangen, in dem sie nicht oder nicht in diesem Maße ursprünglich vorhanden waren. Es wird sich zeigen, inwieweit sich die Debatte zukünftig auch auf andere Werkstoffgruppen ausweitet. Die vorliegende Studie behandelt aber ausschließlich Kunststoffemissionen, um an die derzeitige Debatte anschlussfähig zu sein.

Die quantitativen Aspekte der Materialverluste, beispielsweise durch Fremdverwendung oder Beseitigung als Restabfall, wurden bereits in Abschnitt 6.1.3 behandelt. Neben diesen »ordnungsgemäß« erfolgenden Materialverlusten aus den Mehrwegsystemen kommen auch solche hinzu, die als Kunststoffemissionen in die Umwelt gelangen. Allerdings dürften diese einen deutlich geringeren Anteil ausmachen. Des Weiteren ist offensichtlich, dass die maximal möglichen Kunststoffemissionen bei Mehrwegsystemen im Vergleich zu Einwegsystemen deutlich geringer ausfallen, da bereits die Materialverluste deutlich niedriger sind. Die Ursachen für Kunststoffemissionen sind Littering (die vorsätzliche oder fahrlässige illegale Entledigung von Abfällen²⁰), Abrieb oder Fragmentierung.

Für das Littering liegen keine empirischen Erhebungen nach bestimmten Produktgruppen vor. Außerhaus-Produkte, Produkte in umweltoffenen Anwendungen und Produkte ohne Pfand werden tendenziell häufiger gelittert. Dazu gehört auch, dass kleinere Verpackungsteile (Deckel oder andere Verschlusskleinteile etc.) beispielsweise beim Öffnen der Verpackung verlorengehen können. Littering findet sowohl bei der privaten als auch bei der professionellen Anwendung statt. Die Quantifizierung des nicht ordnungsgemäß erfassten Abfalls ist naturgemäß schwierig. Bertling et al. (2021) geben typische Werte von 0,03 bis 1,02 Prozent und als wahrscheinlichsten Werte 0,105 Prozent, bezogen auf den Kunststoffverbrauch, an. Spezifische Werte für Verpackungen oder

²⁰ Gelegentlich wird Littering auch von illegaler Abfallentsorgung getrennt und als achtloses Entsorgen von Abfällen klassifiziert. Da aber bereits das Littering eine bußgeldbewehrte Ordnungswidrigkeit darstellt, sehen wir keine Notwendigkeit für eine Unterscheidung.

gar nach Verpackungstypen liegen kaum vor. Im Rahmen von Clean-ups werden allerdings häufig Top-10-Litter-Items-Listen veröffentlicht.

Abrieb und Fragmentierung finden sowohl beim Transport als auch bei der Nutzung statt. Zu Abrieb und Fragmentierung von Ein- und Mehrwegverpackungen liegen bislang keine empirisch erhobenen Daten vor. Fraunhofer UMSICHT hat im Rahmen einer Verschleißuntersuchung an Spielplatzgeräten aus Kunststoffen, die ebenfalls einer hohen mechanischen Belastung unterliegen, Verschleißraten von 0,012 Prozent pro Jahr ermittelt.²¹ Abrieb und Fragmentierung werden durch eine Materialversprödung begünstigt. Diese findet vor allem bei Außenanwendungen durch Lichteinstrahlung und häufige Temperaturwechsel statt (Verwitterung).

Verluste in die Umwelt sind dann weitgehend unproblematisch, wenn von einem schnellen Abbau ausgegangen werden kann. Dies ist für natürliche Polymere wie Papier und Holz in der Regel der Fall, für Kunststoffe eher nicht. Letzteres gilt auch für Biokunststoffe wie Polylactid, die zwar in einer Industrieanlage bei ausreichend hohen Temperaturen und Verweilzeiten kompostiert werden können, in der Umwelt aber zumeist keine ausreichenden Abbauraten erreichen. Auch Verbundmaterialien aus Papier und Kunststoff sollten eher als nicht abbaubar klassifiziert werden, solange nicht entsprechende Nachweise für die relevanten Umweltkompartimente (Böden, Frischwasser, Meere, Sedimente) erbracht wurden.

Bewertungsmaßstab/Indikator

Die Bewertung der Kategorie Kunststoffemissionen findet qualitativ statt. Dabei werden zunächst die Verhinderung von Littering und die Vermeidung von Abrieb und Fragmentierung als Indikatoren genutzt und getrennt voneinander bewertet.

Littering wird vermieden, wenn das Verpackungssystem befandert ist, keine zur Öffnung abtrennbaren Verpackungsteile besitzt und die Verpackung nicht für eine To-go-Anwendung verwendet wird. Abrieb und Fragmentierung können durch eine geringe Umweltoffenheit (dauerhafte Anwendung im Außenraum), ausbleibende Versprödung und geringe mechanische Belastung verringert werden. Abbaubare Werkstoffe wirken sich ebenfalls günstig aus. Die konkrete Einteilung der Indikatorwerte kann Tabelle 8 entnommen werden. Dabei sind die Indikatorwerte tendenziell gut, wenn Kunststoffemissionen vermieden werden.

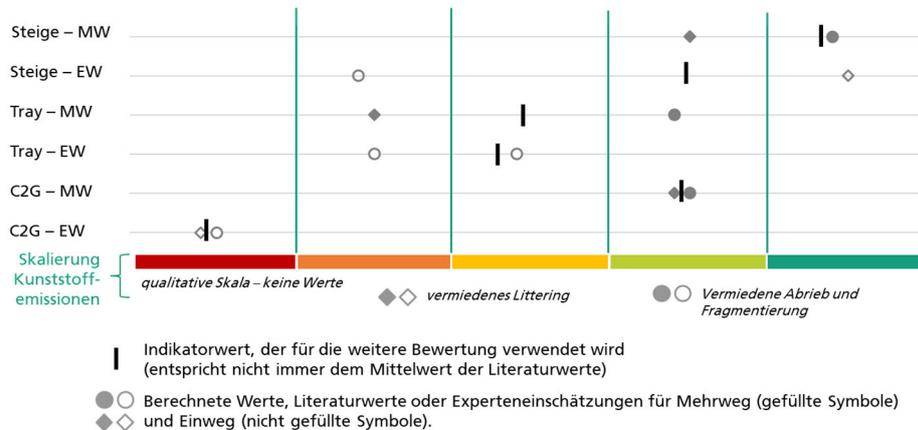
²¹ Interner Bericht, unveröffentlicht.

Tabelle 8: Indikator und Bewertung zur Vermeidung von Abrieb sowie Vermeidung von Littering

Indikator	-2 (schlecht)	1 (eher schlecht)	0 (neutral)	+1 (eher gut)	+2 (gut)
Vermeidung von Littering	Kein Pfand, To-go-Anwendung, getrennte Verpackungsteile	Kein Pfand, To-go-Anwendung	Kein Pfand	Pfand, Außerhausnutzung/umwelt-offen	Pfand, B2B-Nutzung
Vermeidung von Abrieb und Fragmentierung	umwelt-offen, Versprödung wahrscheinlich, hohe mechanische Belastung	(partiell) umwelt-offen, mit mechanischer Belastung	(partiell) umwelt-offen	Kaum umwelt-offene Anwendung, aber hohe mechanische Belastung	Keine umwelt-offene Anwendung, geringe mechanische Belastung

Die folgende Grafik zeigt die Ergebnisse für die untersuchten Mehrwegsysteme und die korrespondierenden Einwegalternativen. Aus den zwei Einzelkriterien wurde ein Mittelwert (senkrechte Striche) abgeleitet, der für die weitere Bewertung verwendet wird. Detaillierte Begründungen für die Bewertungen sind im Text unter der Abbildung gegeben.

Abbildung 23: Reduzierung von Kunststoffemissionen durch Vermeidung von Littering, Abrieb und Fragmentierung



Mehrwegsteigen sind bepfandet oder gemietet und werden nur sehr kurzfristig, bspw. bei der Befüllung außer Haus, verwendet. Da sie eine reine B2B-Anwendung darstellen, sind auch Fremdverwendungen eher unwahrscheinlich. Der Indikatorwert für vermiedenes Littering wird daher auf +2 festgelegt. Die mechanische Belastung der Steigen dürfte eher hoch sein, findet aber in der Regel nicht oder nur gelegentlich umwelt-offen statt. Die Freisetzung von Mikroplastik durch Abrieb kann daher recht gut vermieden werden (Indikatorwert +1). Da aus Sicht der Autoren dem Littering größeres Gewicht beizumessen ist, wurde der Indikatorwert auf +2 festgelegt.

Die **Einwegsteige** aus Karton ist unbepfandet und wird gelegentlich von Endkonsumenten als Transportverpackung fremdverwendet (Indikatorwert -1). Da

die Verpackung aus Karton besteht, kann sie als sehr gut abbaubar eingestuft werden (Indikatorwert +2). Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass bei vielen Einwegsteigen Kunststoffklebebänder oder -etiketten verwendet werden. Auch hier wurde dem Littering größeres Gewicht beigemessen und der Indikatorwert auf +1 festgelegt.

Mehrwegtrays werden befandete, sodass Littering eher unwahrscheinlich ist. Für die Trays ist eine gelegentliche Außer-Haus-Verwendung wahrscheinlich. Hier könnten beschädigte Trays gelittert werden (Indikatorwert +1). Die mechanische Belastung der Pflanzentrays kann durch die recht hohen Gewichte der Pflanzen als besonders hoch bewertet werden, die Versprödung wird durch Feuchtigkeit und UV-Strahlung bei Außenanwendungen begünstigt (Indikatorwert -1). Der im weiteren verwendete Indikatorwert wurde auf 0 festgelegt.

Die **Einwegtrays** unterliegen wie die Mehrwegtrays hohen mechanischen Belastungen, aufgrund der fehlenden Befandung ist eine umweltoffene Anwendung oder Lagerung über längere Zeiten möglich und Verluste eher wahrscheinlich (Indikatorwert 0). Auch eine Versprödung wird durch die möglichen umweltoffenen Verwendungen begünstigt (Indikatorwert -1). Der im weiteren verwendete Indikatorwert wurde auf 0 festgelegt.

Mehrwegbecher sind befandete, werden allerdings außer Haus verwendet, sodass ein Littering nicht ganz ausgeschlossen werden kann, insbesondere solange die Mehrwegbecher nicht von jedermann als solche erkannt werden (Indikatorwert +1), Versprödung und Abrieb dürften keine Rolle spielen, gelegentliche Fragmentierung durch Bruch ist bei To-go-Anwendungen wahrscheinlich (Indikatorwert +1).

Unbefandete **Einwegbecher** sind als To-go-Verpackung ein typisches Top-litter-Objekt, welches bei Clean-ups in großen Mengen eingesammelt wird. Auch die Tatsache, dass die Becher in der Regel verschmutzt sind, macht es eher unwahrscheinlich, dass sie eingesammelt werden (Indikatorwert -2). Da die Becher in der Regel aus Kunststoff oder mit Kunststoff beschichtet sind, werden sie als nicht abbaubar aber leicht fragmentierbar bewertet (Indikatorwert -2).

6.2 Performancekategorien

Mehrwegverpackungen werden häufig vor allem in Bezug auf ökologische Vorteile gegenüber Einweglösungen diskutiert. Doch eine umfassende Beurteilung sollte auch die Performance von Verpackungslösungen aus Sicht der anwendenden Personen oder Unternehmen in den Blick nehmen.

Wesentliche Unterschiede ergeben sich aus der längeren Nutzungsdauer einer Mehrwegverpackung sowie ihrer Kreislaufführung. Daraus ergeben sich sowohl Einschränkungen als auch Potenziale. Insbesondere ist hervorzuheben, dass die heutige Produktwelt vor allem an die Flexibilität und Vielfalt der Einwegverpackungen angepasst ist. Würden Produktdesigner ihre Produktentwicklung stärker an bestehende oder noch zu entwickelnde Mehrwegsysteme anpassen, könnten weitere Zugewinne bei der Performance erreicht werden.

Im Zusammenhang mit der industriellen Anwendung von Ein- oder Mehrwegverpackungen findet eine Vielzahl von Prozessen statt: die Befüllung der Verpackung beim Produzenten des Füllguts, Transportprozesse für Vollgut und Leergut, ggf. die Konditionierung in Reifereien, Lager- und Verkaufsvorgänge im Groß- und Einzelhandel und speziell bei den Mehrwegverpackungen deren Waschen und Hygienisieren sowie ggf. die Lagerung bei einem Poolbetreiber. Alle diese Prozesse müssen in Bezug auf Kosten, soziale und ökologische Wirkungen möglichst optimal durchgeführt werden. Inwieweit eine entsprechende Optimierung möglich ist, hängt auch vom Verpackungssystem selbst ab.

6.2.1 Flächenbedarf und Modularität

Für Produzenten und Gastronomen ist relevant, wie viel Lager-/Pufferfläche sie für saubere Leerbehälter vorhalten müssen. Dies wird einerseits durch die bedarfsgerechte Lieferung (just in time) von Mehrweggebinden oder den Einkauf von Einweggebinden, andererseits durch deren Platzbedarf und -anforderungen bestimmt. Der Platzbedarf von Leerbehältern kann durch deren Faltbarkeit (Klappbarkeit) oder Nestbarkeit (d. h. der Möglichkeit, sie durch eine konische Form ineinander zu stapeln) maßgeblich reduziert werden.

Je standardisierter (und damit je weniger individuell) eine Transportverpackung hinsichtlich der Logistikkette gestaltet ist, d. h. Kompatibilität mit Ladungsträgern wie der Euro-Palette oder dem CC-Container, Nest-/Stapelbarkeit oder Falt-/Klappbarkeit der Leer- wie auch Vollgutbehälter, Identifikationsmöglichkeit einzelner Behälter etc., desto besser können Logistikdienstleister ihre zum Teil automatisierten Prozesse ausgestalten. Gleiches gilt für die Wasch- und Hygienezentren, die Sortierung und das Bestandsmanagement zwischen den Kunden innerhalb eines Mehrweg-Pools und teilweise für die Befüllung mit zu transportierender Ware.

Eine standardisierte Transportverpackung unterstützt zudem die Prozesse im Handel, u. a. bei der Kommissionierung für die letzte Handelsstufe, durch die Reduktion von Umpackvorgängen oder bei der Platzierung im Einzelhandel auf Tischen, in Regalen oder separaten Displays (»shelf ready packaging«).

Während der Produktentwicklung der Transportbehälter (z. B. Obst- und Gemüsesteige, Pflanzentray) sind ferner die zum Teil spezifischen Anforderungen der zu verpackenden Waren für optimierte Prozesse zu berücksichtigen. Dies umfasst beispielsweise den Reifeprozess von Obst und Gemüse und die durch intelligentes Produktdesign zu gewährleistende Luftzirkulation während des Transports und in Reifekammern (Schlitze/Aussparungen in den Außenwänden/Kanten, Abstand zwischen gestapelten Behältern). Ferner beeinflusst die Größe der Ware die Abmaße der Transportbehälter, welche beispielsweise durch unterschiedliche Höhen bei gleicher Grundfläche (Steige) oder eine intelligente und robuste Fixierung unterschiedlicher Pflanzentöpfe eingestellt werden kann. Bei den Coffee-to-go-Blechern ist der Wärmetransport durch die Blechwand und das dichte Verschließen mit einem ggf. separat erworbenen Deckel am Abfüllungsort von großer Bedeutung.

Bewertungsindikator Modularität

Die Kompatibilität von Transportverpackungen mit Ladungsträgern wie der Euro-Palette oder dem CC-Container wird über deren Modularität abgebildet. Das Grundmaß, das sogenannte Flächenmodul, einer Euro-Palette ist 600 mm x 400 mm. Daraus abgeleitete Multimodule oder Untermaße sind in nachfolgender Tabelle 9 dargestellt (Behrens et al. 2018).

Tabelle 9: Modularität von Euro-Paletten (Behrens et al. 2018) S. 256

Flächenmodul [mm]	600 x 400
Multimodule [mm]	1200 x 800, 800 x 600
Untermaße [mm]	400 x 300, 300 x 200, 400 x 200, 400 x 150, 300 x 100

Sofern sich eine hohe Modularität der jeweiligen Transportverpackung im Markt etabliert hat, ist auch deren Stapelbarkeit auf dem jeweiligen Ladungsträger verbessert. Denn je homogener modulare Einheiten aufeinander positioniert werden, desto stabiler und letztlich sicherer sind nachfolgend Handhabung und Transport und desto geringer die Bruchquote der Transportverpackung (siehe auch Ausführungen zum Produktschutz in Abschnitt 6.2.3). (Lange et al. 2013)

Um die Modularität der betrachteten Transportverpackungen qualitativ bewerten zu können, wird nachfolgende Skalierung (Tabelle 10) verwendet.

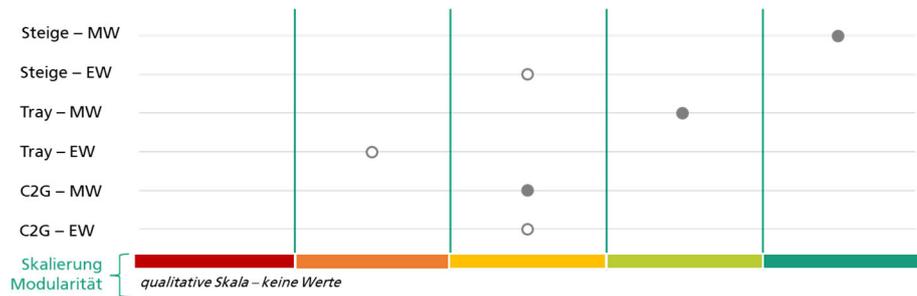
Tabelle 10: Bewertung der Modularität für die Geschäftsprozessoptimierung

Indikator	-2 (schlecht)	-1 (eher schlecht)	0 (neutral)	+1 (eher gut)	+2 (gut)
Modularität	hauptsächlich individuelle Abmaße	wenig einheitliche Abmaße	Modularität irrelevant oder Relevanz erkannt, jedoch nicht vorhanden	Standardmodule eingeführt, darauf aufbauende Geschäftsprozessoptimierung möglich	anerkannte Standardmodule weit verbreitet, darauf aufbauende TV im Einsatz

Bestimmung der Werte für die untersuchten Systeme

Die folgende Grafik zeigt die Ergebnisse für die untersuchten Mehrwegsysteme (MW) und die korrespondierenden Einwegalternativen (EW). Hinweise zur Ermittlung der Werte sind im Text unter der Abbildung gegeben. Tabellen mit den verwendeten Daten finden sich in Kapitel 9.4.8.

Abbildung 24: Modularität von Einweg- und Mehrwegsystemen im Vergleich



Obst- und Gemüsesteigen: Obst und Gemüse in EW- und MW-Transportbehältern werden in der ersten Distributionsstufe (Erzeuger zum Handelszentrallager) hauptsächlich auf Euro-Paletten (1200 mm x 800 mm) transportiert, zu einem geringen Teil kommen, z. B. in der Seefracht, auch Industriepaletten (1200 mm x 1000 mm) zum Einsatz. In der zweiten Distributionsstufe zur Filiale werden die Transportbehälter weiter auf Euro- oder Halbpaletten, Rollcontainern oder Rollwagen (Dolly) (815 mm x 670 mm) gestapelt.

Während in der Automobilbranche ein Branchenstandard für Kleinladungsträger (KLT) (Verband der Automobilindustrie (VDA) 2018) existiert, gibt es derzeit für Obst- und Gemüsesteigen keine Standards oder Normen, welche Flächenmaße festlegen würden (Lammers 2021). Die heutigen Flächenmaße der MW-Lösungen haben sich vielmehr durch den Markt selbst entwickelt (Kellerer 2021). Bei den Hauptakteuren IFCO, EPS und WBG Pooling sind die Flächenmaße der Steigen meist 600 mm x 400 mm oder 400 mm x 300 mm (siehe auch Tabelle 19), welche Untermodule der Euro-Palettengröße darstellen. Insgesamt gesehen kann der Indikatorwert für Mehrwegsteigen mit »gut« (+2) bewertet werden.

Im Einweg-Transportkistenmarkt haben sich ebenfalls einheitliche Flächenmaße über die Zeit entwickelt. Dies sind beispielsweise das zuvor genannte Flächenmaß von 600 mm x 400 mm, das in diversen Studien zu Umweltwirkungen herangezogen wird (vgl. (Albrecht et al. 2013; Del Borghi et al. 2020; Franklin Associates 2016)) oder das Flächenmaß von 400 mm x 500 mm der Bananenkiste, das sich an der Industriepalette orientiert. Jedoch existieren auch viele individuelle Lösungen, welche abweichende Flächenmaße aufweisen (Franklin Associates 2016). Leider liegen den Autoren der Studie keine Statistikdaten zu den Abmessungen von Einweglösungen vor. Aus diesem Grund wird der Indikatorwert »neutral« für die Modularität von Einwegsteigen verwendet.

In der Pflanzenlieferkette mit **Mehrwegpflanzentrays** kommen neben der Euro-Palette auch CC-Container zum Einsatz. Während der Lebensmitteleinzelhandel eher Paletten favorisiert, werden in Gartencentern und Baumärkten CC-Container für die Pflanzendistribution vorgezogen. Ein CC-Brett hat das Flächenmaß von 1270 mm x 545 mm (innen) (Container Centralen GmbH 2018), was zu unterschiedlichen Flächenmodulen für eine zukünftige MW-Lösung im Vergleich zur Euro-Palette (1200 mm x 800 mm) führen wird. Aus Sicht eines

einheitlichen Flächenmaßes ist es nachteilig, an den parallelen Distributionspfaden für Pflanzentrays mittels Paletten und CC-Containern festzuhalten.

Eine zur Euro-Palette vergleichbare Modularität für CC-Containerbretter konnte während der Recherche nur für die MW-Lösung »Palettino« identifiziert werden (Breukers 2021): Hier wird das Flächenmaß 390 x 275 mm (Euro-Palette) sowie 530 mm x 300 bis 315 mm (CC-Brett, sog. Dänenmaß) aufgeführt (HAWITA Technoplant 2021).

Im Rahmen des Projekts »Flowertray« soll eine europäische Mehrweglösung für ein Pflanzentray erarbeitet werden (Weschnowsky 2021). Die Entscheidung, ob sich das Flächenmodul eines zukünftig standardisierten Pflanzentrays an der Euro-Palette oder dem CC-Containerbrett orientieren wird, scheint im »Flowertray« Projekt zugunsten des CC-Containers gefallen zu sein (Oldenburg 2021). Aus diesem Grund wurde die Modularität mit »eher gut« (+1) bewertet. Im Einwegsegment existieren gemäß BaumarktManager (2021) derzeit rund 55 verschiedene Traygrößen (Flächenmaße), weshalb die Modularität mit »eher schlecht« (-1) bewertet wurde.

Die Modularität wird in dieser Studie insbesondere für Transportverpackungen als Bewertungskriterium herangezogen. Da **Coffee-to-go-Becher** Produktverpackungen darstellen, ist deren Standardisierung ggf. relevant für den Abfüller (z. B. bzgl. der Kompatibilität in der Spülmaschine), nicht jedoch für die Logistikkette. Aus diesem Grund wird der Indikator »Modularität« für den Coffee-to-go-Becher in MW und EW-Ausführungen mit 0 (i.S.v. irrelevant) gesetzt.

6.2.2 Volumenreduzierbarkeit

Die Reduktion von Leerkapazitäten, sei es während des Transports oder der Lagerung, ermöglicht eine höhere Wirtschaftlichkeit sowie die Reduktion des Energiebedarfs und der damit einhergehenden Umweltwirkungen, beispielsweise der Treibhausgasemissionen. Auch wenn letztere Aspekte in separaten Kapiteln nachfolgend diskutiert werden, haben sich die Autoren dazu entschlossen, diese Kategorie separat auszuarbeiten und differenziert die Möglichkeiten der Volumenreduktion von Einweg- wie Mehrweglösungen zu bewerten.

Eine Volumenreduktion kann dabei an unterschiedlichen Stellen des Nutzungszyklus erfolgen:

- (a) **Falt-/Klappbarkeit der Verpackung:** Als Leergut kann die Verpackung zusammengefaltet oder -geklappt und mittels bestenfalls einfacher Handgriffe für die Befüllung vorbereitet werden (z. B. Steigen). Die Volumenreduktion erfolgt in diesem Fall zerstörungsfrei.
- (b) **Nestbarkeit der Verpackung:** Als Leergut besteht die Möglichkeit, die Verpackung durch deren konische Form ineinander zu stapeln (z. B. Becher, Töpfe, starre Kisten, Pflanzentrays). Die Volumenreduktion erfolgt in diesem Fall ebenfalls zerstörungsfrei.
- (c) **Komprimierbarkeit während der Entsorgungsphase:** Wenn ausgeschleuste Verpackungen der Entsorgung/dem Recycling zugeführt werden sollen,

kann deren Material durch Abfallpressen komprimiert werden. Die Volumenreduktion erfolgt in diesem Fall nicht zerstörungsfrei. Alternativ spielt hier wiederum die falt-/klappbarkeit ausgeschleuster Kisten mit ein.

Bewertungsindikator Volumenreduktionsfaktor

Als Bewertungsmaßstab wird der Volumenreduktionsfaktor verwendet, welcher das Verhältnis des Volumens der Vollgut-Verpackung (aufgeklappt, nicht gestapelt, nicht komprimiert) zum Volumen der komprimierten Leergut-Verpackung darstellt (Tabelle 11).

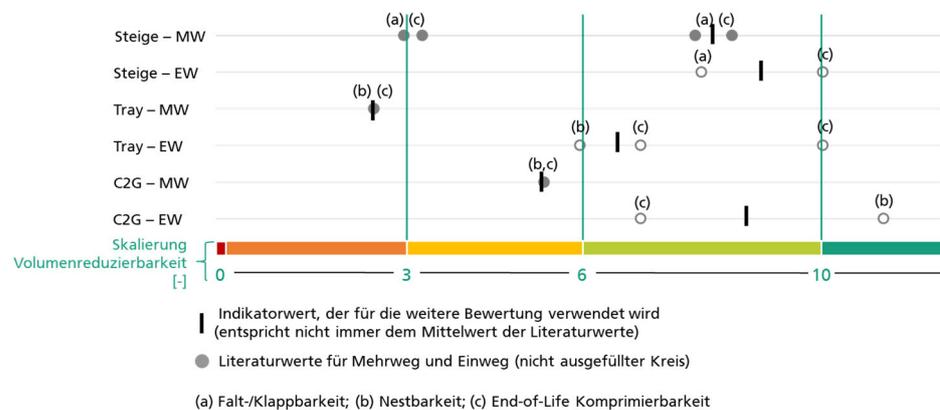
Tabelle 11: Bewertung der Volumenreduzierbarkeit zur Geschäftsprozessoptimierung

Indikator	-2 (schlecht)	-1 (eher schlecht)	0 (neutral)	+1 (eher gut)	+2 (gut)
Volumenreduzierbarkeit [-]	0	< 3	3 bis < 6	6 bis < 10	≥ 10

Bestimmung der Werte für die untersuchten Systeme

Die folgende Grafik zeigt die Ergebnisse für die untersuchten Mehrwegsysteme (MW) und die korrespondierenden Einwegalternativen (EW). Hinweise zur Ermittlung der Werte sind im Text unter der Abbildung gegeben. Tabellen mit den verwendeten Daten finden sich in Kapitel 9.4.9.

Abbildung 25: Volumenreduzierbarkeit von Einweg- und Mehrwegsystemen im Vergleich



Bei den **Obst- und Gemüsesteigen** ist die Klappbarkeit eine relevante Performancekategorie. Die Obstkartons werden beispielsweise flach angeliefert, was für die Bananenkiste mit dem Faktor 8 abgeschätzt wurde. Erst beim Erzeuger oder den Packstationen werden diese unmittelbar vor der Befüllung aufgeklappt und verklebt. Nach der Nutzung können sie mittels PPK-Abfallpressen wiederum zu einem noch höheren Reduktionsgrad komprimiert werden. Zugeordnet wird der Indikatorwert +1.

Bei der Mehrwegvariante können in der Regel die Seitenteile eingeklappt werden. Dabei können Volumenreduktionsfaktoren von ca. 3 bis 8 erzielt werden. Die Bandbreite ergibt sich durch die unterschiedliche Höhe der aufgeklappten Steigen, bei jedoch gleicher Höhe im zusammengeklappten Zustand. Für den Vergleich mit einer Einweg-Bananenkiste wird der größere Wert für eine hohe Mehrwegsteige gewählt und somit der Indikatorwert +1 zugeordnet.

Pflanzentrays können im leeren Zustand ineinander gestapelt werden. Je nach Ausführung der Trays ist die Nestbarkeit dabei unterschiedlich. Da hierzu keine detaillierten Zahlenwerke veröffentlicht werden, wurde der Volumenreduktionsfaktor abgeschätzt: Für EW-Trays wurden anhand von Fotos die Stapelhöhe vermessen und ein Volumenreduktionsfaktor von ca. 6 ermittelt. Ferner sind Fotos mit gestapelten MW-Trays auf einem CC-Container ausgewertet worden. 80 ineinander gestapelte Trays hatten eine Höhe von ca. 1900 Millimetern, d. h. 23,75 Millimeter je genestetes Tray. Gemäß Internetangaben haben TEKU® Trays eine Höhe von 62 mm, sodass sich ein Volumenreduktionsfaktor von ca. 2,6 ergibt ($62 \text{ mm} / 23,75 \text{ mm} = 2,6$) (Pöppelmann 2021).

Nach der Nutzung können Pflanzentrays ebenfalls kompaktiert werden, wobei hierzu keine veröffentlichten Daten recherchiert werden konnten. Daher wurde eine ähnlich gute Kompaktierung der EW-Trays wie Kartonage-Steigen angenommen. Da nicht in allen Handelsstufen Pressen vorhanden sind, sondern die Trays lose gesammelt werden, wird eine Bandbreite von 4 bis 10 verwendet. Da MW-Trays stabiler als die EW-Variante sind, wird angenommen, dass deren Volumenreduktionsgrad deutlich geringer ausfällt. Dieser wird konservativ mit der Nestbarkeit gleichgesetzt und für die Entsorgungsphase ebenfalls mit 2,6 abgeschätzt. Zusammenfassend werden für Einweg-Pflanzentray der Indikatorwert +1 und für Mehrweg-Pflanzentrays der Indikatorwert -1 verwendet.

Der Volumenreduktionsfaktor für **Coffee-to-go-Becher** wurde wiederum anhand zweier Exemplare vermessen. Der 0,3 Liter RECUP Becher hat eine Höhe von 100 Millimetern, jeder genesteter Becher trägt 15 Millimeter zu einem Stapel bei. Die Becher werden in der Regel in einem 25er-Stapel in Kartons geliefert, sodass in einem 25er-Stapel jeder Becher durchschnittlich 18,4 Millimeter beiträgt. Bei 100 Millimetern Becherhöhe ergibt sich somit ein Volumenreduktionsfaktor von 5,4. Bei einem Einwegbecher wird angenommen, dass der Rand geringer ausfällt (Annahme: 5 Millimeter je genesteter Becher). Bei gleicher Becherhöhe von 100 Millimetern ergibt sich eine durchschnittliche genestete Becherhöhe (25er-Stapel) von 8,8 Millimeter, was zu einem Volumenreduktionsfaktor von 11,4 führt.

In der Entsorgungsphase wird für den Mehrwegbecher wiederum derselbe Volumenreduktionsfaktor von 5,4 angenommen, da am Abfüllort die ausrangierten Becher ineinander gestapelt zurückgesendet werden. Die EW-Becher landen bestenfalls im Hausmüll oder öffentlichen Papierkörben, wo sie üblicherweise manuell zusammengedrückt lose gesammelt werden. Im Entsorgungsfahrzeug können diese dann wieder als gemischter Abfall kompaktiert werden. Hier wird ein Volumenreduktionsfaktor von ca. 4 für den Vergleich angesetzt.

Somit werden mittlere Indikatorwerte von 0 (Mehrweg) und +1 (Einweg) für Coffee-to-go-Becher zugeordnet.

6.2.3 Produktschutz

Eine der wesentlichen Aufgaben von Verpackungen ist der Schutz des enthaltenen Produkts. Hierzu müssen die Verpackungen robust ausgeführt werden, um den Belastungen von Handhabung, Lagerung und Transport zu genügen und gleichzeitig die spezifischen Anforderungen seitens des Produkts durch eine angepasste Gestaltung zu berücksichtigen.

Bei bestimmten Verpackungen, wie beispielsweise den Coffee-to-go-Bechern, ist nicht nur der Produktschutz zu beachten, sondern auch die Sicherheit der Nutzerinnen und Nutzer hinsichtlich Verbrühungen.

Bewertungsmaßstab Bruchquote

Als Bewertungsmaßstab für den Produktschutz oder den Schutz der Personen, die die Verpackung anwenden, eignet sich die Bruchquote von Verpackungen bei Transport und Handling. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass eine beschädigte Verpackung nicht 1:1 mit Produktverlust einhergeht, letzter kann geringer ausfallen, siehe dazu weiter unten im Text die Erläuterungen zu Obst- und Gemüsesteigen. Ferner sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass mit Blick auf den Produktschutz nur die Bruchquote während des Vollgut-Transports und -Handlings relevant ist. Die hier aufgeführten Bruchquoten (Tabelle 12) beziehen sich daher nicht auf die Leergut-Prozesse im Rahmen z. B. der Distribution, Reinigung und Redistribution.

Tabelle 12: Bewertung des Produktschutzes anhand des Indikators Bruchquote

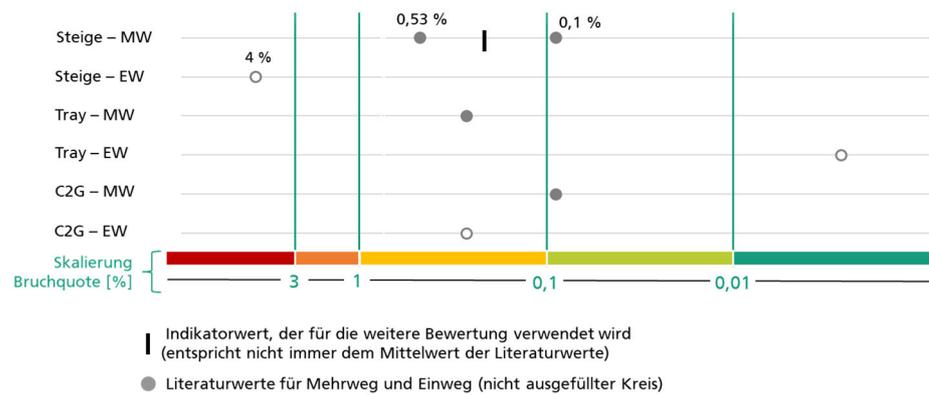
Indikator	-2 (schlecht)	-1 (eher schlecht)	0 (neutral)	+1 (eher gut)	+2 (gut)
Bruchquote	> 3 %	3 bis > 1 %	1 bis > 0,1 %	0,1 bis < 0,01 %	≤ 0,01 %

Die Einstufung in der Tabelle basiert auf Untersuchungen zu Bruchquoten von (Lange et al. 2013) an Steigen (s. u.). Für die Demonstratoren Pflanzentray und Coffee-to-go-Becher liegen keine Daten vor, weswegen die nachfolgende Darstellung für alle drei Demonstratoren qualitativ erfolgt.

Bestimmung der Werte für die untersuchten Systeme

Die folgende Grafik zeigt die Ergebnisse für die untersuchten Mehrwegsysteme (MW) und die korrespondierenden Einwegalternativen (EW). Hinweise zur Ermittlung der Werte sind im Text unter der Abbildung gegeben. Tabellen mit den verwendeten Daten finden sich in Kapitel 9.4.10.

Abbildung 26: Bruchquote von Einweg- und Mehrwegsystemen im Vergleich



Bei **Obst- und Gemüsesteigen** werden in der Literatur fünf Hauptursachen für Verpackungsschäden genannt (Lange et al. 2013). Zum einen ist dies die fehlende Stabilität der jeweiligen Transportverpackung. Die Festigkeit von Kartonage/Pappe wird beispielsweise durch eintretende Feuchtigkeit während Transport und Handling nachteilig beeinflusst (Lange et al. 2013). Hinzu kommt, dass die Stabilität von der realisierten Stapelhöhe der Steigen auf der Palette abhängig ist. Zum anderen wird eine unzureichende Ladeeinheitensicherung genannt, welche in der Regel durch Schrumpf-/ Wickelfolie oder Umreifungsbänder auf der Palette sicherzustellen ist. Während des Handlings können zusätzliche äußere Einflüsse zu Schäden an der Verpackung und damit den Produkten führen, z. B. durch Gabelstapler bei der Be- und Entladung der Paletten (Lange et al. 2013). Letztlich werden die fehlende modulare Abstimmung der Verpackungen sowie eine fehlende Kompatibilität als Ursachen für Schäden genannt, auf welche bereits im Abschnitt 6.2.1 eingegangen wurde. Nachfolgend sind Ergebnisse der Studie von Lange et al. (2013) dargestellt, die abgeschätzt haben, zu welchem Anteil die verschiedenen Ursachen zu Verpackungsbrüchen in den jeweiligen Distributionsstufen beitragen.

Abbildung 27: Gegenüberstellung der Bruchursachen aus der Studie »SafeFood« (Lange et al. 2013)

		Bruchursachen							
		Verpackungsstabilität	Ladeeinheitensicherung	Äußere Einflüsse	Fehlende modulare Abstimmung	Fehlende Kompatibilität			
Distributionsstufe	Zentrallager	Einweg	64% 	20% 	16% 	nicht relevant aufgrund sortenreiner Ladeeinheiten			
		Mehrweg	0% 	67% 	33% 				
	Filiale	Einweg	17% 	3% 	3% 			37% 	40%
		Mehrweg	0% 	0% 	100% 			0% 	0%

Konkrete Zahlen zu Bruchquoten und dadurch resultierenden Produktverlusten sind kaum veröffentlicht. Qualitativ werden die Bruchquoten von Mehrweglösungen im Vergleich zu Einweglösungen als geringer eingestuft. So wurde beispielsweise aufgeführt, dass die starren Wände der MW-Steigen eine bessere Stapelbarkeit ermöglichen und einen besseren Schutz bei Stößen böten. (Lange et al. 2013)

Der »SafeFood«-Studie des Fraunhofer IML zufolge ist die durchschnittliche Bruchquote von Mehrwegsteigen (ca. 0,1 Prozent) nicht der Verpackungslösung selbst, sondern der (ggf. unzureichend gewählten oder ausgeführten) Ladeeinheitensicherung sowie äußeren Einflüssen zuzurechnen. Bei Einwegsteigen sind hingegen das Material (in Kombination mit Feuchtigkeitseintritt) sowie die Vielfalt und gleichzeitig geringe modulare Abstimmung/Kompatibilität für einen Großteil der Bruchereignisse verantwortlich. Die Daten wurden in den jeweiligen Distributionsstufen Zentrallager und Filiale separat erhoben. (Lange et al. 2013)

Eine Studie des Fraunhofer IBP zu Obst- und Gemüsesteigen verwendet eine höhere Bruchquote von durchschnittlich 0,53 Prozent je Umlauf, welche auf Primärdatenerhebungen bei Euro Pool Systems und IFCO basieren (Krieg et al. 2018).

Nicht jeder Bruch einer Obst- oder Gemüsesteige geht mit einem kompletten Produktverlust einher, bedarf aber weiterer Handlungsschritte wie Auflösen der

Originalpalette, Entfernen der beschädigten Steige, Aussortieren der verdorbenen Ware sowie Umpacken der restlichen Waren und der unbeschädigten Steigen. Inwiefern diese zusätzlichen Schritte zum Produkterhalt in den Zentrallägern und Filialen durchgeführt werden, ist in den vorliegenden Studien nicht aufgeführt. Die »Safefood«-Studie quantifiziert den Anteil an beeinträchtigter Produktqualität in den beschädigten Steigen mit ca. 40 Prozent (EW) oder 22 Prozent (MW) im Zentrallager und 20 Prozent (EW) oder 0 Prozent (MW) in den Filialen. (Lange et al. 2013)

Für die vorliegende Studie werden die Indikatorwerte »neutral« (0) für die Mehrwegsteige und »schlecht« (-2) für die Einwegsteige zugeordnet.

Im Falle von **Pflanzentrays** bezieht sich der Produktschutz insbesondere auf den sicheren Stand (Stabilität) der Pflanzentöpfe in den Trays entlang der Lieferkette von Pflanzenerzeuger über Handel bis zur Filiale (ggf. bis Endkunde). Diesbezügliche Informationen konnten in der Literatur nicht recherchiert werden. In den Interviews wurde jedoch herausgestellt, dass auch die zukünftigen Mehrweglösungen die sehr gute Stabilität erreichen müssen, welche bei den individuellen Lösungen für Einwegtrays heute realisiert wird. (Breukers 2021)

Um eine einheitliche Visualisierung für alle drei Demonstratoren zu ermöglichen, wurde eine eigene Abschätzung für einen ersten Indikatorwert vorgenommen. Hierbei wurde für Einweg der beste Indikatorwert »gut« (+2) zugeordnet, welcher gleichzeitig als Zielmarke für Mehrweg zu sehen ist. Da dieser jedoch heute als noch nicht erreicht anzusehen ist, wird er mit dem Indikatorwert »neutral« (0) in der Studie bewertet.

Coffee-to-go-Becher: Für Business-to-Consumer Verpackungen besteht die methodische Problematik, dass sich der Indikator »Bruchquote« für Mehrwegbecher auf die (anteilig) erfolgreiche Kreislaufschließung bezieht, wobei die Datenlage noch nicht zufriedenstellend ist. So veröffentlichten Pladerer et al. (2008) beispielsweise für den Einsatz von Mehrwegbechern in deutschen Fußballstadien (Bundesligabetrieb) Bruchquoten in Höhe von durchschnittlich 0,93 Prozent (mit minimal 0,46 Prozent bei Werder Bremen und maximal 1,68 Prozent bei VfB Stuttgart).

Der Indikator »Bruchquote« bezieht sich weniger auf den Anteil der Becher, die nach Abfüllung mit dem Produkt bis zum Konsum zu Produktverlust oder Gefährdung der Konsumentinnen und Konsumenten führen. Bei diesem Demonstrator wäre die »Bruchquote« somit eher im weiteren Sinne als Anteil des »sicheren Konsums« zu verstehen: beeinflusst beispielsweise durch die Steifigkeit und damit sicherere Tragbarkeit des Bechers sowie (wahlweise) Verschleißbarkeit des Bechers mit einem Deckel oder Hitzeübertrag durch die Becherwand.

Für diese Studie verwendbare Daten konnten auch für Coffee-to-go-Becher nicht identifiziert werden. Daher wurde eine eigene Abschätzung für einen ersten Indikatorwert vorgenommen, bei welcher Mehrweg mit »eher gut« (+1) leicht besser bewertet wird als Einweg (»neutral«).

6.2.4 Digitalisierbarkeit

Die Digitalisierung macht auch vor der Verpackungsindustrie nicht halt (Valto-kari 2021). Auf der Ebene der Verpackung finden Barcodes (visuelle Codes wie Strichcodes, QR-Codes, Data Matrix-Codes etc.) und Recycling-Codes bereits universellen Einsatz. Die Codes werden über Kamerascanner ausgelesen und erlauben die Identifikation von Verpackungs- und Artikel-Typen bis hin zu Einzelobjekten. Kombiniert mit Cloud-Daten können den Produkten und Verpackungen beliebige Eigenschaften temporär oder dauerhaft zugeschrieben werden. Weiterhin ist auch ein Tracking von Verpackungen entlang der Transportwege und über den gesamten Lebenszyklus möglich.

Neben den sichtbaren QR- und Barcodes werden derzeit auch digitale Wasserzeichen entwickelt. Das entsprechende Projekt nennt sich »Holy Grail 2.0« (Schröder 2020). Diese digitalen Wasserzeichen sollen als weitgehend unsichtbar gedruckte oder geprägte Markierungen realisiert werden. Sie werden über die gesamte Verpackung appliziert, sodass auch Verpackungsteile oder -fragmente eindeutig identifizierbar bleiben. Sie sollen eine verbesserte Sortierbarkeit ermöglichen und damit einen Innovationssprung beim Recycling erreichen. Letztlich hängt die praktische Rezyklierbarkeit aber von einer ganzen Reihe von Größen ab, dazu gehören Störstoffe, Trennbarkeit von Verbunden, das Erreichen kritischer Mengenströme und auch das Vorhandensein der erforderlichen Anlagentechnik. Dies wird beispielsweise im Mindeststandard zur Recyclingfähigkeit berücksichtigt (vgl. auch Abschnitt 6.1.5) (Umweltbundesamt 2021).

Neben den QR- und Barcodes werden auch Funktechniken wie RFID (radio-frequency identification, Funketiketten mit Chip) verwendet. Neben RFID gibt es auch alternative Techniken, die auf Wi-Fi, Bluetooth (ibeacon) oder Ultra-Wide-Band (UWB) basieren, aber bislang nur geringe Relevanz besitzen. Bei den RFID-Systemen gibt es passive und aktive Lösungen (mit Batterie). Sie bestehen aus einem Transponder auf dem zu verfolgenden Objekt und festinstallierten Lesegeräten (Readern) entlang der Transportroute, um ein Auslesen und Tracking zu ermöglichen. Chips der Transponder sind einfach oder mehrfach beschreibbar. Vorteile der Funketiketten gegenüber der Barcodetechnik sind, dass die Datenerfassung aufgrund der drahtlosen Funktechnik ohne Sichtkontakt möglich ist, die gute Resistenz gegenüber Umwelteinflüssen, die durch Einbettung in das Verpackungsmaterial gegeben ist und die schnelle und gleichzeitige Erfassung mehrerer Objekte (»Pulkerfassung«).

Ergänzend zu optischen Markierungen und Funk-Tags, die vor allem der Identifikation und dem Tracking dienen, gibt es zahlreiche weitere Elemente, mit denen eine Verpackung ausgerüstet werden kann. Dies beginnt bei einfachen aktiven Elementen wie Saugelagen (bspw. bei Fleischverpackungen), Trockenmittelbeuteln, der Verpackung unter Schutzgas oder der Integration von Sauerstoffabsorbieren bspw. in Flaschendeckeln, um eine Oxidation des Produkts zu verhindern. Intelligente Elemente in Verpackungssystemen wirken überdies nicht ausschließlich auf das Produkt ein, sondern stellen auch Informationen für die Außenwelt bereit, aus denen sich ein Zusatznutzen ergibt. Die technische Grundlage für die intelligente Ausrüstung sind Sensoren für Temperatur, Lage,

Feuchtigkeit und Impuls, gekoppelt mit Funktechnologien, um die erhobenen Daten weiterzuleiten. Mit den Sensoren kann eine Überwachung von Zustand, ordnungsgemäßem Transport und Lagerung sichergestellt werden. Als Interfaces kommen Lautsprecher, LEDs und Displays zum Einsatz. Letztere stehen in Konkurrenz zu Mehrzweckendgeräten wie Mobiltelefonen, Tablets, Smartwatches oder individuellen Mobilcomputern (Handhelds), die im Sinne eines »Extended Packaging« als Lesegeräte dienen und gleichzeitig Zugriff auf externe Datenquellen in Clouds ermöglichen. Die externen Inhalte können sowohl Produktinformationen (Spezifikationen, Chargennummer), Statusinformationen (Haltbarkeit, Ort) als auch weitere Informationen wie Bedienungsanleitungen, Rezepte, ergänzende Angebote, Schadstoffgehalte, ökologische Fußabdrücke etc. umfassen.

Ausschlaggebend für Art und Umfang der digitalen Ausrüstung einer Packung ist häufig der Preis der Komponenten. Während bspw. Barcodes weniger als 1 Cent pro Stück kosten, liegen die Preise für passive RFID-Tags ab 5 Cent pro Stück und für aktive RFID bei 25 Euro pro Stück, bei besonders langlebigen Typen ggf. deutlich mehr. (RFID journal o. J.)

Auf Verpackungen aufgebrachte RFID-Tags und Sensoren wirken sich nach derzeitigem Kenntnisstand negativ auf das Recycling aus. Um eine Verunreinigung des Sekundärmaterials und dissipative Verluste an metallischen Rohstoffen zu vermeiden, müssten die RFID-Tags idealerweise rückgewinnbar sein. Selbst wenn es gelingt, rein organische und polymere RFID-Tags herzustellen, ist es fraglich, ob ihr Verbleib in den Sekundärrohstoffen akzeptabel wäre, da Polymerschmelzen bereits auf geringe Verunreinigungen empfindlich reagieren. Grundsätzlich kann von Sensoren und RFID-Tags entweder eine negative Wirkung auf die Qualität der Sekundärrohstoffe oder ein erhöhter Recyclingaufwand erwartet werden.

Bewertungsmaßstab/Indikator: Kosten für die Digitalisierung

Eine Reihe von Merkmalen spricht für eine hohe Digitalisierbarkeit einer Verpackung :

- Die Implementierung der digitalen Ausrüstung ist aufgrund des Designs des Verpackungssystems leicht möglich und kann standardisiert werden.
- Informationen über Verpackung und des Inhalts sind über einen kompletten oder gar mehrere Lebenszyklen verfügbar, sodass ein hoher Nutzen durch Tracking und Informationszuordnung zur Verpackung erreicht wird.
- Zudem besteht die Option, die digitale Ausrüstung vor dem End-of-life oder bei Schädigung abzutrennen/auszutauschen oder sie zerstörungsfrei im Kreis zu führen.

Grundsätzlich sind die Vorteile von Digitalisierungsstrategien im Bereich der Einwegsysteme geringer als bei Mehrwegsystemen, da keine zerstörungsfreie

Kreislaufführung angestrebt wird. Selbst bei der Verwendung von Markierungstechnologien, wie sie unter dem Schlagwort »Holy Grail 2.0« diskutiert und entwickelt werden, können der Verpackung und größeren Fragmenten zwar bis zur Sortierung cloudbasierter Produkt- und Werkstoffinformationen zugeschrieben werden. Aber eher scheint ausgeschlossen, dass diese Informationen nach dem Prozess des mechanischen oder chemischen Recyclings einem Sekundärprodukt eindeutig zugeschrieben werden können. Informationen darüber, wie eine Verpackung additiviert wurde, mit welchen Inhaltsstoffen sie in Kontakt gekommen ist, liegen daher bei Einwegsystemen nach dem Recycling nicht verpackungsscharf, sondern im besten Fall als gemittelte Werte vor.

Ein geeigneter quantitativer Indikator zur Bestimmung der Digitalisierbarkeit ergibt sich aus den Kosten für die Digitalisierung (Transponder), bezogen auf die Kosten der Verpackung. Dabei werden die Kosten für die Digitalisierung auf die Kosten der Verpackung über die Umlaufzahl umgelegt. Als Berechnungsgrundlage werden Kosten für einen Transponder von 10 Cent pro Stück zugrunde gelegt. Komplexere Sensorik oder sogar Schnittstellen, die direkt an die Verpackung appliziert werden, würden deutlich höhere Kosten verursachen. Die Kosten für die Infrastruktur dürften bei Einweg- und Mehrwegsystemen ähnlich sein und werden daher vernachlässigt. Aufgrund einer stärkeren Standardisierung der Mehrwegsysteme oder weniger Änderungen beim Verpackungsdesign über die Zeit, ist es aber auch denkbar, dass die Infrastruktur für Mehrwegsysteme einfacher und kostengünstiger ausgeführt werden könnte.

Die Digitalisierbarkeit wird bei den Betrachtungen in dieser Studie als umso größer angesehen je geringer der Kostenanteil ist. Letzterer wird wie folgt berechnet (UZ = Umlaufzahl):

$$\text{Kostenanteil für Digitalisierung} = \frac{\text{Kosten Digitalisierung}}{\text{UZ} * (\text{Kosten Verpackung} + \text{Kosten Digitalisierung})}$$

Für die Bewertung der verschiedenen Verpackungssysteme wurde der Aspekt der zerstörungsfreien Kreislaufführung und des Kostenanteils für die Digitalisierung kombiniert und eine Abstufung gemäß Tabelle 13 gewählt.

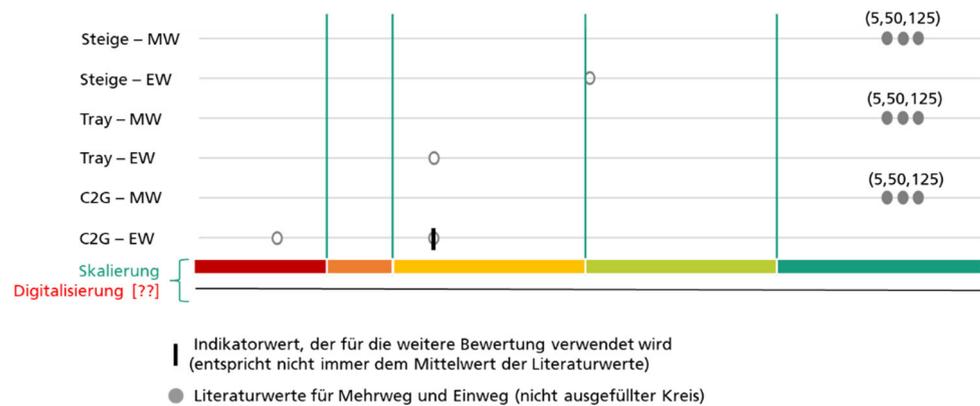
Tabelle 13: Abstufung des Indikators Digitalisierbarkeit

Indikator	-2 (schlecht)	-1 (eher schlecht)	0 (neutral)	+1 (eher gut)	+2 (gut)
Digitalisierbarkeit	≥ 50 %	Kostenanteil 10 bis < 50 %	Kostenanteil < 10 %	Kostenanteil < 10 % und zerstörungsfreie Kreislaufführung	Kostenanteil < 5 % und zerstörungsfreie Kreislaufführung

Bestimmung der Werte für die untersuchten Systeme

Die folgende Grafik zeigt die Ergebnisse für die untersuchten Mehrwegsysteme (MW) und die korrespondierenden Einwegalternativen (EW). Hinweise zur Ermittlung der Werte sind im Text unter der Abbildung gegeben. Tabellen mit den verwendeten Daten finden sich in Kapitel 9.4.11.

Abbildung 28:
Digitalisierbarkeit von
Einweg- und Mehrweg-
systemen im Vergleich



Mehrwegsteigen für Obst und Gemüse werden bereits heute durch einen GRAI-Code (Global Returnable Asset Identifier) gekennzeichnet. Er besteht aus Basisnummer, Behältertyp und Prüfziffer und erlaubt es, das Verpackungssystem eindeutig zu kennzeichnen. Im Weiteren kann der Code um eine serielle Komponente ergänzt werden, die eine Identifikation auf der Ebene des einzelnen Behälters erlaubt. In Europa wird der GRAI-Code in der Regel in Form eines Strichcodes als Inmould-Label ausgeführt. In den USA werden bereits RFID-Tags verwendet. Bereits niedrige Umlaufzahlen führen zu einem niedrigen Kostenanteil für die Digitalisierung. Der Indikator wurde auf +2 festgelegt.

Bei **Einwegsteigen** aus Karton und vielen anderen Verpackungseinheiten ist eine eindeutige Kennzeichnung einer Versandeinheit bis zum Empfänger mittels der Nummer der Versandeinheit (NVE, international: Serial Shipping Container Code) üblich. Sie wird per Etikett, Direktdruck (Tintenstrahl) oder RFID appliziert, umfasst aber nicht in jedem Fall die einzelne Steige, sondern die Versandeinheit (z. B. eine Palette mit mehreren Kartonsteigen). Nach der Auflösung der Versandeinheit geht die Information verloren. Der Kartontyp wird ergänzend mit dem FECO-EBSO-Code gekennzeichnet. Bei den Kartonsteigen läge der Kostenanteil für eine passive RDID-Technik mit 11 Prozent noch recht niedrig (Indikatorwert 0).

Mehrwegtrays und **Mehrwegbecher** werden zerstörungsfrei im Kreis geführt. Die Kosten für einen RFID-Transponder fallen trotz der relativ preiswerten Trays und Becher bereits bei niedrigen Umlaufzahlen nicht ins Gewicht und betragen deutlich unter 5 Prozent. Sogar deutlich teurere Transponder inkl. Sensorik wären vorstellbar (Indikator +2). Die Einführung von RFID-Technologie bei Mehrwegbechern wird seit 2020 im Pilotmaßstab erprobt (RFID card 2020).

Bei **Einwegtrays** stellen die Kosten für die Digitalisierung einen erheblichen Anteil an den Gesamtkosten dar (Indikatorwert -1). Bei günstigen **Einwegbechern** ist eine Digitalisierung mit RFID-Technik kaum vorstellbar, da die Digitalisierung fast 80 Prozent der Gesamtkosten ausmachen würde. Selbst bei hochwertigen Bechern, die hier als Vergleichsstand gewählt werden, da sie in Bezug auf die Performance eher mit Mehrwegbechern konkurrieren können, ist der Kostenanteil noch eher hoch (Indikatorwert -1).

6.2.5 Transportaufwand

Der Transportaufwand wird als Transportleistung (in Tonnenkilometern) gemessen und direkt von sowohl dem zu transportierenden Gewicht als auch der zurückzulegenden Entfernung beeinflusst. Die Logistikakteure entlang der Lebenswege von Einweg- wie auch Mehrwegsystemen verbessern und optimieren kontinuierlich ihre Transporte und damit den Transportaufwand. Strategien liegen beispielsweise bei der Auslastungserhöhung (die Volumenreduktion/Faltbarkeit des Leerguts spielt hier mit ein, siehe auch Kapitel 6.2.2) oder der Vermeidung von Leertransporten (ca. 42 Prozent des Kraftstoffverbrauchs eines vollbeladenen Lkw entstehen durch das Zuladungsgewicht, 58 Prozent verursacht das Leerfahrzeug (Infras 2019)²²). Ob und inwieweit Leertransporte erforderlich sind, ist weniger eine Frage des Verpackungssystems, als vor allem der Größe und des Netzwerks des Logistikdienstleisters, der Existenz von Frachtbörsen sowie der Paarigkeit der Regionen²³. Diese Punkte bestimmen die Zahl der Aufnahme- und Abladepunkte in einem Logistiknetzwerk, ermöglichen Bündelung, Streckenoptimierung und reduzieren damit die Leerfahrten (Dörfelt 2018).

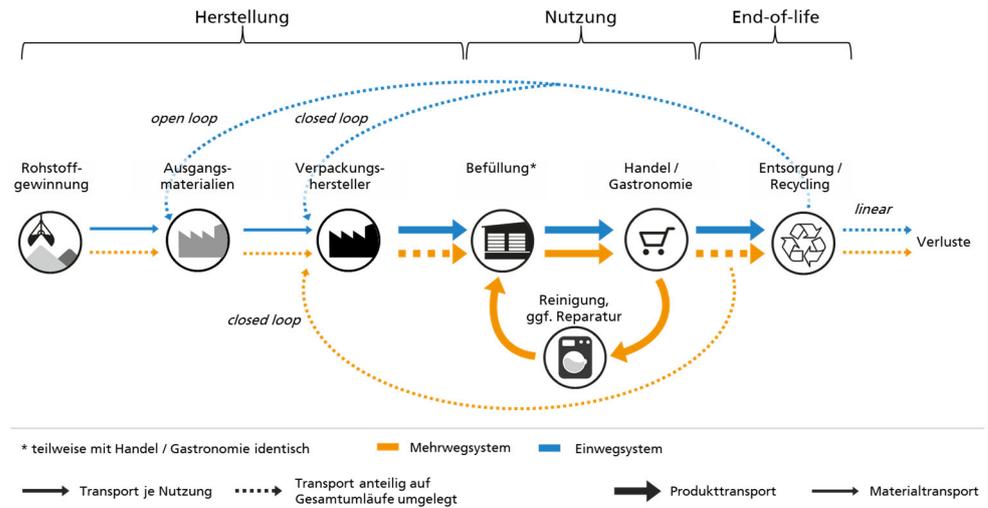
Neben der Volumenreduktion durch falt- und nestbare Verpackungssysteme wird auch das Eigengewicht der Verpackung – sowohl bei Einweg- als auch Mehrwegsystemen – optimiert (siehe auch Abschnitt 6.2.2), was sich ebenfalls auf den Transportaufwand auswirkt. Ein variierender Transportaufwand spiegelt sich wiederum in variierendem Kraftstoffverbrauch und damit Energieaufwand (siehe Abschnitt 6.3.2) sowie Treibhausgasemissionen (Carbon Footprint, siehe Abschnitt 6.3.1) wider.

Der Transportaufwand ist somit eine Performancekategorie, die einerseits durch zugrundeliegende Parameter wie Volumenreduzierbarkeit und Eigengewicht bestimmt wird und gleichzeitig übergeordnete Nachhaltigkeitskategorien beeinflusst. Da der Gewichtsaspekt bereits in Kapitel 6.1.2 diskutiert wird, soll dieser in diesem Kapitel nun zurückgestellt und das Augenmerk auf die Transportentfernung, welche das Einweg- oder Mehrwegsystem typischerweise zu überbrücken hat, als separater Parameter weiter betrachtet werden. Die relevanten Transporte sind in der nachfolgenden Abbildung skizziert.

²² Gemäß Handbuch für Emissionsfaktoren HBEFA Version 4.1: Fahrzeugklasse LZ/SZ >34-40t (Diesel) mit gewichtetem Schadstoffklassenmix für das Jahr 2020.

²³ D. h. wenn die Gütermengen der Regionen in beiden Transportrichtungen vergleichbar sind.

Abbildung 29:
Relevante Transporte
im Einweg- und Mehr-
wegsystem²⁴



Herstellungsphase: Bei Einweg- wie auch Mehrwegsystemen kann die Verpackungsherstellung und -distribution regional oder überregional realisiert sein. Im Falle von Kunststoffverpackungen ist zunächst der Transport des Rohstoffs zum Hersteller des Polymers erforderlich, welches dann über den Compoundeur zum Verpackungshersteller transportiert wird. Anschließend wird die fertige Verpackung zum Ort der Befüllung (z. B. Obst-/Gemüsehersteller, Pflanzen-erzeuger, Restaurant) geliefert. Diese initialen Transporte fallen bei Einwegsystemen für jede Anwendung an (daher in der Abbildung mit fettgedrucktem Pfeil dargestellt). Bei Mehrwegsystemen werden die Transportaufwendungen der Herstellungsphase auf die Zahl der Nutzungen umgelegt und sind in der Abbildung mit dünnem gestricheltem Pfeil aufgeführt.

Nutzungsphase: Losgelöst von der Regionalität der Herstellungsprozesse der Verpackungssysteme sind mit deren Nutzung ebenfalls Transporte verbunden, welche jedoch von der Regionalität der zu transportierenden Produkte abhängen und nicht ursächlich einem Einweg- oder Mehrwegsystem angelastet werden sollten. Der Transport vom Ort der Befüllung zum Point-of-Sale oder bereits der Nutzung findet bei beiden Systemen gleichermaßen statt. Während Einweg- wie auch Mehrwegsysteme weltweit in überregionalen Distributionsstrukturen (z. B. innerhalb Europas, den USA oder Australiens) eingesetzt werden, kommen in globalen Lieferketten derzeit eher Einwegsysteme zum Einsatz (Muske 2021). Nach der Nutzung erfordern die Mehrwegverpackungen in der Regel den Rücktransport zum Ort der Reinigung und von dort zum Ort der Wiederbefüllung (Redistribution).

End-of-life-Phase: Die Einwegverpackungen werden nach einmaliger, die Mehrwegverpackungen nach mehreren Umläufen einer Verwertung zugeführt. In diesem Schritt besitzen die Einwegverpackungen Vorteile, da sie leichter zerstört und (z. B. mittels Abfallpressen) kompaktiert werden können und damit

²⁴ Der Begriff »closed loop« bezieht sich hier auf die Kreislaufschließung des Materials in eine gleiche Anwendung mit gleicher Qualität (im Idealfall ohne Beimischung von Primärmaterial), während der Begriff »open loop« die Kreislaufschließung des Materials bei möglicherweise anderer (niedrigerer) Qualität und Anwendung beschreibt.

das Transportvolumen deutlich reduziert werden kann (vgl. Abschnitt 6.2.2). Für die Verwertung sind Transporte vom Ort der Ausschleusung der zu entsorgenden Verpackungssysteme zu den jeweiligen Verwertungsschritten erforderlich. Bei Mehrweg werden die Verpackungen in der Regel bei den Poolbetreibern ausgeschleust und sortenrein zum closed-loop-Recycling²⁴ transportiert. Bei Einwegverpackungen fallen die EoL-Verpackungen zumeist im Handel oder, bei B2C-Verpackungen, dem Haushalt oder den Abfallsammelstellen im öffentlichen Raum an. Je nach realisierter Kreislaufschließung folgen bei Einwegverpackungen nach der Sammlung der Transport zur Deponie/Verbrennungsanlage (linearer Produktlebenslauf) oder zum Recycling (inkl. Sortierung, Vorbehandlung, Compoundieren).

Als Bewertungsmaßstab für den Transportaufwand (Tabelle 14) wird in dieser Studie die fiktive Transportentfernung einer Anwendung verwendet, bei welcher die Transporte während Herstellung, Distribution der neuen Steigen und Entsorgung auf die gesamt möglichen Umläufe umgelegt werden (gestrichelte Pfeile in der Abbildung). Alle anderen Transporte, in der Abbildung mit durchgezogenen Pfeilen dargestellt, gehen 1:1 in die fiktive Transportentfernung ein.

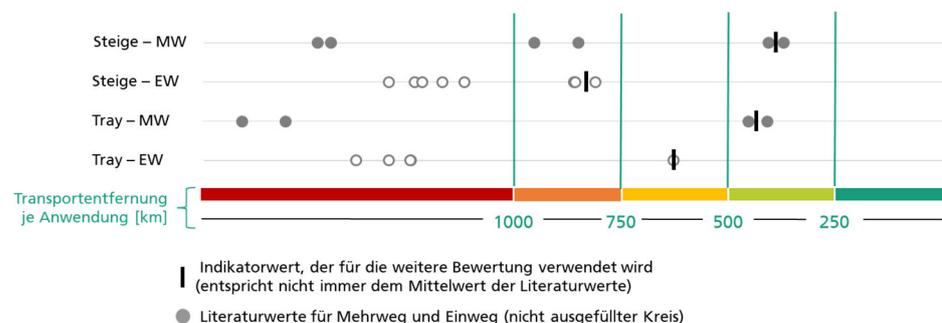
Tabelle 14: Transportentfernung einer Anwendung zur Bewertung von Transportaufwand

Indikator	-2 (schlecht)	-1 (eher schlecht)	0 (neutral)	+1 (eher gut)	+2 (gut)
Transportentfernung je Anwendung [km]	> 1000	1000 bis > 750	750 bis > 500	500 bis > 250	≤ 250

Bestimmung der Werte für die untersuchten Systeme

Die folgende Grafik zeigt die Ergebnisse für die untersuchten Mehrwegsysteme (MW) und die korrespondierenden Einwegalternativen (EW). Hinweise zur Ermittlung der Werte sind im Text unter der Abbildung gegeben. Tabellen mit den verwendeten Daten finden sich in Kapitel 9.4.12.

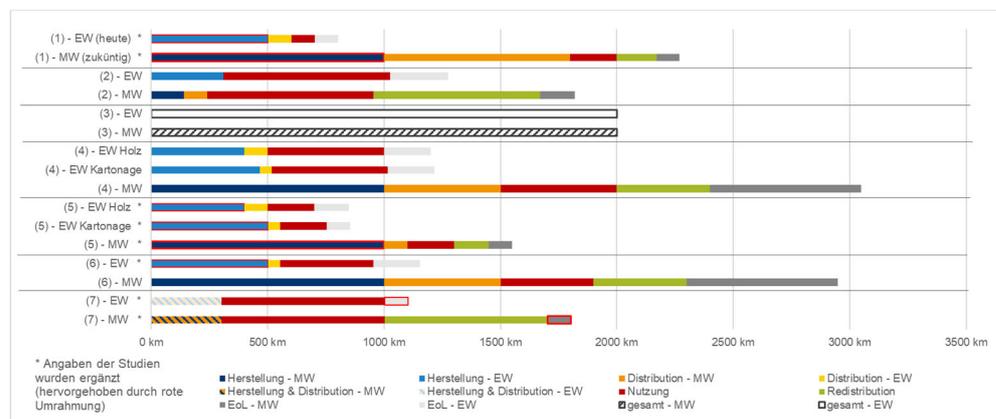
Abbildung 30: Transportentfernung je Anwendung von Einweg- und Mehrwegsystemen im Vergleich



Die separate Betrachtung der Transportentfernung verdeutlicht, dass die der Nutzung vor- und nachgelagerten Entfernungen im Vergleich zum Einsatzgebiet vernachlässigbar sind. Daher werden MW-Lösungen für regionale Anwendung gegenüber Einweglösung vorteilhaft bewertet. Das Vorgehen wird nachfolgend exemplarisch für die O/G-Steigen detailliert beschrieben.

Obst- und Gemüsesteigen: Der jeweilige Transportaufwand einer EW- oder MW-Steige hängt, wie zuvor bereits beschrieben, von der jeweiligen Herstellerentfernung sowie individuellen Anwendung (zu transportierendes Produkt) ab. Daher wurden bestehende Veröffentlichungen hinsichtlich der verwendeten Transportentfernung analysiert und diese, sofern möglich, für die Herstellung, Distribution, Redistribution und dem End-of-life separat aufgenommen. Werden Sekundärmaterialien (Regranulat) bei der Verpackungsherstellung eingesetzt, wird deren Transport in der Regel bei der Herstellung und nicht im EoL betrachtet (cut-off oder recycled content approach). Die nachfolgende Abbildung stellt diese Transportentfernungen zusammenfassend dar.

Abbildung 31:
Transportdistanzen entlang des Lebenszyklus von Obst- und Gemüsesteigen²⁵



Grundsätzlich ist festzustellen, dass die Dokumentation der zugrunde gelegten Entfernungen in den Studien sehr unterschiedlich detailliert erfolgte und die Zuordnung zu den jeweiligen Stufen im Transportsystem teilweise auf Annahmen basieren mussten. Für die Studie von Levi et al. (2011) war die Unterteilung der Transportschritte beispielsweise nicht möglich. In der Studie von Albrecht et al. (2013) war keine Entfernung für das EoL angegeben und daher wurde die minimale Distanz der anderen Studien (d. h. 100 Kilometer) inkludiert (hervorgehoben mit der roten Umrandung im Diagramm). Ferner wurde in der Studien von Abejón et al. (2020) zwar eine Transportentfernung des Kunststoffgranulats für die MW-Steige ausgewiesen, jedoch keine Transportentfernung für das Kartonage-Rohmaterial der EW-Lösung²⁶. Aus diesem Grund wurde für die oben gezeigte Darstellung eine Entfernung von durchschnittlich ca. 500 Kilometer hinzugefügt (FEFCO 2018). Lediglich hat Abejón et al. (2020) eine Transportentfernung des Kunststoffgranulats veröffentlicht, die Studie von

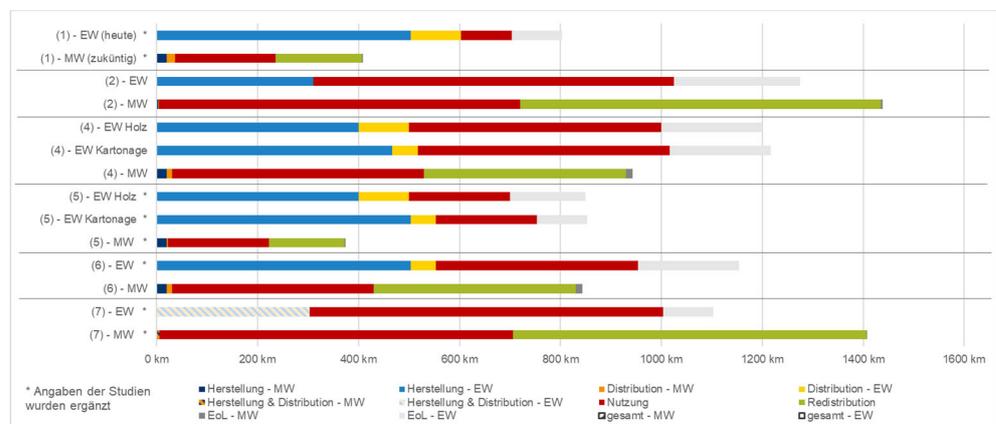
²⁵ Mit (1) Accorsi et al. 2014 (2) Koskela et al. 2014 (3) Levi et al. 2011; López-Gálvez et al. 2021; (5) Del Borghi et al. 2020; (7) Albrecht et al. 2013.

²⁶ Die Bilanzierung dieser Transporte ist in den verwendeten LCA-Modulen (GaBi) enthalten. Die Studie weist lediglich die Entfernung nicht separat aus.

López-Gálvez et al. (2021) bezieht sich auf diese Sekundärquelle. Nicht veröffentlichte Untersuchungen des Fraunhofer IML zu O/G-Steigen bestätigen diesen Wert, sodass dieser ebenfalls für die Studien Del Borghi et al. (2020) und Accorsi et al. (2014) angenommen wurde.

Diese Gesamtentfernungen wurden anschließend auf eine einheitliche Anzahl an Umläufen der Einwegsteige (per Definition 1 Nutzung) und der Mehrwegsteige (für alle MW-Steigen eine konservative Anzahl von 50 Umläufen) angewendet, d. h. die Transportentfernungen von Herstellung, Distribution und EoL der MW-Steige werden durch 50 geteilt. Da eine Aufsplittung der Angaben von Levi et al. (2011) nicht möglich ist, wurden diese Angaben aus der Darstellung genommen.

Abbildung 32:
Transportdistanzen für eine Anwendung von Obst- und Gemüsesteigen²⁷



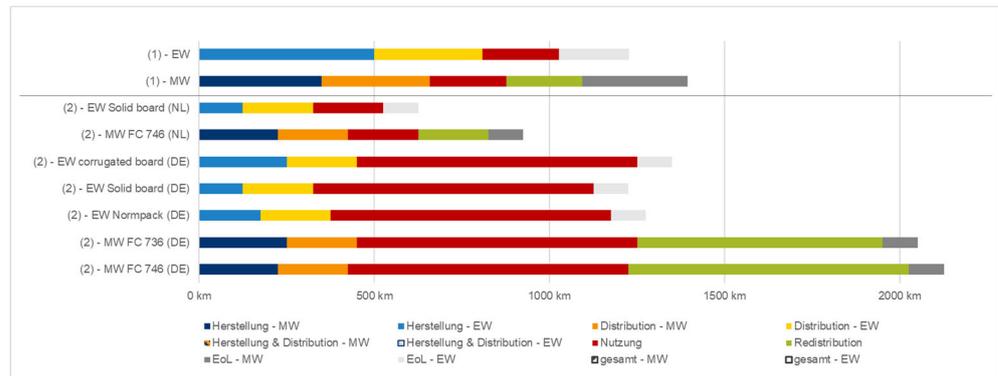
Diese Darstellung verdeutlicht, dass insbesondere die Entfernung der Anwendung der Obst- und Gemüsesteigen die Gesamttransportdistanzen und den Vergleich zwischen Einweg- und Mehrweglösungen beeinflusst. Aber selbst bei einer Redistributionsentfernung von 400 bis 500 Kilometern (Abejón et al. 2020; López-Gálvez et al. 2021), haben Mehrwegsteigen in Summe eine kürzere Transportdistanz für eine Anwendung als die betrachtete Einwegvariante.

Zusammenfassend werden Obst- und Gemüsesteigen hinsichtlich des Transportaufwands in dieser Studie für Mehrweg mit »eher gut« (+1) und für Einweg mit »eher schlecht« (-1) bewertet.

Für die **Pflanzentrays** konnte dasselbe Vorgehen auf Basis von zwei Literaturstellen angewendet werden. Dabei wurden der Studie von van Paassen und Scholten (2020) einerseits die Einsatzszenarien in Deutschland (DE) entnommen, andererseits das zu Deutschland vergleichsweise kleine Anwendungsgebiet Niederlande (NL) mit dem EW-Szenario mit der kürzesten Distanz (EW Solid board) sowie dem MW-Szenario mit der längsten Distanz (MW FC 756) gewählt.

²⁷ Mit (1) Accorsi et al. 2014 (2) Koskela et al. 2014 (3) Levi et al. 2011; López-Gálvez et al. 2021; (5) Del Borghi et al. 2020; (7) Albrecht et al. 2013.

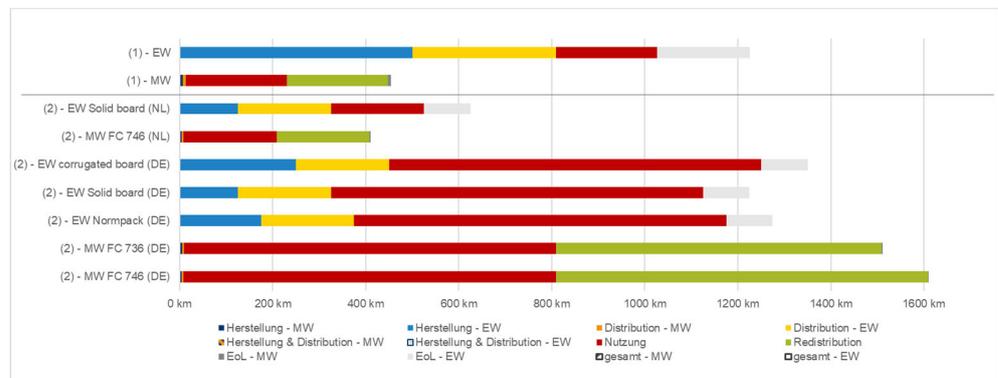
Abbildung 33:
Transportdistanzen entlang des Lebenszyklus von Pflanzentrays²⁸



Diese Gesamtentfernungen wurden wiederum auf eine einheitliche Anzahl an Umläufen (EW=1 Nutzung; MW= 50 Umläufe) bezogen. Auch hier zeigt sich, dass für Mehrwegtrays die der Nutzung vor- und nachgelagerten Entfernungen im Vergleich zum Einsatzgebiet vernachlässigbar sind. Entscheidend ist die Entfernung der Anwendung der Pflanzentrays, was durch die Untersuchungen von van Paassen und Scholten (2020) zu Deutschland und den Niederlanden verdeutlicht wird.

Zusammenfassend werden Pflanzentrays hinsichtlich des Transportaufwands in dieser Studie für Mehrweg mit »eher gut« (+1) und für Einweg mit »neutral« (0) bewertet.

Abbildung 34:
Transportdistanzen für eine Anwendung von Pflanzentrays²⁹



Im Falle von **Coffee-to-go-Bechern** war die Literatursuche entlang des Lebenszyklus schwierig (Ligthart 2007; Cottafava et al. 2021; Kauertz et al. 2019; Melbinger 2018) und sei an dieser Stelle daher nicht weiter grafisch aufgeführt. Ein Unterschied zu den vorherigen Demonstrationen liegt aber im Falle dieser B2C-Lösungen vor: Je nach Einsatzgebiet der Coffee-to-go-Becher erfolgt die Nutzung derzeit innerhalb einer Stadt (z. B. kommunaler Verbund) bis hin zu innerhalb Deutschlands (z. B. eine Handels-

²⁸ Mit (1) Dobers und Lammers 2017; (2) van Paassen und Scholten 2020.

²⁹ Mit (1) Dobers und Lammers 2017; (2) van Paassen und Scholten 2020.

kette, Tankstellenverbund). Kommunale Lösungen werden somit geringe Entfernungen für die Nutzung haben, sodass die Redistribution – sofern die Becher zur selben Ausgabestelle zurückgebracht werden – wegfällt. Bei landesweiten Pools ist die Entfernung hingegen stark von der zentralen (z. B. RECUP mit heute einem Standort in Leverkusen (Pachaly 2021)) vs. dezentralen Organisation und Mengenschwankungen abhängig. Daten sind hierzu jedoch bislang nicht veröffentlicht. Eine Bewertung hinsichtlich des Indikatorwerts wurde daher nicht vorgenommen.

6.3 Nachhaltigkeitskategorien

Entsprechend dem »Drei-Säulen-Modell« kann Nachhaltigkeit nur durch das gleichgewichtete und gleichrangige Umsetzen von umweltbezogenen, wirtschaftlichen und sozialen Zielen erreicht werden. Die Bereitstellung und Nutzung von Verpackungssystemen ist mit Auswirkungen auf die Umwelt, die Wirtschaft und Gesellschaft verbunden. Sofern diese Auswirkungen negativer Art sind, gilt es, sie zu minimieren und die Lasten fair zwischen den heute lebenden Menschen und zukünftigen Generationen zu verteilen. Um dies zu erreichen, wurden auf globaler Ebene Ziele für eine nachhaltige Entwicklung vereinbart (engl. Sustainable Development Goals, SDGs). Diese im Jahr 2015 unter Federführung der Vereinten Nationen festgelegten Ziele sollen bis zum Jahr 2030 umgesetzt werden. Sie adressieren eher politische Zielsetzungen und sind weniger Vorgaben zur Bewertung der Nachhaltigkeit einzelner Produkte und Prozesse.

Nachhaltigkeit für einzelne Produkte und Prozesse messbar und vergleichbar zu machen, ist eine große Herausforderung. Eine Möglichkeit ist die Untersuchung ausgewählter Kategorien, die relevante Aspekte adressieren. Ein allgemeingültiger Indikatorenansatz ist jedoch wenig sinnvoll, da für konkrete Produkte, Prozesse und Branchen oftmals sehr spezifische Nachhaltigkeitsaspekte besonders relevant und vorrangig sind. Dies spiegelt sich in der Regel auch in den öffentlichen Debatten wider. Im Bereich der Bekleidung spielen beispielsweise soziale Aspekte wie Arbeitsschutz und faire Beschäftigungsverhältnisse in der öffentlichen Wahrnehmung eine große Rolle. Umweltauswirkungen wurden hingegen weniger betrachtet, wenngleich dies in den letzten Jahren auch zunimmt.

Für Verpackungssysteme sind aktuell vor allem Aspekte der Circular Economy, Klimawirkungen, Energieverbrauch, Wirtschaftlichkeit und Souveränität von Bedeutung. Aspekte der Circular Economy werden gesondert in Abschnitt 6.1 behandelt. Die anderen Themen folgen in diesem Kapitel.

Die Treibhausgasemissionen und der kumulative Energieaufwand werden als wichtige ökologische Kriterien – auch Umweltwirkungen genannt – analysiert. Umweltwirkung ist ein Oberbegriff für alle Arten von positiven und negativen Auswirkungen auf die Umwelt, welche in sogenannten Wirkungskategorien in einer Umweltwirkungsabschätzung als Teil der Ökobilanz untersucht werden. Grundsätze und die Leitlinien für eine Ökobilanz sind in den internationalen Normen der ISO 14040-Serie standardisiert (ISO 14040:2006; ISO 14044:2006). Der hier durchgeführte Vergleich von Einweg- und Mehrwegsystemen auf Basis

der Umweltwirkung anhand verschiedener Studien ist nicht das Ergebnis eigener ökobilanzieller Erhebungen und Kalkulationen. Stattdessen handelt es sich um eine Einordnung der Verpackungssysteme auf Basis von Literaturdaten. Die Ergebnisse sind daher durch die Abhängigkeit von den getroffenen Annahmen und Randbedingungen der jeweiligen Studien mit Unsicherheiten behaftet, die in Kapitel 9.3.2 als Limitationen der Metastudie diskutiert werden. Zusätzlich zu den zwei analysierten Umweltwirkungskategorien wurde auch der Beitrag zur abiotischen Ressourcenverarmung als Umweltwirkung untersucht, jedoch nicht in die Auswertung einbezogen (siehe Kapitel 8.3). Es zeigte sich, dass die Studien- und Datengrundlage für diese und weitere Umweltwirkungskategorien entsprechend der im PEF 3.0 Standard³⁰ (Fazio et al. 2018; Zampori L. 2019) empfohlenen Umweltwirkungskategorien für die hier untersuchten Verpackungssysteme bisher unzureichend ist. Daher wurden diese nicht ausgewertet.

Die Abschätzung zur relativen Wirtschaftlichkeit einzelner Kostenpositionen und die technologische Souveränität sind somit als eher wirtschaftlich oder gesellschaftlich relevante Nachhaltigkeitskategorien zu verstehen. Alle in dem Zusammenhang untersuchten Nachhaltigkeitskategorien werden nachfolgend detailliert beschrieben und in Bezug auf die Demonstratoren ausgewertet.

6.3.1 Treibhausgasemissionen

Der Einfluss des Menschen auf das Klima gilt in der Wissenschaft als bewiesen. Ursache sind Treibhausgasemissionen, die hauptsächlich in Energiewirtschaft, Industrie, privatem Konsum, Verkehr sowie Landwirtschaft entstehen. Die anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen (THG) sind laut IPCC³¹ die größte Gefahr in der Geschichte der Menschheit. Die Klimakrise umfasst sowohl die globale Erwärmung durch die vom Menschen verursachten Emissionen an Treibhausgasen als auch die daraus resultierenden Änderungen lokaler Wettermuster. Der Vorhersage nach werden alle Regionen der Welt in irgendeiner Form von den Auswirkungen der globalen Erwärmung betroffen sein, wenngleich auch das jeweilige Ausmaß unterschiedlich sein kann. Klimaveränderungen haben weitreichende Auswirkungen auf natürliche und davon abhängige technische Systeme. Die bekanntesten Auswirkungen sind das Abschmelzen der Polkappen und der damit verbundene Anstieg des Meeresspiegels sowie Extremwetterereignisse. Beispielsweise werden lokale Dürreperioden, heftige Regenereignisse und Stürme der globalen Klimakrise zugeschrieben. Die bereits heute erkennbaren Folgen und das sich zunehmend schließende Zeitfenster für notwendige Gegenmaßnahmen haben dazu geführt, dass THG-Emissionen derzeit die am häufigsten diskutierte und berücksichtigte Umweltwirkung in Ökobilanzen sind. (IPCC 2014; European Commission 2021; Wincentzen 2013)

Eine wichtige Größe bei der Berechnung des Beitrags der Emissionen zum Klimawandel ist das Treibhauspotenzial oder auch globale Erwärmungspotenzial (im Englischen Global Warming Potential GWP). Das Treibhauspotenzial eines Gases dient dem Vergleich der Einflüsse verschiedener Treibhausgase auf die

³⁰ Product Environmental Footprint 3.0 (PEF 3.0) ist ein Standard zur Durchführung von Produkt-Ökobilanzen, welcher von der Europäischen Kommission initiiert wurde

³¹ Intergovernmental Panel on Climate Change

globale Erwärmung. Es ist ein Maß dafür, wie viel klimaschädliche Emissionen eines Stoffs zur globalen Erwärmung in einem bestimmten Zeitraum (z. B. 100 Jahre) beitragen. Klimaschädliche Emissionen absorbieren in der Atmosphäre über diese Zeit Energie und strahlen diese teilweise zur Erdoberfläche zurück. Der dadurch entstehende Effekt wird Treibhauseffekt genannt. (IPCC 2014)

Kohlenstoffdioxid (CO₂) ist das am häufigsten vorkommende THG. Daher wird es als Referenzgas und Bezugsgröße verwendet, sodass die durch ein Produkt oder einen Prozess emittierten Gase über einen Umrechnungsfaktor in CO₂-Äquivalente umgerechnet werden. Der als relatives Treibhauspotenzial bezeichnete Umrechnungsfaktor gibt an, wie viel eine bestimmte Masse eines THGs im Vergleich zur gleichen Masse CO₂ zur globalen Erwärmung beiträgt. Die Umrechnungsfaktoren können dem aktuellsten Bericht des IPCC entnommen werden. Lachgas (N₂O) entsteht beispielsweise in der Landwirtschaft und hat laut dem fünften Sachstandsbericht des IPCC ein rund 300-mal so hohes relatives Treibhauspotenzial wie die gleiche Masse CO₂. Zur Berechnung der CO₂-Äquivalente werden die Massen sämtlicher Einzelemissionen für eine Aktivität oder über einen Produktlebenszyklus mit den Charakterisierungsfaktoren multipliziert und als Summe der emittierten CO₂-Äquivalente pro funktioneller Einheit angegeben. Die berechneten CO₂-Äquivalente werden auch oft als CO₂-Fußabdruck bezeichnet, obwohl in der Regel nicht nur die emittierte Menge an CO₂, sondern die gesamte Menge klimaschädlicher Gase umgerechnet in CO₂-Äquivalente angegeben sind. Durch diese Umrechnung wird die Wirkung verschiedener Produkte oder Aktivitäten auf den Klimawandel in einem aggregierten Einzelwert vergleichbar. (IPCC 2014)

Bewertungsmaßstab/Indikator

Die Treibhausgasemissionen für die im Rahmen dieser Studie betrachteten Demonstratoren werden in Kilogramm CO₂-Äquivalent pro Umlauf und 1000 Liter Füllvolumen angegeben. Literaturwerte zu den hier untersuchten Verpackungssystemen wurden jeweils in diese Einheit umgerechnet, falls anders angegeben. Studien, bei denen eine Umrechnung nicht möglich war, z. B. weil die Angabe zum Verpackungsvolumen fehlte, konnten in der Analyse nicht berücksichtigt werden. Für die Obst- und Gemüsesteige sowie für den Coffee-to-go-Becher bezieht sich das Volumen auf das jeweils verpackte Produkt oder, wenn nicht anders angegeben, auf das Volumen des Verpackungssystems selbst. Angemerkt wird, dass sich das Volumen der Pflanzentrays auf das errechnete Volumen aller Pflanzentöpfe, die in das jeweilige Tray passen, bezieht und nicht auf das Volumen der Pflanzentrays selbst. Der Grund dafür ist, dass die untersuchten Trays unterschiedliche Formen und Größen haben und als Sekundärverpackung die Funktion erfüllen, eine bestimmte Anzahl an Pflanzentöpfen mit einem definierten Volumen zu transportieren. Das Volumen der Pflanzentöpfe als Referenzgröße eignet sich daher besser als das Volumen der Pflanzentrays, da diese zum Teil lediglich eine Öffnung haben, in der die Pflanzentöpfe hineingestellt werden, und der Tray selbst kein vergleichbares Volumen hat. Da die Pflanzen in der Regel jedoch nicht komplett verpackt sind und aus dem Pflanzentopf ragen, hat die jeweilige Höhe der Pflanze Auswirkungen auf einige

Prozessabläufe und somit auch auf die Umweltwirkungen. Beispielsweise können abhängig von der Höhe der Pflanzen unterschiedlich viele Trays übereinander transportiert werden. Aus Gründen der Vergleichbarkeit zu den anderen Verpackungssystemen und zur hier gewählten Einteilung des Indikators wurde von einer anderen Einheit abgesehen. Die für die Demonstratoren herangezogenen Werte und Verpackungssysteme aus der Literatur sind in Kapitel 9.4.13 gelistet.

Für die Einordnung des Indikators »CO₂-Äquivalente« in Kilogramm CO₂-Äquivalent pro Umlauf und 1000 Liter Füllvolumen der unterschiedlichen Verpackungssysteme in eine Skala wurde als Referenz eine Studie des ifeu-Instituts aus dem Jahr 2018 herangezogen. Diese Ökobilanzstudie untersuchte 11 Getränkeverpackungen in den Segmenten Saft/Nektar, H-Milch und Frischmilch (Kauertz et al. 2018). Sie betrachtete einen repräsentativen Durchschnitt der in Deutschland im Referenzzeitraum 2015 bis 2017 erhältlichen Getränkeverpackungssysteme einschließlich Distributionsentfernungen, Erfassungs-, Sortier- und Recyclingquoten. Die dort untersuchten 11 Verpackungssysteme bilden vier Getränkeverbundkartons mit und ohne Aluminiumschicht, fünf PET-Einwegflaschen (Mono- und Multilayer) und zwei Glasmehrwegflaschen ab. Aus den CO₂-Äquivalenten wurde eine Einteilung der Indikatorwerte der untersuchten Verpackungssysteme abgeleitet (siehe Tabelle 15). Das bedeutet, dass die Einteilung der Indikatorwerte die hier untersuchten Verpackungssysteme in einen Vergleich zu auf dem Markt typischerweise erhältlichen Getränkeverpackungen als Referenzverpackung setzt. Die beiden Extremwerte (Maximum und Minimum) der 11 Getränkeverpackungssysteme bilden den niedrigen und den hohen Schwellenwert (-2 »schlecht« und +2 »gut«). Das Streuungsmaß zwischen den Extremwerten und dem unteren und oberen Quartil bildet jeweils die Spannbreite für die Indikatorwerte -1 »eher schlecht« und +1 »eher gut«. Neutrale Werte (Indikatorwert 0) ergeben sich aus dem Abstand der beiden Quartile.³²

Tabelle 15: Bewertung der THG-Emissionen in CO₂-Äquivalenten

Indikator	-2 (schlecht)	-1 (eher schlecht)	0 (neutral)	+1 (eher gut)	+2 (gut)
THG-Emissionen [kg CO₂-Äq. pro Umlauf und 1000 L Füll- volumen]	> 177	177 bis > 132	132 bis > 45	45 bis > 22	≤ 22

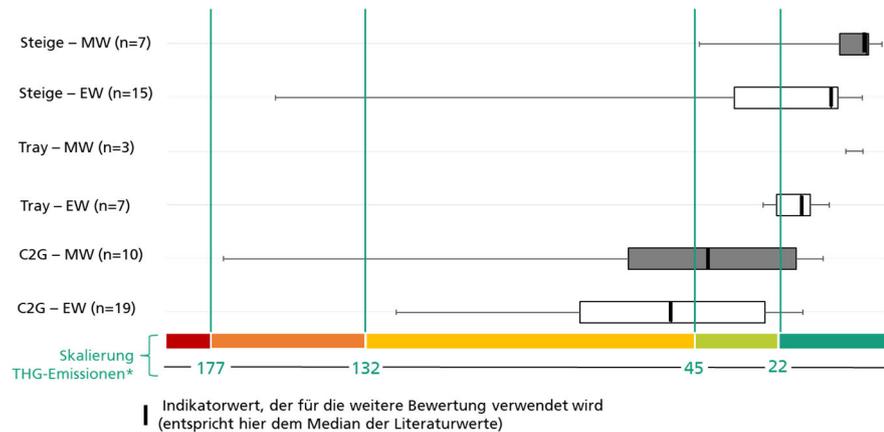
Bestimmung der Werte für die untersuchten Systeme

Aufbauend auf den berücksichtigten spezifischen THG-Emissionen in CO₂-Äquivalenten für Getränkeverpackungen zur Einteilung des Indikatorwerts wurden die hier untersuchten Einweg- (EW) und Mehrwegsysteme (MW) aus einer Literaturstudie in diese Einteilung überführt und in einem Boxplot-Diagramm

³² Zu Quartilen und Boxplot siehe beispielsweise: Bettermarks 2022.

aufgetragen (siehe Abbildung 35). In Summe wurden 42 Einwegvarianten und 21 Mehrwegvarianten verschiedener Materialien aus insgesamt 14 Studien betrachtet. Hinweise zur Ermittlung der Werte sind im Text unter der Abbildung gegeben. Tabellen mit den verwendeten Daten finden sich in Kapitel 9.4.13.

Abbildung 35: THG-Emissionen von Einweg- und Mehrwegsystemen im Vergleich



* In kg CO₂-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, da die untersuchten Trays sehr unterschiedliche Formen haben und die Pflanze selbst nicht direkt verpackt ist und i.d.R. aus dem Pflanzentopf ragt.

Obst- und Gemüsesteigen: Alle untersuchten Mehrwegsteigen bestehen aus Kunststoff, wohingegen die Einwegvarianten aus Kartonage, Holz oder Kunststoff gefertigt sind. Obwohl die Studien große Unsicherheiten hinsichtlich der Vergleichbarkeit der Annahmen und Randbedingungen aufweisen, zeigen sechs der acht analysierten Studien mit insgesamt 24 Verpackungsvarianten im Direktvergleich die gleiche Tendenz: Kunststoffmehrwegsteigen sind vorteilhaft in Bezug auf die spezifischen CO₂-Äquivalente im Vergleich zu den analysierten Einwegsteigen. Weiter zeigt auch der Vergleich aller Studien in Abbildung 35, dass die Ergebnisspannbreite der Einwegsteigen höher als die der Mehrwegsteigen ist. Die Werte der Einwegsteigen überspannen die Indexbereiche von »eher schlecht« (Indikatorwert -1) bis »gut« (Indikatorwert +2). Eine Studie, in der eine Einwegsteige aus PPK besser abschneidet als die Mehrwegsteige aus Kunststoff, untersucht die Zustellung von Brot (Koskela et al. 2014) und nicht von Obst und Gemüse. Eine weitere Studie zeigt im Basisszenario, dass Einwegsteigen aus PPK gegenüber Kunststoffmehrwegsteigen vorteilhaft sind (Levi et al. 2011). Das darin gewählte Basisszenario setzt jedoch eine große Transportentfernung von 2000 km über den gesamten Lebenszyklus pro Umlauf voraus. In einer späteren Sensitivitätsanalyse wurde jedoch gezeigt, dass bei einer zurückgelegten Strecke von 1200 km die Mehrwegsysteme besser abschneiden als die Einwegsysteme.

Wesentliche Randbedingungen, welche die THG-Emissionen beeinflussen, sind die Annahmen zu Transportdistanzen und Umlaufzahlen. Für letztere werden in den untersuchten Studien Werte zwischen 30 und 200 Umläufen angegeben. Annahmen zu Transportdistanzen erschweren die Vergleichbarkeit zwischen den Studien, da zum Teil Produkte innerhalb eines Landes oder global transpor-

tiert werden, jedoch innerhalb einer Studie Einweg- und Mehrwegsteigen immer die gleichen Produkte transportieren (vgl. auch Kapitel 6.2.5). Es zeigt sich aber, dass vor allem bei Mehrwegsteigen die Transportprozesse einen größeren Einfluss haben als bei Einwegsteigen, d. h., dass der relative Beitrag am Gesamtwert höher ist. Sinken zukünftig die Emissionen im Verkehrssektor pro gefahrenem Kilometer, z. B. durch die Elektrifizierung von Verkehrsmitteln im Zusammenhang mit dem Ausbau erneuerbarer Energien, würde sich für die Mehrwegvarianten ein größerer Nutzen ergeben als für die Einwegsteigen. Der wesentliche Anteil der THG-Emissionen von Mehrwegsteigen wird in der Nutzungsphase verursacht; besonders durch notwendige Transporte. Vor allem kurze Transportwege steigern die Vorteilhaftigkeit von Mehrwegverpackungen (Accorsi et al. 2014). Dezentrale Distributionsstrukturen sowie Gewichtsreduktionen fördern die Vorteilhaftigkeit von Mehrwegsteigen. Kunststoffmehrwegsteigen haben durch ihre Volumenreduzierbarkeit und ein verhältnismäßig leichtes Transportgewicht im Vergleich zu Holz einen Vorteil (vgl. Kapitel 6.2.2).

Die Umlaufzahlen sind in den untersuchten Ökobilanzstudien in der Regel der entscheidende Faktor für den Vergleich der Mehrwegsteige mit einer Einwegsteige. Eine Sensitivitätsanalyse anhand der Umlaufzahlen zeigte, dass eine Kunststoffmehrwegsteige bereits nach ca. 15 Umläufen vorteilhaft im Vergleich zur Einwegsteige sein kann (López-Gálvez et al. 2021). Dies kann entsprechend der Angaben zu den ermittelten Umlaufzahlen aus den Experteninterviews als realistisch angesehen werden oder wird in der Praxis bereits übertroffen (vgl. Kapitel 6.2.1). Studien, die eine Umlaufzahl von größer 100 Umläufe zugrundelegen, sind ggf. zu prüfen, da dies nicht mit den Erfahrungen aus der Praxis übereinstimmt (vergleiche Kapitel 6.1.1 Seite 45).

Pflanzentrays: Für den Vergleich der THG-Emissionen von Einweg- und Mehrwegpflanzentrays konnten nur zwei Studien ausgewertet werden, in denen insgesamt drei Mehrweg- und sieben Einwegvarianten betrachtet werden. Auch hier liegen die drei untersuchten Mehrwegtrays im guten Bereich (Indikatorwert +2) und haben im Vergleich zu den Einwegtrays niedrigere THG-Emissionen. Die wichtigsten Treiber des Ergebnisses von Mehrwegtrays sind in beiden untersuchten Studien die Transportprozesse und – sofern nach der Nutzung erforderlich – die Reinigungsprozesse (Dobers und Lammers 2017; van Paassen und Scholten 2020). Relativ gesehen fallen die Transportprozesse – ähnlich wie bei den Obst- und Gemüsesteigen – auch bei Mehrwegpflanzentrays stärker ins Gewicht als bei Einwegpflanzentrays. Demnach würde analog zur Erläuterung bei den Steigen auch hier der CO₂-Fußabdruck der Mehrwegtrays verhältnismäßig stärker sinken, wenn in Zukunft die Emissionen im Verkehrssektor pro gefahrenem Kilometer insgesamt sinken, z. B. durch die Elektrifizierung des Verkehrssektors. Daraus folgt, dass durch Treibhausemissionseinsparungen beim Transport Mehrwegtrays höhere Einsparungen erzielen als Einwegpotenziale.

Bei den Einwegtrays ist der größte Treiber der THG-Emissionen die Bereitstellung der Materialien in der Herstellung eines Trays (van Paassen und Scholten 2020; Dobers und Lammers 2017). Allerdings zeigt die Studie von van Paassen und Scholten (2020) auch, dass die Umweltwirkungen der Einwegtrays reduziert werden können, wenn mehr rezyklierte Materialien eingesetzt werden, die

am Lebensende erneut einem Recycling zugeführt werden. Weiter hängt die CO₂-Äquivalentemission von Einwegtrays im Vergleich zu Mehrwegtrays stärker von den vergebenen Energiegutschriften durch die Verbrennung am Lebensende der Trays ab (van Paassen und Scholten 2020). Für Deutschland sind die Gutschriften durch Bereitstellung von Strom über eine Verbrennung am Lebensende höher als in anderen europäischen Ländern (Blümm 2021). Gründe sind der vergleichsweise hohe elektrische Wirkungsgrad bei der Abfallverbrennung in Deutschland und der deutsche Strommix mit vergleichsweise hohen THG-Emissionen durch viele fossile Energieträger (Blümm 2021). Je mehr erneuerbare Energien in Deutschland Strom bereitstellen, desto geringer wird zukünftig die Gutschrift pro bereitgestellter kWh Strom aus der Abfallverbrennung. Ein zunehmender Anteil an erneuerbarer Energie wirkt sich ebenfalls positiv auf das schon vorteilhafte Verhältnis der THG-Emissionen von Mehrweg- zu Einwegtrays aus.

Coffee-to-go-Becher: Für den Vergleich zwischen Einweg- und Mehrwegbechern wurden die meisten Varianten untersucht. Insgesamt wurden vier verschiedene Studien mit 19 Mehrweg- und 10 Einwegvarianten ausgewertet. Untersucht wurden verschiedene Kunststoffeinewegbecher (PS, PP, PLA, PET) sowie Papiereinwegbecher mit und ohne PE-Kunststoffbeschichtung sowie auch einwandige und doppelwandige Papierbecher. Analysierte Mehrwegbecher bestehen aus Kunststoff, Glas, Ton oder Porzellan. Weiter wurden die Becher zum Teil mit und ohne Deckel betrachtet. Drei der vier Studien adressieren explizit Coffee-to-go-Becher, wohingegen eine Studie allgemein Becher für den Verzehr von Getränken ohne explizite Anwendung analysierte. Die Ergebnisse der Coffee-to-go-Einweg- und -Mehrwegbecher zeigen im Vergleich zu den anderen Demonstratoren die schlechtesten Ergebnisse pro Umlauf und 1000 L verpacktem Produkt. Beide Varianten zeigen die größte Spannbreite innerhalb der Skalierung für den Indikatorwert der THG-Emissionen.

Auch wenn in den Studien unterschiedliche Umlaufzahlen und Materialien betrachtet wurden, schneiden die Mehrwegbecher im Median etwas besser ab als Einwegbecher. Letztlich weisen die Studien jedoch darauf hin, dass die Umweltwirkungen vor allem von der Handhabung bei der Benutzung abhängig sind sowie ggf. vom Poolmanagement, falls vorhanden. Mehrwegbecher sind erst ab einer gewissen Umlaufzahl vorteilhaft (Break-even). Für Kunststoffmehrwegbecher (PP, PET und PLA) beträgt der Break-even gegenüber Kunststoff- oder Papiereinwegbechern bei den CO₂-Äquivalenten zwischen 5 und 54 Umläufen, je nach Vergleich der Varianten (Cottafava et al. 2021). Dies konnte auch in einer deutschen Studie, beauftragt vom Umweltbundesamt, bestätigt werden (Kauertz et al., 2019). Darin zeigte sich, dass Mehrwegkunststoffbecher in der Regel niedrigere THG-Emissionen aufweisen, wenn sie:

- durch eine adäquate Rücknahmelogistik oder eigenverantwortliches Konsumentenverhalten mindestens eine Umlaufzahl größer als 10, besser noch eine Umlaufzahl größer als 25 erreichen,
- nicht mit Einwegkomponenten wie bspw. Deckel ausgestattet werden und
- über einen Spülvorgang mit Ökostrom gereinigt werden.

Eine andere Studie zeigte jedoch, dass z. B. Porzellan und Tonbecher deutlich schlechter abschneiden als Kunststoffeinwegbecher und die Mehrwegvarianten sich relativ unempfindlich gegenüber Veränderungen der Lebensdauer und damit auch der erreichten Umläufe erwiesen (Lighthart 2007).

6.3.2 Kumulierter Energieaufwand

Der Verpackungssektor steht vor der Herausforderung, energiesparende Prozesse und Verpackungslösungen zu finden. Lösungen, die letztlich zu einem geringeren Energiebedarf pro Verpackung führen sollen, betreffen sowohl vorgelagerte Prozesse zur Beschaffung der Materialien, die Auswahl von Energieträgern, leichte Verpackungen und energieeffiziente Produktion als auch nachgelagerte Prozesse im Zusammenhang mit ökologischer und energieeffizienter Nutzung und Verwertung am Lebensende. Die fortschreitende Energiewende und die weltweiten Verpflichtungen zur Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft schaffen Potenziale für den Verpackungssektor, wie die Umstellung auf erneuerbare Energiequellen und die Anwendung von wiederverwendbaren Verpackungssystemen sowie das Recycling von Verpackungen, was zu Energieeinsparungen führen kann.

Der KEA ist ein Indikator zur Bewertung von Produkten entlang ihres Lebenszyklus oder einzelner Dienstleistungen und Aktivitäten, welcher als inputbezogene Wirkungskategorie in Ökobilanzen, aber auch als gängige Sachbilanzgröße in Stoff- und Energiebilanzen verwendet wird. Er wird zur Bestimmung des Endenergieeinsatzes durch die Effizienz der Energieumwandlung in Primärenergieaufwände umgerechnet (Klöpper und Grahl 2009).

Trotz seiner Popularität gibt es noch keinen harmonisierten Ansatz zur Bewertung von Produkten anhand des KEAs. Normen oder Leitlinien definieren diesen unterschiedlich (Frischknecht et al. 2015). In der vorliegenden Studie wird der KEA als Summe aller Primärenergieaufwendungen definiert, welche während des Lebenszyklus eines Verpackungssystems entstehen. Das umfasst alle Energieaufwendungen innerhalb der betrachteten Systemgrenzen, d. h. zur Bereitstellung der Verpackung, zum Vertrieb und zur Nutzung bis zur Entsorgung am Lebensende des Verpackungssystems (Cradle-to-grave Systemgrenze).

Die Nutzung von erneuerbaren Energien kann positive Effekte auf andere Umweltwirkungskategorien haben, wie die Treibhausgasemissionen und somit auch auf die Nachhaltigkeit einer Verpackung. Jedoch verringert die Nutzung von erneuerbaren Energien nicht grundsätzlich den kumulierten Energieaufwand (KEA), da dieser die Summe aller Primärenergieinputs bildet. Das bedeutet, dass auch bei einem Wechsel zu erneuerbaren Energien, der KEA konstant bleibt. Im Gegensatz zu den THG-Emissionen, die vom jeweiligen CO₂-Äquivalenten der Energieträger abhängen, kann der KEA verbessert werden, wenn grundsätzlich der Primärenergieinput verringert wird. Während der Wechsel zu erneuerbaren Energien in der Regel positive Effekte auf die THG-Emissionen hat, wird der KEA durch die Reduktion der Primärenergieträger verbessert und adressiert damit eine weitere Strategie der Nachhaltigkeit und

Kreislaufwirtschaft. Deshalb wird der KEA neben den THG-Emissionen als Kategorie zur Ermittlung der ökologischen Performance herangezogen.

Bewertungsmaßstab/Indikator

Für eine gute Vergleichbarkeit wird der KEA in dieser Studie auf dieselbe funktionelle Einheit wie bei den THG-Emissionen bezogen, sodass Einweg- und Mehrwegsysteme möglichst gut vergleichbar werden. Das bedeutet, dass der KEA pro Umlauf eines Verpackungssystems und pro 1000 L verpacktem Produkt angegeben wird. Das Volumen der Pflanzentrays bezieht sich auf das errechnete Volumen aller Pflanzentöpfe, die in das jeweilige Tray passen, da die untersuchten Trays sehr unterschiedliche Formen haben, die Pflanze selbst nicht direkt verpackt ist und sie je nach Sorte unterschiedlich hoch aus dem Pflanzentopf ragt. Letzteres hat in der Praxis deutliche Auswirkungen auf die Menge der transportierten Produkte in einem Standardvolumen (CC-Container) und kann damit Distributionsprozesse und den Energieaufwand beeinflussen.

Als Datengrundlage wurden Ökobilanzstudien zu den entsprechenden Verpackungssystemen ausgewertet, die diese Sachbilanzgröße als Wirkungskategorie ausweisen. Hierbei ist zu beachten, dass es unterschiedliche Wirkungsabschätzungsmethoden gibt, die unterschiedliche Energieträger berücksichtigen und den KEA teilweise in weitere Kategorien unterteilen.

In diesem Bericht wird zur Ermittlung der kumulierten Energieaufwendungen, die gesamte kumulierte Energie für die Herstellung und Nutzung der Produkte und Dienstleistungen als übergeordnetem Bewertungsmaßstab verwendet (KEA_{gesamt}). Zum Teil wurde in den Studien auch der KEA der fossilen und erneuerbaren Energieträger einzeln angegeben (KEA_{fossil} und $KEA_{\text{erneuerbar}}$), z. B. in Cottafava et al. (2021). Zur einfachen Vergleichbarkeit wurden hier nur Studien berücksichtigt, die den KEA_{gesamt} angeben. Jedoch sei angemerkt, dass die vermehrte Nutzung von erneuerbaren Energien zu weiteren positiven Umwelteffekten führt, wie z. B. zu geringeren THG-Emissionen im Vergleich zu fossilen Energieträgern. Die Einteilung der Indikatorwerte in eine entsprechende Skalierung (Tabelle 16) erfolgte analog zum Vorgehen für die THG-Emissionen auf der Basis der Ergebnisse für den KEA_{gesamt} von Getränkeverpackungssystemen aus (Kauertz et al. 2018).

Tabelle 16: Bewertung des kumulierten Energieaufwands (KEA)

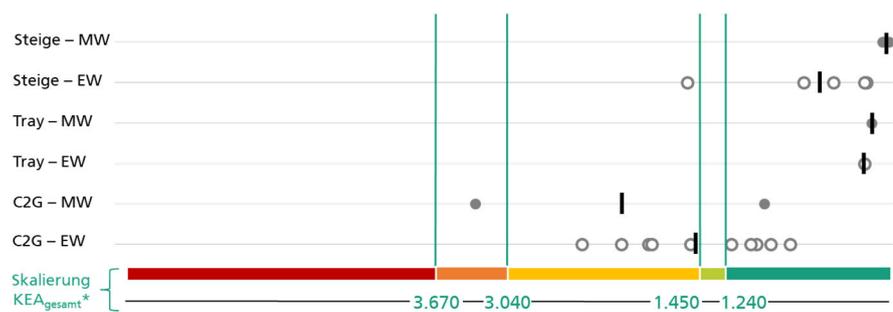
Indikator	-2 (schlecht)	-1 (eher schlecht)	0 (neutral)	+1 (eher gut)	+2 (gut)
KEA_{gesamt} [MJ pro Umlauf und 1000 L Füllvolumen]	> 3670	3670 bis < 3040	3040 bis < 1450	1450 bis < 1240	≤ 1240

Bestimmung der Werte für die untersuchten Systeme

Im Vergleich zu den THG-Emissionen weisen deutlich weniger Studien den KEA als Wirkungskategorie aus. Insgesamt wurden fünf Studien für alle drei Verpackungssysteme analysiert mit sechs Mehrwegvarianten und 17 Einwegvarianten. Im Vergleich zu den THG-Emissionen sind die Ergebnisse in geringerem Maße aussagekräftig, da weniger Studien analysiert werden konnten. Die wesentlichen Treiber für Einweg- und Mehrwegverpackungssysteme sind hier die gleichen wie bei THG-Emissionen. Während der KEA bei Mehrwegsystemen vor allem von der Redistributionslogistik und den allgemeinen Transportdistanzen sowie ggf. dem Reinigungsprozess abhängig ist, wird er bei den Einwegvarianten eher von der Herstellung des Produkts und der Bereitstellung der Materialien bestimmt.

Die folgende Grafik zeigt die Ergebnisse für die untersuchten Mehrwegsysteme (MW) und die korrespondierenden Einwegalternativen (EW). Hinweise zur Ermittlung der Werte sind im Text unter der Abbildung gegeben. Tabellen mit den verwendeten Daten finden sich in Kapitel 9.4.14.

Abbildung 36: Kumulierter Energieaufwand von Einweg- und Mehrwegsystemen im Vergleich



Indikatorwert, der für die weitere Bewertung verwendet wird (entspricht hier dem Mittelwert der Literaturwerte)

● Literaturwerte für Mehrweg und Einweg (nicht ausgefüllter Kreis)

* In MJ 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, da die untersuchten Trays sehr unterschiedliche Formen haben, und die Pflanze selbst nicht direkt verpackt ist und i.d.R. aus dem Pflanzentopf ragt.

Obst- und Gemüsesteigen: Insgesamt wurden sechs Einwegsteigen aus Holz und Kartonage untersucht, die in Summe einen Median von 346,6 Megajoule pro Umlauf und 1000 Liter verpacktem Produkt ausweisen («gut«, Indikatorwert +2). Demgegenüber wurden drei Mehrwegsteigen analysiert, die einen gemittelten Wert von 85,6 Megajoule pro Umlauf und 1000 Liter verpacktem Produkt haben («gut«, Indikatorwert +2). Die drei Werte zu Mehrwegsteigen aus unterschiedlichen Studien liegen sehr nah beieinander, obwohl die Umlaufzahlen zwischen 50 und 150 variieren und auch das Volumen zwischen 28,8 Litern und 57,6 Litern je Kiste liegt. Die Studie mit der höchsten Umlaufzahl einer Kunststoffmehrwegsteige von 150 zeigt das niedrigste Ergebnis von 34,6 Megajoule pro Umlauf und 1000 Liter verpacktem Produkt («gut«, Indikatorwert +2) (López-Gálvez et al. 2021). Die Tendenz deckt sich mit der Annahme, dass die Umlaufzahl auch in dieser Wirkungskategorie entscheidend für die Vorteilhaftigkeit von Kunststoffmehrwegsteigen ist. Die Einwegsteigen aus Holz und Kartonage haben eine Spannweite des KEAs zwischen 209,4 und 1589,6

Megajoule pro Umlauf und 1000 Liter verpacktem Produkt (Indikatorwerte von 0 bis +2). Damit liegen alle Einwegvarianten über den Ergebnissen des KEAs für Mehrwegsteigen aus Kunststoff. Auch wenn hier der Gesamtenergiebedarf untersucht wurde, weist z. B. eine Studie darauf hin, dass das Verhältnis von erneuerbarem zu nicht-erneuerbarem Primärenergiebedarf für Kartonagen besser ist als für Kunststoffsysteme, d. h., dass das analysierte Kartongesystem verhältnismäßig gesehen bereits mehr erneuerbare Energie einsetzt (Albrecht et al. 2013). Während der vermehrte Einsatz von erneuerbarer Energie einen positiven Effekt auf die Reduktion der THG-Emissionen hat, übt dies jedoch keinen Einfluss auf den kumulierten Primärenergiebedarf aus (KEA_{ges}). Weiter heißt es, dass Kartonage-Steigen etwa ein Drittel der gesamten Primärenergie am Lebensende zurückgewinnen, die dem System über einen Lebenszyklus gutgeschrieben werden (Albrecht et al. 2013). Dies liegt vor allem am höheren Heizwert der Kartonage im Vergleich zu Kunststoff. Das Gesamtergebnis des KEAs für Kartongesteigen ist demnach stark abhängig von der Energierückgewinnung am Lebensende.

Pflanzentrays: Für den Vergleich bei Pflanzentrays konnte in dieser Kategorie nur eine Studie mit jeweils einer Variante für Ein- und Mehrweg ausgewertet werden. Dieser Vergleich zeigt, dass beide Varianten im Vergleich zur hier gewählten Referenzeinheit »gut« abschneiden (Indikatorwert +2). Dennoch weist die Mehrwegvariante im vorliegenden Fall einen besseren Wert von 168,6 Megajoule pro Umlauf und 1000 Liter verpacktem Produkt auf. Im Vergleich dazu ist die Einwegvariante mit 226,1 Megajoule pro Umlauf und 1000 Liter verpacktem Produkt um ca. 25 Prozent höheren Energieaufwendungen als das Mehrwegprodukt verbunden.

Coffee-to-go-Becher: Obwohl der untere und obere Wert des KEAs bei den Coffee-to-go-Bechern der Mehrwegvarianten in etwa gleich ist mit den Werten der Einwegbecher, schneiden die Einwegbecher im Mittel etwas besser ab. Die Einweg- und Mehrwegsysteme sind hier beide mit »neutral« bewertet (Indikatorwert 0). Für den Vergleich wurde der KEA von zwei Mehrwegbechern und zehn Einwegbechern ausgewertet. Ähnlich wie bei den THG-Emissionen wurden wiederum als Papier-Einwegvarianten einwandige und doppelwandige Coffee-to-go-Becher sowie Becher mit und ohne Deckel untersucht. Die beiden Mehrwegvarianten sind 180 Milliliter fassende Becher aus Polypropylen (PP) mit und ohne Deckel (Indikatorwerte -1 und +2 ergeben im Mittel den Wert 0). Der Mehrwegbecher aus PP ohne Deckel schneidet bei angenommenen 50 Umläufen mit 1000 Megajoule pro Umlauf und 1000 Liter verpacktem Produkt besser als acht der untersuchten Einwegvarianten ab. Nur der einwandige Papierbecher ohne Deckel mit 200 und 300 Milliliter Volumen schneidet mit 800 bzw. 950 Megajoule pro Umlauf und 1000 Liter verpacktem Produkt vorteilhafter ab als der 180 Milliliter Kunststoffbecher. Wie aus dem Vergleich des 200 und 300 Milliliter fassenden Einwegbechers zu sehen, ist das Volumen für das Ergebnis ein entscheidender Faktor. Angemerkt sei, dass das Volumen des Kunststoffbechers hier geringer ist als das der Einwegvarianten. Da bei größeren Mehrwegbechern z. B. Reinigungsvorgänge mit ihrem Energiebedarf seltener pro 1000 Liter Füllvolumen stattfinden, ist es möglich, dass ein größerer Mehrwegbecher besser abschneiden würde.

6.3.3 Relative Wirtschaftlichkeit

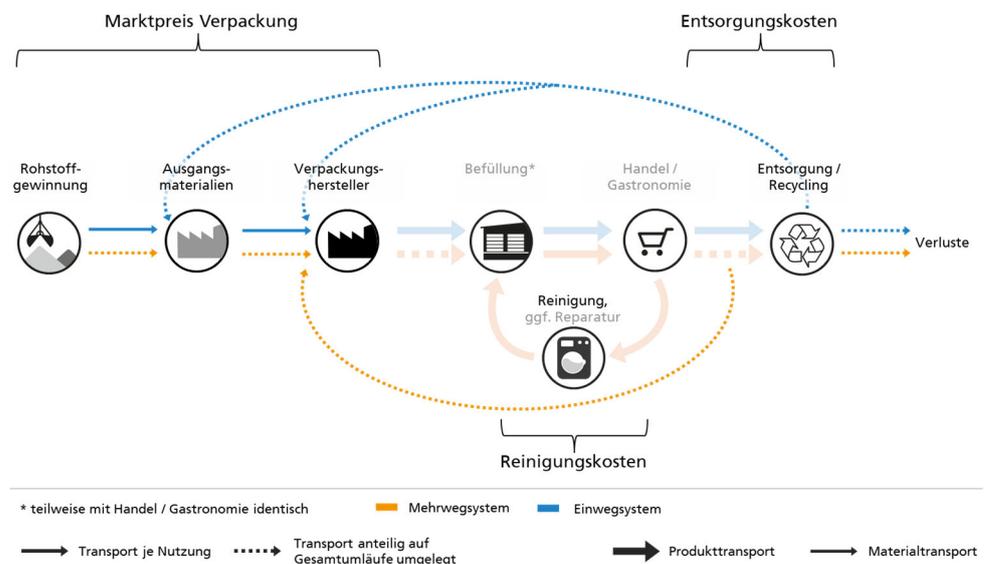
Verpackungen verursachen direkte Kosten bei Beschaffung, Nutzung sowie ihrer Beseitigung oder Verwertung am Lebensende. Die Kostenstruktur von Mehrweg- und Einwegsystemen ist sehr unterschiedlich. Bei Einwegsystemen sind vor allem die Herstellung sowie die Verwertung oder Beseitigung am Lebensende relevant. Bei Mehrwegsystemen werden die Kosten für die Herstellung über eine große Zahl von Nutzungen umgelegt. Das gilt auch für Verwertung oder Beseitigung der Packmittel. Hinzu kommen bei Mehrwegsystemen Aufwendungen für die Reinigung nach jeder Nutzung.

Da die Kostenstruktur nicht im Detail aufgeschlüsselt werden kann, wurden näherungsweise Marktpreise für die untersuchten Verpackungssysteme ermittelt. Anschließend wurden bei den Einwegsystemen Zuschläge für die Verwertung/Beseitigung aus den üblichen Lizenzgebühren abgeschätzt. Die bei Mehrwegsystemen relevanten Kosten für die Reinigung wurden aus den Daten für industrielle Bandspülanlagen ermittelt. Verluste durch Schwund und Bruch werden bei den Mehrwegsystemen durch die Umlaufzahl berücksichtigt.

Transport-, Lager- und Behandlungskosten (z. B. Pressen) sind bei den absoluten Kosten eines Verpackungssystems besonders relevant. Sie können sich aber für Einweg- und Mehrwegsysteme je nach spezifischem Anwendungsfall deutlich unterscheiden. Trotz ihrer Relevanz bleiben die Transportkosten hier daher unberücksichtigt. Eine detaillierte Analyse der Transportaufwände der beiden Systeme fand aber bereits in Abschnitt 6.2.5 statt.

Eine grafische Darstellung der relevanten Kosten bei Betrachtung der relativen Wirtschaftlichkeit beider Systeme findet sich Abbildung 37. Anzumerken ist, dass es sich in diesem Kapitel weder um eine Vollkostenberechnung, noch um eine absolute Wirtschaftlichkeitsanalyse, die erzielbare Gewinne etc. berücksichtigt, handelt. Lediglich der Vergleich beider Systeme steht anhand ausgewählter Kostenpositionen im Vordergrund.

Abbildung 37:
Beim Vergleich der relativen Wirtschaftlichkeit berücksichtigte Kostenpositionen (die ausgegrauten Prozessschritte und Transportaufwände werden nicht berücksichtigt).



Bewertungsmaßstab/Indikator

Um den Vergleich verschiedener Verpackungssysteme zu ermöglichen, werden die Kosten pro Nutzung auf einen Liter Füllgut³³ umgerechnet. Aus Daten des Umweltbundesamtes lassen sich die Verpackungskosten für Nahrungsmittel und Getränke zu ca. 61 Euro pro Person und Jahr abschätzen. Damit werden ca. 1500 Liter Getränke und Nahrungsmittel verpackt (Statista 2022; Umweltbundesamt 2020).³⁴ Unter der Annahme einer vorwiegend einmaligen Nutzung der Verpackungseinheiten, ergeben sich als Referenzwert spezifische Verpackungskosten von 4,0 Cent pro Liter Füllgut und Nutzung. Dabei wurden keine Beteiligungsentgelte berücksichtigt. Da der aktuelle Zustand des Verpackungsverbrauchs allgemein als nur wenig zufriedenstellend bewertet wird, wird dieser Wert als Grenzwert zwischen eher niedrig und neutral festgelegt (Bundesregierung 2018). Die Kartonsteige als Packmittel mit im Allgemeinen zugesprochener hoher Effizienz wird bei der gewählten Einteilung als neutral bewertet. Die weiteren Spannbreiten wurden anhand der ermittelten Werte für die drei Demonstratoren gewählt (Tabelle 17).

Tabelle 17: Bewertung der Wirtschaftlichkeit

Indikator	-2 (schlecht)	-1 (eher schlecht)	0 (neutral)	+1 (eher gut)	+2 (gut)
Direkte Kosten [ct/(L x Nutzung)]	> 16	16 bis > 4	4 bis > 2	2 bis > 1	≤ 1

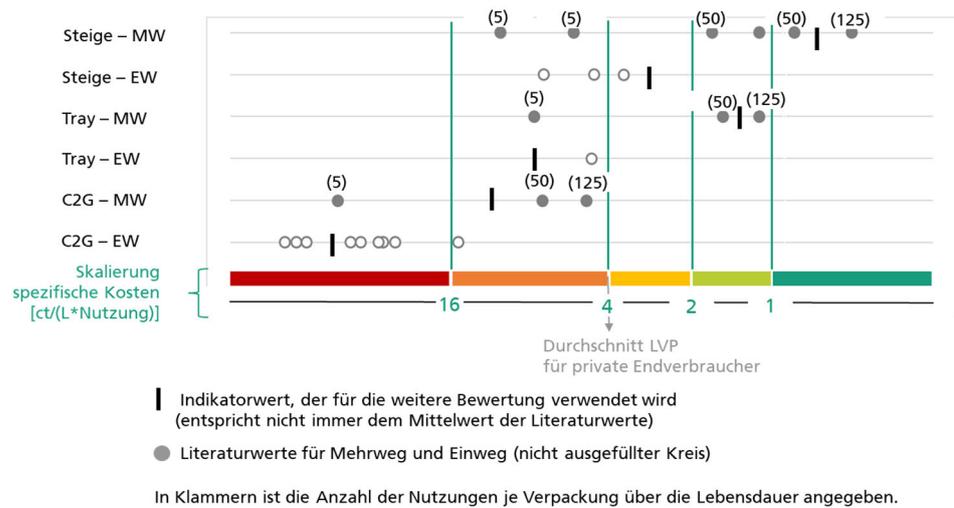
Bestimmung der Werte für die untersuchten Systeme

Die folgende Grafik zeigt die Ergebnisse für die untersuchten Mehrwegsysteme (MW) und die korrespondierenden Einwegalternativen (EW). Hinweise zur Ermittlung der Werte sind im Text unter der Abbildung gegeben. Tabellen mit den verwendeten Daten finden sich in Kapitel 9.4.15.

³³ Die Verwendung des Füllgutvolumens vernachlässigt den Volumennutzungsgrad. Dieser ist besonders bei großem Füllgut (Kohlköpfe oder ähnliches relevant). Da uns aber der Verpackungsmittel übergreifende Vergleich als wichtig erschien, haben wir uns dennoch für das robustere Füllgutvolumen anstelle der Füllmasse entschieden.

³⁴ Der Gesamtverbrauch an Verpackungen in D beträgt 18,9 Mio t/a, der Anteil für private Endverbraucher beträgt 8,8 Mio t/a, davon 62,3 % für Nahrungsmittel und Getränke, entsprechend 5,5 Mio t/a; der Gesamtumsatz der Verpackungsindustrie im Inland beträgt ca. 17,5 Mrd €, bei unterstellter Proportionalität von Masse und Kosten ergeben sich 5,1 Mrd €/a oder 61 €/cap a) für den Bereich Nahrungsmittelverpackungen; bei einem Nahrungsmittelverbrauch von 719 kg/cap a) entsprechend ca. 1000 L/cap a) und einem Getränkeverbrauch von 530 L/cap a) ergeben sich insgesamt ca. 1500 L/cap a).

Abbildung 38:
Relative Wirtschaftlichkeit von Einweg- und Mehrwegsystemen (ohne Transportaufwände, s. Text)



Wie zu erwarten, hängen die spezifischen Kosten bei den Mehrwegsystemen deutlich von der erreichbaren Umlaufzahl ab. Einerseits werden die Beschaffungskosten über die Gesamtumlaufzahl während der Lebensdauer umgelegt, andererseits sind die Reinigungskosten vergleichsweise niedrig. Als Gesamtumlaufzahl wurden Werte von 5, 50 und 125 angenommen (entsprechend Verlustquoten von 20 Prozent, 2 Prozent bzw. 0,8 Prozent). In allen untersuchten Anwendungen waren die Mehrwegsysteme bereits ab 5 Umläufen konkurrenzfähig und bei 50 Umläufen klar im Vorteil. Obwohl die Kosten auf das Füllgutvolumen bezogen wurden, fällt auf, dass dennoch größere Verpackungen niedrigere spezifische Kosten aufweisen. Ein Grund dafür könnte sein, dass bei kleiner werdenden Verpackungseinheiten die Material- und Maschinenkosten im Vergleich zu den Arbeitskosten überproportional steigen. Beim Vergleich mit dem oben bestimmten Referenzwert fällt auf, dass bei den untersuchten Systemen vor allem durch effiziente Mehrwegsysteme mit hohen Umlaufzahlen Kosteneinsparungen gegenüber den durchschnittlichen spezifischen Verpackungskosten von Endverbraucherpackungen realisierbar sind.

Mehrwegsteigen sind für Fleisch, Brot- und Backwaren sowie Obst- und Gemüse etabliert. Bereits in 2015 wurde angenommen, dass für diese drei Anwendungsbereiche allein in Europa ca. 1,5 Milliarden Steigen in Anwendung sind. Die Zahl dürfte sich seitdem weiter erhöht haben, sodass bei den Preisen keine weiteren Einsparpotenziale erwartet werden dürfen. Die Kosten für einfache Boxen liegen unter 3 Euro pro Stück. Klappbare Mehrwegsteigen liegen im Bereich von 5 bis 8 Euro pro Stück. Für die Reinigung haben sich zumindest in offenen oder größeren geschlossenen Pools Bandspülanlagen etabliert, die bis zu einigen Tausend Kisten pro Stunde reinigen können (Heim - EDT GmbH 2022). Bei Umlaufzahlen ab 50 erreichen die Mehrwegsteigen bei den hier berücksichtigten Kosten einen Indikatorwert von +2.

Einwegsteigen werden in der Regel in Form von Kartons eingesetzt. Sie sind zu Preisen unter 1 Euro erhältlich. Die Kartonagen müssen getrennt gesammelt

werden. Je nachdem, ob sie lose oder kompaktiert (bspw. durch eine Ballenpresse) abgegeben werden, können aus den Entsorgungskosten auch Erlöse entstehen. Im Rahmen dieser Studie wurde angenommen, dass die Abgabe der Kartonagen kostenlos erfolgen kann. Bei Einwegkartonagen können die Kosten auf unter 3 Cent pro Liter Füllgut und Nutzung sinken (Indikatorwert 0).

Mehrwegtrays sind bislang nur eine Nischenlösung, auch wenn verschiedene Marktakteure sich derzeit um die flächendeckende Einführung eines Systems bemühen. Erste Design- und Funktionsmuster liegen bereits vor, sodass die Kosten auf ca. 2,00 Euro/(L x Nutzung) pro Stück geschätzt werden können. Wahrscheinlich ist, dass die Mehrwegtrays aus HDPE oder PP gefertigt werden. Die Reinigung würde analog zu den Mehrwegsteinen in Bandspülanlagen stattfinden, wobei kleinere Anlagen oder eine größere Kapazität möglich sind. Bei 50 Umläufen würde ein Indikatorwert von +1 erreicht.

Bei den Pflanzentrays sind bislang vor allem Einwegsysteme etabliert. Etwa 150 Millionen werden pro Jahr allein in Deutschland verwendet (vgl. Abschnitt 7.2). Die **Einwegtrays** bestehen zumeist aus Polystyrol und kosten ca. 25 Cent pro Stück. Bei den Entsorgungskosten wurden die typischen Lizenzgebühren für Polystyrolverpackungen zugrunde gelegt, auch wenn diese für B2B-Verpackungen streng genommen nur bei Weitergabe der Trays an den Endkonsumenten relevant sind. Die Hersteller der Trays weisen einen gewissen Anteil Tray-to-tray-Recycling aus (Normpack ca. 50 Prozent). Wie genau die Verwertungspfade aussehen und ob sie zu Einsparungen führen, ist nicht bekannt. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass der oben genannte Preis den Rezyklatanteil berücksichtigt. Bei den Einwegtrays beträgt die Summe der hier betrachteten Kosten über 4 Cent pro Liter Pflanzenballenvolumen (Indikatorwert -1).

Die Kosten für die sich derzeit etablierenden **Coffee-to-go-Mehrwegbecher** aus PP liegen bei ca. 55 Cent pro Stück. Unter der Annahme, dass die Reinigung analog zu den B2B-Verpackungen in einer industriellen Bandspülanlage durchgeführt wird, ergeben sich Kosten von unter 1 Cent pro Reinigung. Eine Berechnung für eine Haushaltsspülmaschine unter Vernachlässigung von Arbeitskosten ergäbe sogar deutlich niedrigere Werte. Ob und unter welchen Bedingungen im Bereich der Gastronomie bei Einführung von Mehrwegsystemen zusätzliche Arbeitskosten anfallen, ist kaum pauschal zu beantworten und hängt deutlich von der spezifischen Situation ab. Ob sich für die Mehrwegbecher in der Praxis ähnlich hohe Umlaufzahlen realisieren lassen, wie für die B2B-Systeme, ist noch fraglich. Da die Systeme noch im Aufbau sind, ist erst wenig zu den erreichbaren Umlaufzahlen bekannt und auch zur Reinigung liegen bislang keine belastbaren Daten vor. Ein Indikatorwert von -1 erscheint realistisch.

Für **Coffee-to-go-Einwegbecher** sind Kosten von 3 bis 19 Cent pro Stück typisch. Neben der Größe der Becher spielen dabei auch Performanceaspekte wie Doppelwandigkeit oder Oberflächenstrukturen eine Rolle. Die Lizenzgebühren liegen für die papierbasierten Becher bei 2 Prozent, für die kunststoffbasierten Becher bei 10 bis 15 Prozent. Vergleicht man die Mehrwegbecher mit Einwegbechern höherer Performance, erscheint ein Indikatorwert von -2 gerechtfertigt.

6.3.4 Technologische Souveränität

Technologische Souveränität kann sowohl auf der Ebene der verfügbaren Kompetenzen als auch auf der Ebene des Wirtschaftens (Herstellung und Distribution) gedacht werden (BMW i 2019; BMBF 2021). Sie adressiert die Fähigkeit zur lokalen Wertschöpfung durch Verringerung der Abhängigkeit von Dritten und negativen Einflüssen durch externe Phänomene (Pandemien, Naturkatastrophen etc.). Häufig wird technologische Souveränität auf staatlicher oder regionaler Ebene diskutiert und dabei Schlüsseltechnologien und kritische Infrastrukturen adressiert. Typische Debatten betreffen bspw. den Ausbau des 5G-Standards (Hegemann 2020), den Zugriff auf Daten in sozialen Medien (Welchering 2021) oder die Herstellung von Halbleitern und Mikrochips (Leitner 2020). Hierfür hat sich auch der Begriff der Digitalen Souveränität etabliert. Doch auch abseits des Digitalen hat die technologische Souveränität im Rahmen der Corona-Pandemie neue Aufmerksamkeit erfahren. Beispiele sind die mangelnde Verfügbarkeit von persönlicher Schutzausrüstung (Atemschutzmasken, Desinfektionsmittel etc.) (Biermann et al. 2020) und auch die Verknappung einfacher, aber nicht unbedeutender Produkte wie Toilettenpapier (Weyh 2020). Die kurzfristige Verknappung ist dabei weniger einer echten Ressourcenverknappung geschuldet, die zu langsam aber stetig steigenden Marktpreisen führt und in der Regel ausreichend Zeit für die Suche nach Alternativen lässt, sondern sie basiert auf einer hohen Dynamik in komplexen Lieferketten sowie dem schwer vorhersehbaren Verhalten von Konsumenten und Marktakteuren. So ist die Entwicklung der Nachfrage nicht selten an die Dynamik von Themen in den sozialen Medien gekoppelt, die rasante Anstiege oder Einbrüche bewirken können. Weiterhin wurden in den letzten Jahrzehnten im Sinne einer schlanken Produktion (Lean-production) die Lagerhaltung reduziert und auf Just-in-time-Lieferung umgestellt. Daher kann auf Nachfrageschwankungen nur schwer reagiert werden und die Systemstabilität nimmt ab.

Seit Anfang 2021 leidet die europäische Industrie unter einem drastischen Rohstoffmangel und deutlichen Preissteigerungen auch bei Massenmaterialien (Deutsche Welle 2021). In der Kunststoffindustrie mangelt es an Basispolymeren, Additiven und sogar Verstärkungsmaterialien. Die Lagerbestände vieler Unternehmen sind aufgebraucht und die Situation wird von manchen als existenzbedrohend beschrieben. Als Ursache für diese Entwicklung wird ein nachholender Bedarf nach der Corona-Pandemie genannt. Gleichzeitig gibt es Verzögerungen bei der Wiederinbetriebnahme und Instandsetzung von Anlagen sowie fehlendes Personal, das sich z. B. in Quarantäne befindet. Diese Situation existiert im globalen Maßstab, verteilt sich in ihrer Heftigkeit aber sehr unterschiedlich. Weiterhin existieren für viele Güter Engpässe (Bottlenecks) im Bereich des Transports. So sind nicht ausreichend Seecontainer verfügbar, was aktuell mit fehlenden Lade- und Distributionskapazitäten an vielen Seehäfen und immer noch als Folge der Blockade des Suezkanals durch das Containerschiff »Ever Given« begründet wird.

Bewertungsmaßstab/Indikator: Unabhängigkeit von Importen

Ein technisches System ist umso souveräner, je weniger Rohstoffe und Vorprodukte von Extern zugeführt werden müssen, um dies zu betreiben. Dabei ist es sinnvoll zu definieren, ab wann etwas als »Extern« bezeichnet wird. Üblicherweise ist dies die Landesgrenze, da die Sicherstellung der technologischen Souveränität letztlich auch eine Aufgabe des Staates ist (BMW 2019).

Als Bewertungsmaßstab für die technologische Souveränität eines Verpackungssystems kann daher die Unabhängigkeit von Importen herangezogen werden. Hierzu wird zunächst die Abhängigkeit von Importen als Größe entwickelt. Bei den Einwegsystemen verstehen wir darunter die importierte Verpackungsmenge, bezogen auf die Produktionsmenge, abzüglich der exportierten Verpackungen (leer oder gefüllt):

$$\text{Importabhängigkeit}_{EW} = \frac{\text{Import}}{\text{Produktion} - \text{Export}}$$

Sofern bei Einwegsystemen Rezyklat aus separat gesammelten eigenen Verpackungen eingesetzt wird, reduziert dies die Importabhängigkeit. Da aber auch die Rezyklate einem globalen Handel unterliegen, werden sie nur im Falle eines geschlossenen Kreislaufs berücksichtigt.

$$\text{Importabhängigkeit}_{EW} = \frac{\text{Import}}{(\text{Produktion} - \text{Export})} \times (1 - \text{Rezyklatanteil})$$

Bei den Mehrwegsystemen reduziert sich die Importabhängigkeit auf den importierten Anteil, der zum Ausgleich der Kreislaufverluste bezogen auf die in Anwendung befindliche Menge notwendig ist. Dabei sind nicht alle Packmittelverluste durch Neumaterial auszugleichen, sondern nur der Schwundanteil, durch den Packmittel und deren Material den Kreislauf verlassen. Bei den durch Aussonderung aus dem Kreislauf ausgeschiedenen Packmitteln kann hingegen vom Recycling des Materials ausgegangen werden, sodass kein Ersatz durch Frischmaterial erforderlich ist. Für die Unabhängigkeit von Importen wird der identische Wert wie für materialgleiche Einwegsysteme verwendet:

$$\text{Importabhängigkeit}_{MW} = \text{Importabhängigkeit}_{EW} \times \text{Verlustquote}$$

In der Regel stehen den Importen auch Exporte gegenüber, die im Falle eines Ausbleibens von Importen umgelenkt werden könnten, um den nationalen Bedarf zu decken. In einer nicht staatlich gelenkten Marktwirtschaft und Vertragstreue der Unternehmen vorausgesetzt, dürfte eine schnelle Anpassung im Krisenfall aber weder realistisch noch ohne größere politische Verwerfungen möglich sein.

Als erstrebenswert ist eine hohe Importunabhängigkeit, diese ergibt sich aus der Importabhängigkeit:

$$\text{Importunabhängigkeit} = 100\% - \text{Importabhängigkeit}$$

Diese Abschätzung, die auf der Ebene der Verpackungen selbst stattfindet, ist stark vereinfacht. Insbesondere wird vernachlässigt, dass auch dann, wenn der Verpackungsbedarf vollumfänglich durch eine nationale Produktion ohne Importe gedeckt werden könnte, ggf. mittels Importen in der Vorkette, eine reduzierte technologische Souveränität zur Folge hätten. Eine entsprechend umfassende Analyse der Vorkette kann aber im Rahmen dieser Kurzstudie nicht geleistet werden. Die Annahme ist berechtigt, dass dort, wo viele Verpackungen importiert werden, auch viele Vorprodukte importiert werden und umgekehrt, sodass der vorgeschlagene Indikator weitgehend richtungssicher sein sollte.

Für Kunststoffverpackungen ergibt sich auf Basis von Daten der GVM (Schüler 2020):

$$\text{Importunabhängigkeit}_{EW,Kunststoff,2018} = 100\% - \frac{1596 \frac{t}{a}}{\left(4461 \frac{t}{a} - 1678,1 \frac{t}{a}\right)} = 43\%$$

Für Verpackungen aus Papier, Pappe, Karton (PPK) stellt sich die Unabhängigkeit deutlich günstiger dar:

$$\text{Importunabhängigkeit}_{EW,PPK,2018} = 100\% - \frac{1093 \frac{t}{a}}{\left(9063 \frac{t}{a} - 2185 \frac{t}{a}\right)} = 84\%$$

In den Daten der GVM sind auch Materialien für Mehrwegsysteme mitbilanziert. Angenommen wird aber, dass diese in Bezug auf den Gesamtverbrauch eher zu vernachlässigen sind und eine explizite Berücksichtigung die Importabhängigkeit der Einwegsysteme eher noch erhöhen würde. Die Importabhängigkeit der Einwegsysteme wird durch die beschriebene Vorgehensweise eher konservativ bewertet.

Unter Berücksichtigung der Werte für PPK und Kunststoff ergibt sich folgender Vorschlag für die ordinale Skala bei der Unabhängigkeit von Importen (Tabelle 18). Dabei orientiert sich die Bewertung »neutral« an dem bereits recht guten Wert für PPK. Die Bewertung »schlecht« an dem Wert für Kunststoff.

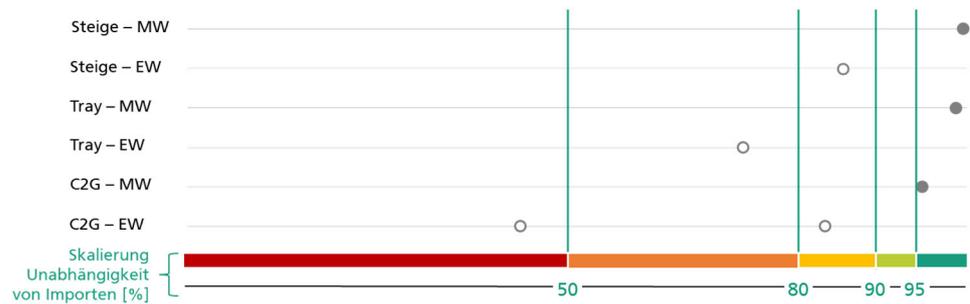
Tabelle 18: Bewertung der Unabhängigkeit von Importen

Indikator	-2 (schlecht)	-1 (eher schlecht)	0 (neutral)	+1 (eher gut)	+2 (gut)
Unabhängigkeit von Importen	< 50 %	50 bis < 80 %	80 bis < 90 %	90 bis < 95 %	≥ 95 %

Bestimmung der Werte für die untersuchten Systeme

Die folgende Grafik zeigt die Ergebnisse für die untersuchten Mehrwegsysteme (MW) und die korrespondierenden Einwegalternativen (EW). Hinweise zur Ermittlung der Werte sind im Text unter der Abbildung gegeben. Tabellen mit den verwendeten Daten finden sich in Kapitel 9.4.16.

Abbildung 39: Technologische Souveränität, dargestellt durch die Unabhängigkeit von Importen



Mehrwegsteigen für Obst und Gemüse weisen in etablierten Systemen Schwundquoten von 0,8 Prozent auf (Muske 2021). Sie erreichen damit eine fast vollständige Unabhängigkeit von Importen:

$$\text{Importunabhängigkeit}_{\text{Mehrwegsteige},2018} = 100 \% - \frac{1596 \frac{t}{a}}{\left(4461 \frac{t}{a} - 1678,1 \frac{t}{a}\right)} \times 0,8 \% = 99,5 \%$$

Da die Mehrwegsteigen zum großen Teil auch noch aus Rezyklaten alter Steigen hergestellt werden können, ist die Abschätzung konservativ. Es ergibt sich ein Indikatorwert von +2.

Für **Einwegkartons**, die als Transportverpackungen Einsatz finden, werden die Werte für PPK angenommen. Eine Beschichtung erfolgt in der Regel nicht. Informationen über geschlossene Kreislaufsysteme liegen nicht vor. Die bekannte Situation bei einem Discounter ergab, dass selbst bei großen Mengen lokale Entsorger beauftragt werden, sodass enge Materialkreisläufe eher unwahrscheinlich sind:

$$\text{Importunabhängigkeit}_{\text{Einwegkartonsteige},2018} = 84 \%$$

Es ergibt sich ein Indikatorwert von 0.

Für **Mehrwegpflanzentrays** liegen noch keine Daten vor. Die Verlustquoten dürften in etwa denen der Mehrwegsteigen entsprechen. Sofern die Pflanzentrays auch im B2C-Bereich eingesetzt werden, könnte die Verlustquote steigen. Als maximale Schwundquote erscheint 2,5 Prozent realistisch (Indikatorwert: +2):

$$\text{Importunabhängigkeit}_{\text{Mehrwegtray},2018} = 100 \% - \frac{1596 \frac{t}{a}}{\left(4461 \frac{t}{a} - 1678,1 \frac{t}{a}\right)} \times 2,5 \% = 98,6 \%$$

Einwegpflanzentrays werden zum Teil als Folge separater Sammlung direkt in der gleichen Anwendung recycelt. Dies macht sie unabhängiger von Importen. Eine Wiedereinsatzquote für Rezyklat von 50 Prozent wird angenommen. Es ergibt sich ein Indikatorwert von -1:

$$\text{Importunabhängigkeit}_{\text{Einwegtray},2018} = 100\% - \frac{1596 \frac{t}{a}}{\left(4461 \frac{t}{a} - 1678,1 \frac{t}{a}\right)} \times 50\% = 71,3\%$$

Für **Coffee-to-go-Mehrwegbecher** liegen erste Untersuchungen vor, die eine noch eine recht hohe Schwundquote von 10 Prozent aufweisen (Pachaly 2021). Angenommen werden kann, dass es sich hier um Effekte des Bestandaufbaus sowie um Verwendungen für private Nutzungszwecke handelt:

$$\text{Importunabhängigkeit}_{\text{Mehrwegbecher},2018} = 100\% - \frac{1596 \frac{t}{a}}{\left(4461 \frac{t}{a} - 1678,1 \frac{t}{a}\right)} \times 10\% = 94,3\%$$

Obwohl die Importabhängigkeit bei Papier niedriger ist als bei Kunststoff und der Schwund bei den Mehrwegbechern noch vergleichsweise (durch Fremdverwendung, mangelnde Bekanntheit und Verbreitung etc.) hoch, wird beim Mehrwegsystem bereits zum jetzigen frühen Entwicklungsstand ein hoher Grad an Unabhängigkeit von Importen erreicht (Indikatorwert +1).

Für **Coffee-to-go-Einwegbecher** liegen keine spezifischen Daten einzelner Hersteller vor, daher wird die Importabhängigkeit für PPK-Verpackungen über alle Anwendungen angesetzt. Berücksichtigt man den Kunststoffanteil für die Beschichtung des Bechers mit 5,5 Prozent (4 bis 7 Prozent gemäß (Kauertz et al. 2019) separat, so ergibt sich für die Unabhängigkeit von Importen:

$$\begin{aligned} \text{Importunabhängigkeit}_{\text{Einwegbecher},2018} \\ = 100\% - \frac{94,5\% \times 1596 \frac{t}{a}}{\left(4461 \frac{t}{a} - 1678,1 \frac{t}{a}\right)} - \frac{5,5\% \times 1093 \frac{t}{a}}{\left(9063 \frac{t}{a} - 2185 \frac{t}{a}\right)} = 81,8\% \end{aligned}$$

Es ergibt sich ein Indikatorwert von 0. Da die Einwegbecher nicht in einem geschlossenen Kreislauf geführt werden, wird Recycling nicht berücksichtigt. Im Gegenteil darf erwartet werden, dass ein Großteil des Materials über den Restmüll der Verbrennung zugeführt wird.

Für Einwegbecher aus PS (Automatenbecher) ergibt sich eine deutlich schlechtere Bewertung (Indikatorwert -2):

$$\text{Importunabhängigkeit}_{\text{Automatenbecher},2018} = 100\% - \frac{1093 \frac{t}{a}}{\left(9063 \frac{t}{a} - 2185 \frac{t}{a}\right)} = 42,7\%$$

Die vorangegangene Analyse zur technologischen Souveränität anhand der Importunabhängigkeit der verschiedenen Verpackungsmaterialien kann nur ein erster Ansatz für die Verwendung dieser Bewertungskategorie sein. Zukünftig ist dieses Kriterium so weiterzuentwickeln, dass damit auch komplexe Vorketten und spezifische Materialien abgebildet werden können. Vor dem Hintergrund der Erfahrungen mit Knappheiten in den Jahren 2020 und 2021 erscheint dies aber lohnenswert.

7 Ergebnisse für die untersuchten Mehrwegsysteme

7.1 Steigen (Behälter, O+G-Kisten)

7.1.1 Beschreibung der Anwendung

Für die Lieferkette von insbesondere loser aber auch abgepackter Frischware aus den Lebensmittelsegmenten Obst und Gemüse, Fleisch sowie Backwaren kommen flache Kisten, sogenannte Steigen (auch als »Stiegen« bezeichnet), aus traditionell Holz, Pappe sowie seit Anfang der 1990er Jahre auch Kunststoff zum Einsatz. Die Steigen sind den Kleinladungsträgern (KLT) zugeordnet. Die Kisten werden beim Produzenten befüllt, in der Regel auf Paletten gestapelt, bei Bedarf für den Transport separat gesichert (z. B. mit Kantenschutz, Wickelfolie oder Transportbändern) und über die verschiedenen Handelsstufen zum Einzelhandel transportiert. Zudem erfolgt bei Bedarf die Behandlung in Reifereien, bevor die Ware zum Einzelhandel ausgeliefert wird.

7.1.2 Status bei Einweg- und Mehrweglösungen

Die gängigste **Einweglösung** sind Kartons. Generell kommen im Obst- und Gemüsebereich Kartonagen aus Standardvollpappe und aus Wellpappe zum Einsatz, wobei letztere im Markt überwiegen und oftmals zweifelhaft ausgeführt sind. Einweglösungen aus Holz werden üblicherweise aus geschältem oder gesägtem Holz, Spanholz sowie Hartfaserböden hergestellt. Beide Varianten werden üblicherweise im Land des Befüllens hergestellt und zu den lokalen Obst- und Gemüseproduzenten transportiert. Sobald sie gefüllt sind, werden sie zu Verteilungszentren transportiert, und von dort gelangen sie schließlich in den Einzelhandel oder zu den Verbrauchsstellen. Sobald ihr Zweck erfüllt ist, werden sie in der Regel an Ort und Stelle entsorgt. In Einzelfällen werden die Einwegverpackungen zusammen mit verkauften Lebensmitteln an den Endkunden weitergegeben, welcher diese dann über die haushaltnahe Abfallentsorgung entsorgt.

Im Hinblick auf Kartonagen und Holzkisten, die für Obst und Gemüse sowie andere Lebensmittel eingesetzt werden, besteht eine große Variation hinsichtlich Abmaßen und Füllvolumen sowie Varianten.

Anfang der 1990er Jahre kamen **Mehrwegsteigen** aus Kunststoff in vier Größen auf den Markt (Euro Pool System 2021a), die in einem europäischen Pool zur Standardisierung der Obst- und Gemüsedistribution beitrugen. Die anschließenden Weiterentwicklungen dieser MW-Steigen umfassten einerseits zusätzliche Abmaße, wobei diese in der Regel die Euro-Palettenabmessungen berücksichtigen. Andererseits kamen neben den starren Steigen auch klappbare Varianten auf den Markt, welche eine deutliche Volumenreduktion (67 bis 87 Prozent) (Euro Pool System 2021c), während des Leerguthandlings ermöglichen. Zudem werden heute die MW-Steigen mit Code-Kennzeichnungen ausgestattet, sodass eine Automatisierung der Prozesse sowie das Tracking & Tracing der Transporteinheiten vereinfacht wurde. Heute sind überwiegend Mietmodelle im

Einsatz, beispielsweise durch eine Tagesmiete, die erst endet, wenn die Steige zurückgegeben wird (Hofmeister et al. 2021). Hier ist das Unternehmen selbst nicht der Eigentümer (geschlossener Pool). Der Vorteil des Mietsystems ist, dass dies gleichzeitig als Anreizsystem für den Rücklauf dient. Bei einem offenen Pool könnten Unternehmen auch eigene Bestände einbringen und bezahlen keine Miete für die Kiste selbst, stattdessen lediglich pro Nutzung für den Service der Reinigung und Logistik (Hofmeister et al. 2021).

Die leeren Mehrwegsteigen werden im Einzelhandel gesammelt und von dem Poolbetreiber (teilweise durch einen unterbeauftragten Logistikdienstleister) abgeholt und zu Wasch- und Hygienezentren transportiert. Dort werden sie gewaschen und desinfiziert. Gleichzeitig erfolgt automatisiert und/oder per Sichtkontrolle eine Qualitätsprüfung. Die gereinigten/desinfizierten Steigen werden anschließend bedarfsgerecht zur nächsten Befüllung an die Produzenten geliefert.

Wurden bei der Qualitätskontrolle defekte Steigen identifiziert, werden diese – je nach Mehrweglösung und Poolbetreiber – repariert oder ausgesondert und entsorgt, meistens durch Zuführung zum Recycling.

Der Mehrwegbestand von Obst- und Gemüsesteigen ist in den vergangenen Jahren deutlich gestiegen: während im Jahr 2006 etwa 200 Millionen Steigen in Europa im Umlauf waren, betrug der Bestand in 2017 bereits 600 Millionen Steigen (Behrens et al. 2018). Die 2018er EKUPAC-Studie weist 8 Rotationen pro Jahr für die Obst- und Gemüsesteigen aus. Relevante Eckdaten der wichtigsten Akteure von Mehrwegsteigen sind in Tabelle 19 zusammengestellt.

Tabelle 19: Eckdaten Akteure: Klappbare Mehrwegsteigen

	Euro Pool System (EPS)	IFCO	WBG Pooling
Steigenbewegungen	1,3 Mrd./Jahr (Europa) (Euro Pool System 2021a)	1,2 Mrd./Jahr (Europa) (Muske 2021)	k.A.
Material	HDPE	PP	PP
Farben (O/G Segment)	grün, blau, schwarz	schwarz, grün	hellblau
Gewicht [g]	550-2070 (Euro Pool System 2021c)	840-2000 (IFCO 2021)	1430-1980 (WBG-Pooling 2021a, 2021b)
Füllvolumen [L]	9,25 bis 47,14		22 bis 45
Füllgewicht [kg]	5 bis 20	5 bis 20	20
Flächenmaße [mm]	400 x 300 600 x 400	400 x 300 600 x 400	600 x 400
Codes	2D-Barcode, linearer Strichcode	GRAI Code	GRAI Code, RFID Label

7.1.3 Zirkularität, Performance und Nachhaltigkeit

In Kapitel 6 dieser Studie werden verschiedene Kategorien inklusive Indikatoren zur Bewertung von Verpackungssystemen betrachtet. Die Indikatoren sind für verschiedene Verpackungssysteme berechnet, grafisch dargestellt und anwendungsübergreifend verglichen. Im Folgenden werden die wichtigsten Aspekte zur Mehrwegsteige nochmals zusammengestellt. Abbildung 40, am Ende dieses Abschnitts, gibt ein vergleichendes Gesamtprofil von Mehrweg- und Einwegsteigen anhand der untersuchten Kategorien wieder.

Zirkularität

Die **Umlaufzahl** von Mehrwegsteigen ist derzeit bereits sehr hoch. Am häufigsten wurden Umlaufzahlen zwischen 100 bis 150 in der Literatur recherchiert oder in den Interviews genannt. Erfahrungen der letzten Jahre lassen aber eher eine Umlaufzahl von maximal 100 als realistisch erscheinen. Einwegsysteme haben per Definition die Umlaufzahl 1.

Mehrwegsteigen aus Kunststoff erreichen bereits bei geringen Umlaufzahlen eine hohe **Materialeffizienz**. Bei Umlaufzahlen im Bereich von 100 sind die Einwegsteigen aus Karton weit abgeschlagen. Auch im Vergleich zu Verpackungssystemen für andere Anwendungsbereiche lässt sich eine besonders niedrige Materialintensität der Mehrwegsteigen von unter einem Gramm Verpackungsmasse pro Nutzung und pro Liter Füllgut erreichen.

Die **Rücklaufquote** der Materialien von Mehrwegsteigen erreicht über 99 Prozent. Zum Vergleich: Die Rücklaufquote von Einwegverpackungen aus der Sammlung durch duale Systeme, Branchenlösungen und über Einwegpfandsysteme erreicht - sofern die energetisch verwerteten Stoffströme, die für die stoffliche Verwertung innerhalb einer Kreislaufwirtschaft nicht zur Verfügung stehen, unberücksichtigt bleiben - nur 76 Prozent. Das heißt, für die Kreislaufwirtschaft stellen Mehrwegsysteme allein deshalb schon eine sehr gute Ausgangsbasis dar, weil sie die Rückführung der Materialien sicherstellen und Materialverluste weitgehend ausbleiben.

Bei falt- beziehungsweise klappbaren Obst- und Gemüsesteigen ist die **Reparierbarkeit** beweglicher Teile im Mehrwegsegment durchaus gegeben, wird jedoch unterschiedlich in den jeweiligen Pools angewendet. In dieser Studie wird daher die Reparierbarkeit zusammenfassend mit gut bewertet. Die Reparierbarkeit von Einwegsteigen ist hingegen als Einwegpackmittel weder vorgesehen noch wird sie praktiziert.

Die prinzipielle **Rezyklierbarkeit** der Mehrwegsteigen ist sehr gut. Sie bestehen meistens aus einem Monomaterial (PP oder HDPE), das nur wenig gefüllt ist und sehr gut mechanisch recycelt werden kann. Alle Teilschritte des Recyclings dieser Materialien zählen zum Stand der Technik, womit auch die praktische Rezyklierbarkeit in Deutschland als sehr gut anzusehen ist.

Die Angaben zur **Recyclingquote** der Mehrwegsteigen in der Literatur und aus dem Experteninterview weisen eine hohe Bandbreite auf. Im Unterschied zum

Rezyklateinsatz überwiegen hier die Werte am oberen Ende. Im Mittel kann von einer Recyclingquote von 80 Prozent ausgegangen werden. Steigen, die in einem Poolsystem umlaufen und dort aussortiert werden, erreichen nahezu 100 Prozent. Differenzen zu diesem Wert ergeben sich in den Literaturstudien meist durch Annahmen über die Entsorgung beschädigter Steigen bei der Anwendung. Je weniger dies zu verzeichnen ist, desto näher reicht die Recyclingquote an 100 Prozent heran.

Auch für den **Rezyklatanteil** bei Mehrwegsteigen finden sich viele unterschiedliche Angaben. Berichtet wird von bis zu 70 Prozent Einsatz an Rezyklat. Oft wird aber auch beschrieben, dass ausschließlich Neuware verwendet werde. Das wird mit der notwendigen Zulassung der Produkte für den Kontakt mit Lebensmitteln begründet.

Mehrwegsteigen besitzen ein sehr niedriges Potenzial für **Kunststoffemissionen**. Bepfandung oder Miete sichern die Rückführung, es gibt keine losen Teile. Vor allem Littering dürfte bei Einwegsteigen aus Karton deutlich häufiger auftreten. Sofern bei den Kartons auch Beschichtungen, Klebstoffe etc. zum Einsatz kommen, sind damit auch Kunststoffemissionen verbunden. Mechanische Belastung und Abrieb finden bei allen Steigen vor allem in Innenräumen statt, sodass die freigesetzten Mengen durch Reinigungsmaßnahmen zurückgehalten werden dürften.

Performance

Die **Modularität** ist bei Mehrwegsteigen heute bereits gegeben. Das auf Europa-Palettengröße bezogene Flächenmaß von 600 mm x 400 mm oder Untermaße davon werden von mehreren Poolbetreibern verwendet. Insgesamt gesehen wird die Modularität für Mehrwegsteigen sehr gut bewertet. Im Einweg-Transportkistenmarkt haben sich ebenfalls einheitliche Flächenmaße über die Zeit entwickelt. Jedoch existieren auch viele individuelle EW-Lösungen, aufgrund dessen deren Modularität neutral bewertet wurde.

Die **Volumenreduzierbarkeit** ist bei Mehrwegsteigen durch ihre Falt-/Klappbarkeit gegeben. Der Indikatorwert ist maßgeblich durch die Höhe der Steige beeinflusst, d. h. handelt es sich beispielsweise um eine eher flache Steige (z. B. für Beeren) oder hohe Steige (z. B. für Melonen, Bananen).

Die Mehrwegsteigen bieten einen sehr guten **Produktschutz** mit geringer Bruchquote während der Vollgutprozesse, welche jedoch durch äußere Einflüsse (z. B. ggf. unzureichend gewählte Ladeeinheitensicherung) negativ beeinflusst werden kann. Eine bessere Prozessintegration würde das bestehende Potenzial ausschöpfen. Qualitativ werden die Bruchquoten von Mehrweglösungen im Vergleich zu Einweglösungen als geringer eingestuft. So wurde beispielsweise aufgeführt, dass die starren Wände der MW-Steigen eine bessere Stapelbarkeit ermöglichen und einen besseren Schutz bei Stößen böten. Für die vorliegende Studie werden die Indikatorwerte neutral für die Mehrwegsteige und schlecht für die Einwegsteige zugeordnet.

Mehrwegsteigen werden heute schon häufig auf der Ebene der einzelnen Box mit dem GRAI-Code gekennzeichnet. Sowohl optische Codes als auch Funktechnik werden verwendet. Aufgrund der zerstörungsfreien Kreislaufführung und weniger als fünf Prozent zusätzlicher Kosten für bspw. RFID-Sensoren pro Nutzung sind die Steigen sehr gut **digitalisierbar**. Auch für zusätzliche Sensorik bestünde Potenzial. Bei der mehrfachen Verwendung von Verpackungssystemen für die gleiche Anwendung bietet die Digitalisierung auch das Potenzial für Prozessoptimierungen.

Die separate Betrachtung der **Transportentfernung** verdeutlicht, dass die diesbezügliche Performance von Mehrwegsteigen im Vergleich zu Einweglösungen insbesondere vom zu transportierenden Produkt beeinflusst wird. Die der Nutzung vor- und nachgelagerten Entfernungen sind im Vergleich zum Einsatzgebiet für MW-Steigen vernachlässigbar, sodass MW-Lösungen für Einsatzgebiete mit weniger als 500 km Produkterzeugungs- und Verbrauchsentfernung (d. h. Redistributionsentfernung) gegenüber Einweglösungen vorteilhaft sind.

Nachhaltigkeit

Die **Treibhausgasemissionen** von Mehrwegsteigen sind geringer als die der Einwegsteigen. Der wesentliche Einflussfaktor ist die Umlaufzahl, wobei auch dezentrale Distributionsstrukturen sowie Gewichtsreduktionen und andere Performancekategorien die Vorteilhaftigkeit von Mehrwegsteigen fördern.

Alle untersuchten Mehrwegsteigen schnitten in der Kategorie **kumulierter Energieaufwand** besser ab als die Einwegvarianten. Obwohl für Einwegsysteme aus Kartonage teils bis zu einem Drittel der gesamten Primärenergie am Lebensende zurückgewonnen wird, ist der KEA der ausgewerteten Kunststoffmehrwegsteigen über den gesamten Lebenszyklus niedriger.

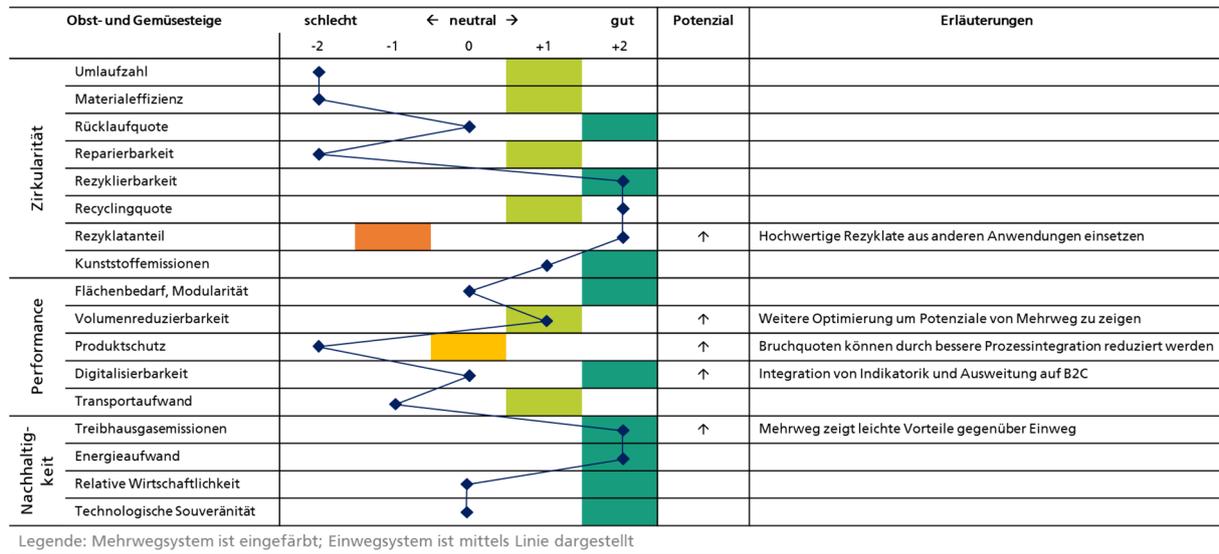
Vergleicht man für die Bewertung der **relativen Wirtschaftlichkeit**³⁵ die Kosten für die Herstellung (aus Rezyklat) und Entsorgung bei Einwegsystemen mit denen für Herstellung, Reinigung, Reparatur und Schwund bei den Mehrwegsystemen, so ergeben sich bereits bei Umlaufzahlen um 50 deutliche Vorteile für die Mehrwegsysteme. Für die genannten Kostengruppen liegt der Summenwert bei 50 Umläufen unter einem Cent pro Liter Füllgut und Nutzung. Sofern die Transportaufwände für die in Konkurrenz stehenden Einweg- und Mehrwegsysteme ähnlich sind, ergeben sich also deutliche Vorteile für die Mehrwegsysteme.

Mehrwegsysteme werden in der Regel regional in offenen oder geschlossenen Kreisläufen genutzt. Ausschließlich der Schwund muss durch Neumaterial ausgeglichen werden. Sie leisten daher einen Beitrag zur Etablierung robuster Geschäftsbeziehungen zwischen Produzent, Logistikdienstleister und Handel.

³⁵ Zur spezifischen Definition der relativen Wirtschaftlichkeit in dieser Studie siehe Abschnitt 6.3.3.

Etablierte, nicht mehr im Wachstum befindliche Pools erreichen eine hohe Importunabhängigkeit und leisten einen Beitrag zur **technologischen Souveränität**.

Abbildung 40: Übersicht für Obst- und Gemüsesteigen



7.1.4 Optimierungspotenziale

Unter den hier untersuchten Demonstratoren ist die Mehrwegsteige vermutlich das am besten etablierte Mehrwegsystem. Es hat folgerichtig durch vorangegangene Verbesserungen hinsichtlich Poolmanagement und hohe bereits erreichter Umlaufzahlen heute das geringste Optimierungspotenzial. Bei sehr vielen der im Rahmen dieser Studie untersuchten Kategorien schneidet die Mehrwegsteige deutlich besser ab als ihr ebenfalls lang etablierter Konkurrent, die Einwegsteige aus Karton. Dennoch wurden einige Potenziale oder zukünftige Anforderungen zur weiteren Verbesserung gegenüber den Einwegsteigen identifiziert.

Eine Vielzahl der guten Bewertungen für Mehrwegsteigen basiert auf den hohen Umlaufzahlen. Gerade über deren Höhe gibt es aber immer wieder Debatten. Die Branche sollte sich über Monitoringmechanismen und Kommunikationsmöglichkeiten verständigen, um transparent über die in der Praxis erreichten Umlaufzahlen zu informieren.

Die Optimierung der Umlaufzahlen sollte eines der obersten Ziele bei der Produkt- und Systementwicklung sein. Als Zielgröße für Mehrwegsysteme ist ein Wert von 100 im Mittel anzustreben. Um die Umlaufzahlen zu erhöhen, sind bspw. Verbesserungen der Bruchfestigkeit bei klappbaren Kisten sinnvoll. Hier könnten ggf. neue in Normen festgeschriebene Testverfahren helfen. Auch die Verbesserung der Kommunikation mit den Anwendenden oder die Entwicklung

neuer Anreizsysteme, um den Schwund zu verringern, würde sich voraussichtlich positiv auswirken.

Durch die Erweiterung der Systeme über den B2B-Transport hinaus können weitere Einwegverpackungen substituiert werden. Beispiele sind die Nutzung von Mehrwegsteigen als Transportboxen im Onlinehandel oder als Mitnahmebox im Handel. Das sollte in Modellversuchen erprobt werden.

Die Politik müsste den Rahmen für eine flächendeckende Durchsetzung von Mehrwegsteigen in Handel und Industrie durch entsprechende Vorgaben setzen. Die Vorgaben für avancierte Recyclingraten oder Mehrwegumlaufzahlen könnten als entweder/oder-Bedingung in geeigneten Rechtsakten verbindlich vorgegeben werden. Die Expertenvorschläge für den delegierten Rechtsakt zur Kreislaufwirtschaft im Rahmen der europäischen Taxonomie-Verordnung lassen sich hier als Vorbild verwenden (Plattform on Sustainable Finance (PSG) 2022).

Gerade Mehrwegsteigen werden auch oft im internationalen Handel, z. B. zwischen der EU und Anrainerstaaten wie Großbritannien, der Schweiz und den Westbalkanstaaten, eingesetzt. Die Gefahr besteht, dass diese Mehrweg-Kunststoffprodukte bei jedem einzelnen Umlauf über Grenzen von Wirtschaftsräumen hinweg mit bereits eingeführten oder bald implementierten Kunststoffsteuern belastet werden. Die Gesetzgeber in Brüssel, den EU-Mitgliedsstaaten und auch Handelspartnern im Außenraum sollten Regelungen treffen, durch die solche, die Mehrwegsysteme belastende Steuerzahlungen ausgeschlossen werden.

Die Mehrwegsteigen bestehen aus thermoplastischem Kunststoff-Monomaterial. Dadurch sind sie, nachdem sie z. B. wegen Beschädigungen aussortiert werden müssen, sehr gut werkstofflich zu recyklieren. Änderungen an der Werkstoffbasis sollten so erfolgen, dass sie sich in Zukunft nicht recyclingkritisch auswirken. Auf schlecht recycelbare Verbundlösungen, elastomere Anspritzteile und andere Formen des Materialmixes sollte auch zukünftig verzichtet werden. Verbesserungen in der Performance sollten aus verbesserter Form oder Oberflächentexturen erreicht werden.

Weiterentwicklungen bei der Wiederaufarbeitung der verwendeten Thermoplaste durch verbesserte Additivierung und prozesstechnische Optimierungen können in Zukunft das hochwertige Kunststoffrecycling weiter voranbringen. In der Praxis werden die aus den Mehrwegsystemen aussortierten Steigen nahezu immer dem werkstofflichen Recycling zugeführt. Beim Rezyklatanteil besteht noch ein deutliches Verbesserungspotenzial, was aktuell auch darin begründet ist, dass die Systeme wachsen und die aussortierten, für das Recycling zur Verfügung stehenden Steigen nicht genügen, um den Neumaterialbedarf zu decken. Dennoch sollte angestrebt werden, bei der Herstellung von Mehrwegsteigen einen möglichst hohen Rezyklatanteil zu verwenden. Ggf. könnte überlegt werden, das Material für neue Mehrweglösungen und das Wachstum bestehender Mehrweglösungen aus hochwertigen Rezyklaten anderer Anwendungen zu gewinnen. Vorgaben des Lebensmittelrechts müssen dabei von den

Herstellern beachtet werden. Diese sollten von den Gesetzgebern im Hinblick auf die Förderung einer zirkulären Kunststoffwirtschaft einer kritischen Prüfung unterzogen werden. Für das Vergleichsprodukt Transportkarton ist das Recycling seit vielen Jahrzehnten etabliert. Der bei jedem Papierrecyclingschritt zu verzeichnende Verlustanteil von ca. 15 Prozent lässt sich allerdings kaum weiter reduzieren, hier sind weitere Vorteile für die Mehrwegsteigen möglich.

In Bezug auf Reparierbarkeit, Modularität und Volumenreduzierbarkeit sind Mehrwegsteigen vorbildliche Produkte. Die Zugewinne bei der Volumenreduzierbarkeit durch Faltsysteme haben bereits gezeigt, dass sie kaum mehr Lagerflächen und Transportvolumen in Anspruch nehmen als Einwegkartons.

Hinsichtlich des Produktschutzes können Mehrwegsteigen bereits heute mit einer geringen Bruchquote während der Vollgutprozesse punkten. Eine bessere Prozessintegration, beispielsweise mittels ausreichender Ladeeinheitensicherung und umsichtigerer Handhabung mit Gabelstaplern, würde noch weitere Verbesserungen bringen.

Mehrwegsteigen bieten sich an, um die Potenziale der Digitalisierbarkeit zu nutzen. So könnte überlegt werden, ob auf Basis von optischen Codes oder Funketiketten eine Durchlässigkeit zum Endkunden erreicht werden kann, bspw. durch automatische Registrierung bei Mitnahme durch Endkunden. Die Kisten könnten dann im Online-Handel von Lebensmitteln oder als Transportbox für Einkäufe in Supermärkten genutzt werden. Interessant wäre auch die Integration von Sensoren, die eine Alterung der Kiste durch Temperaturwechsel und UV-Strahlung anzeigen und die Kiste für die Aussonderung zum Recycling (inkl. notwendiger Reparaturen auf molekularer Ebene: Kettenverknüpfung, -verlängerung, Entfernung von Kontaminanten etc.) empfehlen.

7.2 Pflanzentrays

7.2.1 Beschreibung der Anwendung

Pflanzentrays sind Transporthilfen für eine unterschiedliche Anzahl von Pflanzen. Vertiefungen für die Pflanztöpfe ermöglichen den sicheren Transport und vereinfachen die Handhabung.

Die Pflanzentrays werden von den Pflanzenerzeugern befüllt, teilweise verwenden sie diese bereits während der Aufzucht. Für den nachfolgenden Transport werden die befüllten Pflanzentrays in der Regel auf CC-Containern kommissioniert und via Großhandel, Distributionssysteme und Vermarktung in den Einzelhandel transportiert. Anders als beim Anwendungsbeispiel Steige werden Pflanzentrays gelegentlich auch von Endkunden verwendet. Sie stellen also teilweise eine B2C-Anwendung dar, d. h. Kunden nehmen z. B. beim Kauf mehrerer Pflanzen diese in einem Pflanzentray mit.

Leere Mehrwegtrays werden im Einzelhandel gesammelt und bei Bedarf von dem Poolbetreiber (durch einen Logistikdienstleister) abgeholt und zu Wasch-

und Hygienezentren transportiert. Dort werden diese entsprechend gewaschen und desinfiziert, gleichzeitig erfolgt automatisiert oder per Sichtkontrolle eine Prüfung der Qualität. Die gereinigten Pflanzentrays werden anschließend zur nächsten Befüllung an die Pflanzenerzeuger geliefert. Sofern bei der Qualitätskontrolle defekte Mehrwegtrays identifiziert werden, werden diese – je nach Mehrweglösung und Poolbetreiber – ausgesondert und wie die Einwegtrays entsorgt oder dem Recycling zugeführt.

7.2.2 Status bei Einweg- und Mehrweglösungen

Pflanzentrays sind derzeit zu über 95 Prozent als Einweglösungen auf dem Markt (Weschnowsky 2021; Deutsche Umwelthilfe e.V. 2021). Die Deutsche Umwelthilfe schätzt die durch die Nutzung von Einwegpflanzentrays entstehende jährliche Abfallmenge auf rund 150 Millionen Trays, das entspricht ca. 21 Millionen Kilogramm (Deutsche Umwelthilfe e.V. 2021). Gemäß BaumarktManager (2021) existieren derzeit rund 55 verschiedene Traygrößen.

So führt beispielsweise Normpack® in der Produktübersicht derzeit **Einwegpflanzentrays** mit vier verschiedenen Flächenmaßen auf (Normpack 2021). Diese verfügen über 1 bis 30 Löcher, was zu insgesamt 81 Varianten bei den Einwegpflanzentrays führt.

Die EW-Pflanzentrays werden aus Polystyrol (PS) hergestellt. Nach Unternehmensangabe sind Normpack-Trays zu 100 Prozent rezyklierbar (Royal FloraHolland 2021). Derzeit bestehe ein Normpack-Tray zu 90 Prozent aus Recyclingmaterial, 50 Prozent aus dem Recycling vorheriger Pflanzentrays und 40 Prozent aus anderem Recycling. 10 Prozent Primärrohstoffe seien aufgrund der Farbgebung oder fehlender Recyclingmaterialmengen erforderlich.

Die **Mehrweglösung** »Palettino« ist seit 20 Jahren auf dem Markt (HAWITA Technoplant 2021). Die Trays werden mit zwei Flächenmaßen angeboten. Mit dem Dänenmaß passen jeweils 4 Trays auf ein CC-Brett³⁶, mit dem Euromaß bilden 8 Trays eine Palettenlage (vgl. Tabelle 20).

Royal FloraHolland hat Ende 2013 die Mehrweglösung »Floratino« im Bereich Pflanzentrays auf den Markt gebracht. Derzeit existieren fünf Traytypen mit denselben Außenmaßen, aber unterschiedlicher Anzahl an Löchern je Tray (Royal FloraHolland 2021). Sie sind aus Polyethylen gefertigt und haben ein Gewicht von 375 bis 411 Gramm (Royal FloraHolland 2021). Das 6-Loch Floratino-Tray wird derzeit aus 100 Prozent Neuware hergestellt (van Paassen und Scholten 2020).

Die TEKU® Produktserie »MS + R« der Firma Pöppelmann für Transport- und Kulturtrays umfasst 6 verschiedene Mehrweglösungen (vgl. Tabelle 20). Sie sind aus Polyethylen oder Polypropylen hergestellt. (Pöppelmann 2021)

³⁶ Näheres zu CC-Containern siehe Kapitel 6.2.1

Tabelle 20: Eckdaten Pflanzentrays

Lösung	Flächenmaß [mm]	Anzahl Trays	Quelle
Normpack®	270 x 250	10 je CC-Brett	(Koskela et al. 2014)
	400 x 280	6 je CC-Brett	
	560 x 310	4 je CC-Brett	
	560 x 250	5 je CC-Brett	
Palettino®	530 bis 540 x 300 bis 315	4 je CC-Brett	(HAWITA Technoplant 2021)
	390 x 275	8 je Palettenlage	
Floratino®	540 x 310	4 je CC-Brett 8 je Palettenlage	(Royal FloraHolland 2021)
TEKU® »MS + R«	395 x 280	6 je CC-Brett	(Pöppelmann 2021)
	385 x 284	6 je CC-Brett	
	565 x 383	3 je CC-Brett	
	432 x 432	2 je CC-Brett	

7.2.3 Zirkularität, Performance und Nachhaltigkeit

In Kapitel 6 dieser Studie wurden verschiedene Kategorien inklusive Indikatoren zur Bewertung von Verpackungssystemen vorgeschlagen. Die Indikatoren wurden für verschiedene Verpackungssysteme berechnet, grafisch dargestellt und anwendungsübergreifend verglichen. Im Folgenden werden die wichtigsten Aspekte zu Mehrwegtrays nochmals zusammengestellt. Abbildung 41 gibt ein vergleichendes Gesamtprofil von Mehrweg- und Einwegtrays anhand der untersuchten Kategorien wieder.

Zirkularität

Die **Umlaufzahl** von Mehrwegtrays ist derzeit bereits hoch. Das größte Potenzial liegt hier in der höheren Durchdringung von Mehrweglösungen im Markt und damit Erhöhung der Poolflexibilität und Intensivierung in der Wiederverwendung. Einwegsysteme haben per Definition die Umlaufzahl 1.

Von Mehrwegtrays wird eine etwa gleich hohe **Materialeffizienz** wie von Mehrwegsteigen erwartet. Ein Materialeinsatz von etwa einem Gramm pro Liter Füllgut und Nutzung scheint realistisch. Da Mehrwegsteigen noch in der Entwicklung sind, setzt dies voraus, dass ähnlich hohe Umlaufzahlen erreicht werden. Da die Masse von Einwegtrays etwa halb so groß ist, wie die der Mehrwegtrays ist die Materialeffizienz deutlich schlechter (ca. 10 Gramm pro Liter Füllgut und Nutzung) als bei den Einwegsteigen.

Solange Mehrwegtrays ausschließlich im B2B-Bereich eingesetzt werden, kann eine **Rücklaufquote** analog zu der von Mehrwegsteigen erwartet werden. Da aber eine Öffnung in den B2C-Markt erwogen und ggf. auch sinnvoll ist, um weitere Packmittel einzusparen, wird sich diese Rücklaufquote in der Praxis

eher etwas niedriger darstellen. Einwegtrays erreichen laut Herstellerangaben, derzeit eine Rücklaufquote von 55 Prozent.

Pflanzentrays bestehen aus Monomaterial, Identifikationsoptionen sind aufgedruckt/eingeschmolzen; und sie haben keine beweglichen Komponenten. Eine **Reparierbarkeit** ist aus heutiger Sicht für sowohl Einweg als auch Mehrweg irrelevant und wurde daher mit »neutral« bewertet.

Die prinzipielle **Rezyklierbarkeit** der Mehrwegtrays ist sehr gut. Sie bestehen meistens aus einem Monomaterial (PP oder HDPE), das sehr gut mechanisch recycelt werden kann. Alle Teilschritte des Recyclings dieser Materialien zählen zum Stand der Technik, womit auch die praktische Rezyklierbarkeit als sehr gut anzusehen ist.

Die **Recyclingquote** der Mehrwegtrays für Pflanzen wird von einem Poolbetreiber mit 100 Prozent angegeben. Sie bestehen aus einem hochwertigen Monomaterial, welches wieder bei der Herstellung neuer Trays verwendet wird.

Der **Rezyklatanteil** bei den Mehrwegtrays beträgt 100 Prozent. Ein solch hoher Rezyklateinsatz ist möglich, weil diese Produkte keine Zulassung für den Kontakt mit Lebensmitteln benötigen.

Mehrwegtrays werden bepfandet, sodass ein Littering unwahrscheinlich oder nur temporär ist. Die mechanische Belastung kann durch das Pflanzengewicht zum Teil sehr hoch sein, eine Versprödung ist durch UV-Strahlung über längere Zeit wahrscheinlich. Daher ist davon auszugehen, dass einige Trays im Laufe der Zeit brechen oder splintern werden und dadurch geringe **Kunststoffemissionen** entstehen. Die beschriebenen Effekte treten bei Einwegtrays ebenfalls auf, durch geringere Wandstärken und fehlende Befandung dürften sie sich allerdings deutlich stärker auswirken.

Performance

Mit Blick auf die **Modularität** ist die Etablierung einheitlicher Flächenmaße für Pflanzentrays relevant, welche derzeit im Rahmen der Entwicklung einer europaweiten Mehrweglösung (Projekt »Flowertray«) von der Branche diskutiert wird. Im Bereich der EW-Pflanzentrays existiert weiterhin eine Vielzahl unterschiedlicher Traygrößen. Grundsätzlich ist es aus Sicht eines einheitlichen Flächenmaßes nachteilig, an den parallelen Distributionspfaden für Pflanzentrays mittels Paletten (LEH) und CC-Container (Bau-/Pflanzenmarkt) festzuhalten.

Die **Volumenreduzierbarkeit** ist bei Mehrwegtrays durch ihre Nestbarkeit gegeben. Diese ist jedoch durch deren Design begrenzt (z. B. die Höhe des Trayrands). Ferner beeinflusst auch die Vereinheitlichung und Kompatibilität der Anzahl und Anordnung der Löcher die Nestbarkeit der Pflanzentrays. Aufgrund ihrer vergleichsweise geringen Höhe, schneiden Pflanzentrays per Definition des Indikatorwerts schlechter als die anderen Demonstratoren ab.

Der derzeit bei EW-Pflanzentrays realisierte **Produktschutz** muss auch durch zukünftige Mehrweglösungen gewährleistet werden. Darin sind sich die Interviewpartner einig. Aufgrund der derzeit noch nicht verfügbaren Daten wurde die Bruchquote mit neutral bewertet.

Durch die zerstörungsfreie Kreislaufführung weisen Mehrwegtrays, bei einem gleichzeitig zu unterstellenden Interesse an Wachstumsparametern für die transportierten Pflanzen (Feuchte, pH-Wert, Strahlung etc.) eine sehr hohe **Digitalisierbarkeit** auf. Dieses Potenzial kann bei nur einmaliger Nutzung der Einwegtrays aufgrund der damit verbundenen hohen Kosten nicht aktiviert werden.

Die separate Betrachtung der **Transportentfernung** verdeutlicht auch für Pflanzentrays, dass die der Nutzung vor- und nachgelagerten Entfernungen im Vergleich zum Einsatzgebiet vernachlässigbar sind. Daher werden MW-Lösungen für regionale Anwendung der Pflanzentrays gegenüber Einweglösungen vorteilhaft bewertet.

Nachhaltigkeit

Im Vergleich schneiden Mehrwegtrays für Pflanzen in der Kategorie **Treibhausgasemissionen** besser ab als Einwegtrays. Die wichtigsten Treiber für die THG-Emissionen von Mehrwegtrays sind Transport- und Reinigungsprozesse. Jedoch ist die Studienlage für Pflanzentrays in dieser Kategorie eher schlecht, weshalb eine weitere Prüfung empfohlen wird.

Mehrwegtrays für Pflanzen zeigen einen um ca. 25 Prozent niedrigeren und damit besseren **kumulierten Energieaufwand** als Einwegtrays. Allerdings konnte für die Beurteilung nur eine Studie mit jeweils einer Variante für Ein- und Mehrweg ausgewertet werden. Aus diesem Grund wäre die Vorteilhaftigkeit hier in weiteren Untersuchungen zu validieren.

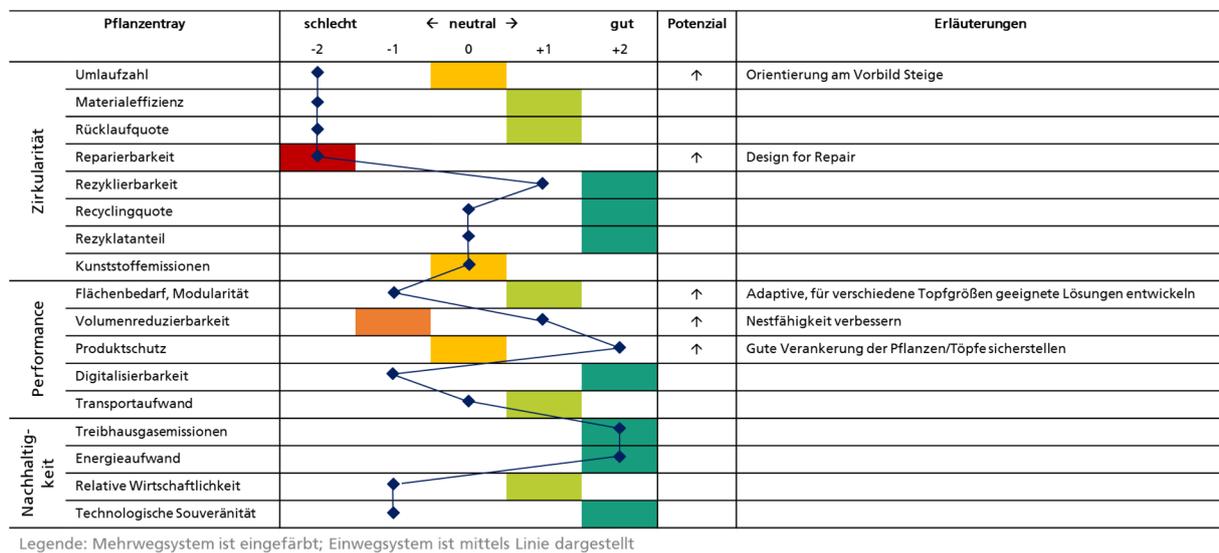
Sofern bei den Mehrwegtrays mehr als 50 Umläufe erreicht werden, zeigen sie eine ähnlich gute **relative Wirtschaftlichkeit**³⁷ wie die Steigen. Allerdings fallen die Kosten für die Reinigung stärker ins Gewicht. Bei der getroffenen Annahme, dass die Trays bei jedem Umlauf gereinigt werden, würde eine Steigerung der Umlaufzahl kaum noch Kosten einsparen. In der Praxis hat es sich aber bereits gezeigt, dass nicht bei jedem Umlauf eine Reinigung erforderlich ist. Daher stellt sich die Wirtschaftlichkeit der Mehrwegsysteme sogar noch günstiger dar als in der Modellrechnung kalkuliert.

Da die Einwegtrays bereits zum großen Teil aus Rezyklat bestehen und die eingesetzte Kunststoffmenge bereits weitestmöglich reduziert wurde, weisen sie im Vergleich zu anderen Einwegverpackungen eine gute relative Wirtschaftlichkeit auf. Diese kann aber dennoch nicht mit der von Mehrwegsystemen konkurrieren.

³⁷ Zur spezifischen Definition der relativen Wirtschaftlichkeit in dieser Studie siehe Abschnitt 6.3.3.

Die **technologische Souveränität** eines etablierten Mehrwegsystems ergibt sich aus der Importabhängigkeit für die verwendeten Werkstoffe und der Schwundquote. Daraus ergibt sich für die Mehrwegtrays eine sehr hohe technologische Souveränität, die nur knapp unter der für die Steigen liegt. Da das System der Mehrwegtrays noch im Aufbau ist, kann sich diese Situation in den nächsten Jahren aber ungünstiger darstellen, bis eine weitgehende Sättigung am Markt erreicht ist. Vorteilhaft wirkt sich aller Wahrscheinlichkeit nach aus, dass der Aufbau des Materialpools aus Rezyklaten geplant ist. Die Einwegtrays erreichen durch einen recht hohen Rezyklatanteil eine hohe technologische Souveränität, die aber dennoch niedriger als bei Mehrwegtrays ist.

Abbildung 41: Übersicht für Pflanzentrays



7.2.4 Optimierungspotenziale

Im Vergleich zu den Steigen ist die Studien- und Datenlage für Pflanzentrays noch unzureichend.

Bei Pflanzentrays besteht im Produktdesign die größte Herausforderung, für zwei parallele Distributionspfade, d. h. mittels Paletten (LEH) und CC-Containern (Bau-/Pflanzenmarkt), ein einheitliches Flächenmaß zu etablieren, sodass die Vielzahl der heutigen Traygrößen reduziert und gleichzeitig die Modularität verbessert werden kann. Ferner muss das Produktdesign auch auf die optimale Nestbarkeit der Pflanzentrays (durch u. a. Vereinheitlichung und Kompatibilität der Anzahl und Anordnung der Löcher) ein Augenmerk legen. Das Produktdesign legt somit wesentliche Grundlagen für optimale logistische Prozesse, wie die optimale Auslastung von Transportmitteln als auch die Handhabung bei Umschlag und Reinigung. Die Variantenvielfalt der Mehrwegtrays ist gegenüber den Einwegtrays eingeschränkt. Gute Lösungen sind zu entwickeln, die dennoch eine feste Verankerung der Pflanzen und Pflanztöpfe erlauben.

Bei den Umlaufzahlen sollten die Mehrwegtrays ähnliche Werte wie die Steigen erreichen. Dies muss sich aber in der Praxis noch zeigen und es wäre gut, wenn die Poolbetreiber die realen Umlaufzahlen belastbar dokumentieren. Besonders in den Nachhaltigkeitskategorien sind durch die Optimierung der Nutzung weitere Verbesserungen im Vergleich zu Einwegtrays zu erreichen. Die bisherigen Entwürfe für die Mehrwegtrays berücksichtigen Aspekte des Leichtbaus, sodass bei der Materialeffizienz kaum weitere Zugewinne erwartet werden, außer solchen, die durch höhere Umlaufzahlen bewirkt werden.

Ein Austausch defekter Komponenten ist bei den Trays bislang nicht angedacht. Sofern machbar, sollte dies zukünftig Berücksichtigung finden, wobei Nachteile bei der Robustheit vermieden werden müssen. Ggf. ließen sich in einem Redesign auch gleichzeitig Aspekte der Modularität und Volumenreduzierbarkeit adressieren. Insbesondere für das Nesting sollten leistungsfähigere Lösungen entwickelt werden. Auch die Adaptierbarkeit an unterschiedliche Topfgrößen wäre ein Zugewinn.

Mehrwegpflanzentrays bestehen aus thermoplastischem Kunststoff-Monomaterial auf Basis von Rezyklaten. Nachdem sie z. B. wegen Beschädigungen aussortiert werden müssen, können sie erneut werkstofflich recycelt werden. Dennoch sind Weiterentwicklungen bei der Wiederaufarbeitung von Thermoplasten durch verbesserte Additivierung und prozesstechnische Optimierungen möglich und sinnvoll. Insbesondere auch eine umweltfreundliche Stabilisierung gegen Alterungsprozesse ist bei den Pflanzentrays lohnenswert.

7.3 Coffee-to-go-Becher

7.3.1 Beschreibung der Anwendung

Der Coffee-to-go-Becher steht stellvertretend für eine Vielzahl von Verpackungen, die das Mitnehmen oder das unterwegsverzehren von fertigen Speisen (Take-Away-Food) ermöglichen. Die entsprechenden Verpackungssysteme spielen für viele Fast-Food-Restaurants, Bäckereien und Unternehmen aus der Systemgastronomie mit einem Tresenverkauf (Counter-Service), für Online- und Abholservices sowie Drive-Ins eine zentrale Rolle. Ohne sie wäre das jeweilige Geschäftsmodell kaum vorstellbar.

Die Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung ermittelte eine jährliche Verbrauchsmenge für den Bereich »Einweggeschirr und Verpackungen für den Sofortverzehr« für das Jahr 2017 von 281 186 Tonnen (Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH (GVM) 2018). Dies entspricht ca. 3,4 Kilogramm pro Person und Jahr. Seit 1994 steigt die Menge im Durchschnitt pro Jahr um 2,5 Prozent. Der Kunststoffanteil an Einweggeschirr und Verpackungen für den Sofortverzehr beträgt ca. 27,6 Prozent und ist seit 1994 mit 3,9 Prozent pro Jahr überdurchschnittlich gestiegen.

Der »To-go-Becher« wurde Anfang des 20. Jahrhunderts zunächst als Einweg-Pappbecher für Kaltgetränke von Lawrence Luellen erfunden. Mit Beginn der

Spanischen Grippe (1918-1920) wurden Aspekte der Hygiene das entscheidende Verkaufsargument, das die Verbreitung voranbrachte. Die Anwendung als Coffee-to-go-Becher begann mit der New Yorker Lebensmittelmarktkette »7-Eleven«. Nachdem sich Kaffee zunehmend als Genussmittel in breiten Bevölkerungsschichten etabliert hatte, bot die Imbisskette ab 1964 Kaffee in Bechern aus geschäumtem Polystyrol an. In den 80ern wurde der Einwegbecher mit Deckel bei Starbucks eingeführt (Gräf 2018). Negative Aufmerksamkeit erlangte der Coffee-to-go-Becher, als Stella Liebeck, die beim Verschütten des Kaffees aus einem To-go-Becher Verbrennungen dritten Grades erlitt, gegen die Fastfood-Kette McDonald's 640 000 US-Dollar Schmerzensgeld und Schadensersatz erstritt (Schneider 2014).

92 Prozent der Deutschen trinken Kaffee, 72 Prozent sogar täglich. 17 Prozent konsumieren mehrmals pro Woche oder gar täglich einen Coffee-to-go, weitere 50 Prozent gelegentlich. Allein aus diesen Zahlen lässt sich auf mehrere Milliarden Nutzungen pro Jahr schließen. Coffee-to-go wird etwa zu gleichen Anteilen auf den Wegen von oder zur Arbeit oder in der Freizeit getrunken. (Aral 2018)

Das Füllvolumen der Getränkebecher für den Außerhausverzehr variiert von etwa 80 bis 600 Millilitern. Die mittlere Füllgröße beträgt 227 Milliliter. Der Becher besteht aus bis zu drei Komponenten: Becher, Deckel und Manschette für Heißgetränke. Hinzu kommen Hilfen zum Umrühren, Tragen oder Strohhalm. (Kauertz et al. 2019)

7.3.2 Status bei Einweg- und Mehrweglösungen

Bei den **Einwegbechern** dominieren im Bereich der verwendeten Werkstoffe Karton mit Polyethylen-Beschichtung sowie Polystyrol (PS). Darüber hinaus gibt es auch Becher aus Karton mit Polylactid-Beschichtung sowie Kunststoffbecher aus expandiertem Polystyrol (EPS), Polypropylen (PP) oder Polylactid (PLA). Die Masse der Becher schwankt je nach Größe, Materialtyp und Ausführung (ein- oder doppelwandig) zwischen etwa 4,1 und 18,2 Gramm pro Becher. Der Kunststoffanteil der Kartonbecher beträgt ca. 4 bis 7 Prozent. Der Einwegdeckel ist zumeist aus Polystyrol und wiegt 3,2 Gramm. (Kauertz et al. 2019)

Der Verbrauch von Einweggetränkebechern für Heißgetränke wird für Deutschland auf ca. 2,8 Milliarden pro Jahr geschätzt. Die Gesamtmenge setzt sich aus ca. 1,66 Milliarden Kartonbechern und 1,14 Milliarden Kunststoffbechern zusammen. Von der Gesamtmenge werden ca. 1,1 bis 1,2 Milliarden Becher im To-go-Bereich verwendet. (Kauertz et al. 2019)

Bei den **Mehrwegbechern** für den To-go-Bereich lassen sich verschiedene Systeme unterscheiden:

- Private Mehrweggefäße (»bring your own«, BYO-System),
- anbieterspezifische Mehrwegbecher (i. d. R. inkl. einer Kaffeegutschrift) und
- Mehrwegbecher in einem Pool-System.

2015 hat die deutsche Umwelthilfe das Projekt »Sei eine Becherheldin!« gestartet (Deutsche Umwelthilfe e.V. 2015). Im Rahmen des Projekts wurde auch der Bedarf für Poolsysteme thematisiert. Als Reaktion darauf entstanden zunächst zahlreiche Angebote für private Mehrwegbecher vor allem als Werbebeschenke. Seit 2016 etablierten sich dann erste Poolsysteme in Deutschland (Pachaly 2021).

Die Einführung eines Poolsystems ist mit hohem Aufwand und großen Risiken verbunden, da dies erst dann attraktiv wird, wenn mit vielen Standorten eine hohe Flächenabdeckung erreicht wird. Folglich etablierten sich zunächst unternehmensspezifische oder kommunale Lösungen zumeist in Großstädten (Düsseldorf Becher (RP-Online 2017), FreiburgCup (FreiburgCup 2021), »Bleib deinem Becher treu« in Mannheim (Klimaschutzagentur Mannheim 2021); Back Cup im Kreis Höxter (Kreis Höxter - Fachbereich Umwelt, Bauen und Geoinformationen 2021). Diese Becher weisen noch eine hohe Materialvielfalt auf. So sind Becher aus Polylactid, Polypropylen mit einem Einwegdeckel aus Polystyrol oder solche aus Styrol-Acrylnitril-Copolymer mit einem Deckel aus TPE und einem Verschluss aus Polypropylen im Einsatz. Diese kommunalen Lösungen erschweren eine überregionale Verbreitung, die bspw. für Reisende, Berufspendler oder Berufskraftfahrer sinnvoll wäre.

Vor diesem Hintergrund ist die Ausweitung der überregionalen Poolsysteme, die ausschließlich auf Becher und Deckel aus Polypropylen setzen, eine wichtige Entwicklung zur dauerhaften Etablierung der Mehrwegsysteme. Die aktuell wichtigsten Systeme sind:

- RECUP (> 8900 Ausgabestellen) (ReCup 2021),
- FAIRCUP (> 3200 Ausgabestellen) (FairCup GmbH 2021),
- CUPFORCUP (> 1000 Ausgabestellen) (CUPFORCUP GmbH 2022) und
- VYTAL (k. A. zu den Ausgabestellen) (VYTAL Global GmbH 2022).

Die ersten drei Systeme setzten auf ein 1 €-Pfandsystem. Vytal nutzt stattdessen einen digitalen Ansatz. Wer einen solchen Becher verwendet, muss sich registrieren, und bei Nichtrückgabe nach 14 Tagen wird die Leihe in einen Kauf umgewandelt. ReCup erwägt dieses als »digital cashless« bezeichnete System parallel einzuführen (Pachaly 2021). Die Systeme finanzieren sich aus einer Systemgebühr je Standort. Ein weiteres System, das auf Polypropylen-Bechern basiert, ist der ÖkoCup (moBrands GmbH 2022). Dabei handelt es sich im Gegensatz zu den anderen um einen Kaufbecher, der vom Inverkehrbringer erworben werden muss. Das Pfand ist einheitlich auf 0,50 Euro festgelegt. Für die Rückgabe werden zudem Rücknahme-Automaten angeboten. Damit im Umgang mit Mehrwegbechern Hygienevorschriften beachtet werden, existieren Leitlinien, Merkblätter und Lehrvideos für Konsumentinnen und Konsumente sowie den Vertrieb, z. B. das Merkblatt für den Umgang mit mitgebrachten Coffee-to-go-Bechern vom Lebensmittelverband Deutschland (Lebensmittelverband Deutschland 2020).

Unter der Annahme, dass Einwegsysteme ausschließlich nur einmal verwendet werden und bislang ca. 6 Millionen Mehrwegbecher ausgegeben wurden, die durchschnittlich jährlich 15 Nutzungen erreichen (Pachaly 2021), ergibt sich für

die Mehrwegsysteme aktuell ein Nutzungsanteil von ca. 3,1 Prozent (Tabelle 21).

Tabelle 21: Vergleich der Verbreitung der Systeme (Kauertz et al. 2019)

System	Material	Nutzungen	Anteil an den Nutzungen
Einwegbecher	PS	1 140 000 000	39,4 %
	PPK+PE	1 660 000 000	57,4 %
Mehrwegbecher	Kunststoff	90 000 000	3,1 %

Die Mehrwegsysteme verzeichnen derzeit sowohl in Bezug auf die Zahl der Ausgabestellen, der ausgegebenen Becher als auch der Nutzungen deutliche Zuwachsraten. Daher kann erwartet werden, dass sich der Anteil an den Nutzungen in den nächsten Jahren deutlich vergrößern wird.

Einen weiteren Impuls für die Verbreitung der Mehrwegsysteme könnte eine gezielte Abgabe auf die Einwegsysteme bewirken. Verhaltensökonomische Analysen zeigen das hohe Potenzial von Preiserhöhungen auf Einwegbecher. Sie waren sogar deutlich wirkungsvoller als Rabatte auf Mehrwegbecher. Ein Effekt der als Verlustaversion bezeichnet wird. (Poortinga und Whitaker 2018)

7.3.3 Zirkularität, Performance und Nachhaltigkeit

In Kapitel 6 dieser Studie wurden verschiedene Kategorien inklusive Indikatoren zur Bewertung von Verpackungssystemen vorgeschlagen. Die Indikatoren wurden für verschiedene Verpackungssysteme berechnet, grafisch dargestellt und anwendungsübergreifend verglichen. Im Folgenden werden die wichtigsten Aspekte zu Mehrwegbechern nochmals zusammengestellt. Abbildung 42 gibt ein vergleichendes Gesamtprofil von Mehrweg- und Einwegbechern anhand der untersuchten Kategorien wieder.

Zirkularität

Die **Umlaufzahl** von Mehrwegbechern ist derzeit bereits hoch. Das größte Potenzial liegt hier in der höheren Marktdurchdringung von Mehrweglösungen und damit Erhöhung der Poolflexibilität und Intensivierung in der Wiederverwendung.

Bereits ab 5 Nutzungen erreicht die **Materialeffizienz** von Mehrwegbechern die der konkurrierenden Einwegbecher. Die in der Praxis erreichbaren Umlaufzahlen sind noch unbekannt. Grundsätzlich wird der Materialverbrauch pro Nutzung und Liter Füllgut aber höher sein als bei anderen Mehrweganwendungen, da der Schutz vor Hitze und die notwendige Stabilität höhere Anforderungen an den Becher stellen.

Im Bereich der Ausgabestellen wurde für Mehrwegbecher eine **Rücklaufquote** von 90 Prozent bestimmt. Zu erwarten ist, dass sich diese Rücklaufquote in

ähnlicher Höhe auch für den gesamten Pool ergibt, da im professionellen Bereich üblicherweise weniger Verluste als im B2C-Bereich auftreten. Bei einer weiteren Verbreitung der Mehrwegbecher kann angenommen werden, dass die Rücklaufquote steigt, da Sondereffekte wie bspw. das Bechersammeln in Privathaushalten dann eine geringere Bedeutung haben dürften. Da große Mengen der Einwegbecher für den Außer-Haus-Verzehr verwendet werden, ist davon auszugehen, dass sie über öffentliche Mülleimer vor allem dem Restmüll zugeführt werden. Dieser Materialstrom steht in der Regel nicht für die Kreislaufwirtschaft zur Verfügung.

Eine **Reparierbarkeit** ist aus heutiger Sicht irrelevant und wurde daher mit neutral bewertet.

Die prinzipielle **Rezyklierbarkeit** der Coffee-to-go-Mehrwegbecher ist sehr gut. In der Praxis sind fast ausschließlich Becher aus PP-Monomaterial zu finden, welches sich sehr gut mechanisch rezyklieren lässt. Alle Teilschritte des Recyclings dieser Materialien zählen zum Stand der Technik, womit auch die praktische Rezyklierbarkeit als sehr gut anzusehen ist.

Die **Recyclingquote** der Mehrwegbecher wird allgemein als sehr hoch (> 90 Prozent) angenommen, da sie aus einem hochwertigen Monomaterial bestehen. Becher aus Poolsystemen gelangen fast ausschließlich ins Recycling am Ende ihrer Nutzungsdauer.

In der Literatur werden keine Angaben zum **Rezyklatanteil** in den C2G-Mehrwegbechern gemacht. Nach Angabe aus einem Experteninterview beträgt er weniger als 10 Prozent. Die Regeln für den Rezyklateinsatz beim Lebensmittelkontakt, insbesondere bei der Verwendung der Kunststoffprodukte für Heißgetränke, stehen einem höheren Rezyklateinsatz entgegen.

Durch die Befandung der Mehrwegbecher sind **Kunststoffemissionen** durch Littering eher nicht zu erwarten. Allerdings dürften Becher bspw. bei Veranstaltungen gelegentlich zerstört werden und in der Umwelt verbleiben. Unbefandete Einwegbecher sind ein typischer Fund bei Clean-Ups und stellen ein ernsthaftes Umweltproblem dar.

Performance

Die **Modularität** wird in dieser Studie insbesondere für Transportverpackungen als Bewertungskriterium herangezogen. Da Coffee-to-go Becher Produktverpackungen darstellen, ist deren Indikatorwert hier mit neutral, im Sinne von irrelevant, angenommen.

Die **Volumenreduzierbarkeit** ist bei Mehrwegbechern durch ihre Nestbarkeit gegeben. Das genaue Maß ist durch deren Design begrenzt (z. B. die Höhe des Becherrands).

Aufgrund der höheren Stabilität von Mehrwegbechern werden eine geringere Bruchquote und damit ein besserer **Produktschutz** und Schutz der Anwenderinnen und Anwender erwartet. Aufgrund der derzeit noch nicht verfügbaren Daten wurde die Bruchquote als eher gut bewertet.

Bei Mehrwegbechern fallen durch höhere Umlaufzahlen die Kosten für optische Codes oder passive Funktechnik kaum ins Gewicht, sodass sie eine hohe **Digitalisierbarkeit** aufweisen. Gleichzeitig ist der Mehrwegbecher ein besonders interessantes Objekt in der direkten Interaktion mit dem Konsumenten. Zum Beispiel können zukünftige Veranstaltungen beworben oder Informationen zu den Inhaltsstoffen der Getränke gegeben werden.

Auch wenn durch die derzeit veröffentlichten Studien nicht belegbar, wird vermutet, dass bei Coffee-to-go-Bechern die der Nutzung vor- und nachgelagerter **Transportentfernungen** im Vergleich zum Einsatzgebiet ebenfalls vernachlässigbar ist. Des Weiteren ist bei diesem B2C-Demonstrator das Einsatzgebiet lokal, und somit sind geringe Entfernungen während der Nutzung erforderlich. Eine Bewertung erfolgte aufgrund fehlender Daten jedoch nicht.

Nachhaltigkeit

Auch wenn die untersuchten Studien sehr unterschiedliche Rahmenbedingungen setzen, zeigen die Mehrwegbecher hinsichtlich der **Treibhausgasemissionen** im Median ein etwas besseres Ergebnis als die Einwegbecher. Besonders durch eine adäquate Rücknahmelogistik, eigenverantwortliches Konsumentenverhalten, Spülvorgänge und andere Prozesse, die durch Ökostrom betrieben werden, sowie den Verzicht auf Einwegdeckel weisen Kunststoffmehrwegbecher in dieser Kategorie Vorteile auf.

Im Mittel sind die Einwegbecher hingegen in der Kategorie des **kumulierten Energieaufwands** etwas besser als Mehrwegbecher. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass dies u. a. an den geringeren Volumina der Mehrwegbecher im Vergleich zu den Einwegbechern liegen könnte. Es ist zu prüfen, ob Mehrwegbecher mit gleichem Volumen hier ggf. besser abschneiden.

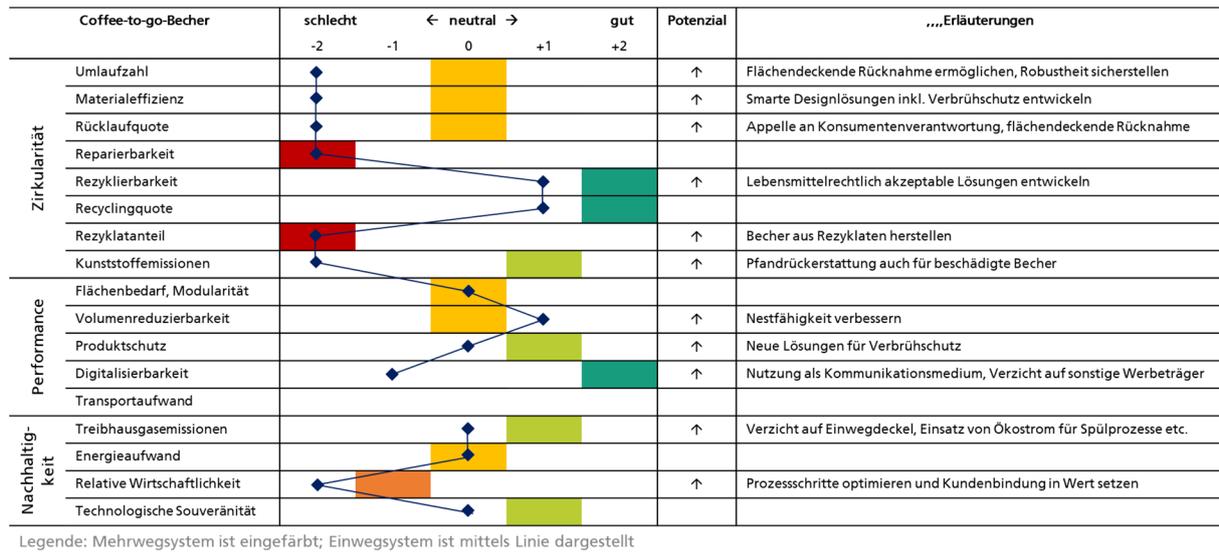
Die **relative Wirtschaftlichkeit**³⁸ der Mehrwegbecher ist noch weitgehend unbekannt. Insbesondere fehlen Informationen zu Ort und Art der Reinigung sowie zu ggf. erforderlichem zusätzlichem Personaleinsatz bei den ausgebenden Stellen. Dennoch ist zu erwarten, dass die Becher etwas niedrigere Kosten pro Nutzung aufweisen als die konkurrierenden Einwegbecher.

Aufgrund einer derzeit noch hohen Schwundquote und dem notwendigen Aufbau der Systeme ist die **technologische Souveränität** niedriger als bei anderen Mehrwegsystemen. Dies sollte sich aber mit zunehmender Verbreitung weiter verbessern. Einwegbecher aus Papier oder Karton weisen ebenfalls eine recht gute technologische Souveränität auf, da der Importanteil bei Papier eher

³⁸ Zur spezifischen Definition der relativen Wirtschaftlichkeit in dieser Studie siehe Abschnitt 6.3.3.

gering ist. Bei einer Kunststoffbeschichtung oder einem Becher ganz aus Kunststoff, ist die technologische Souveränität deutlich niedriger.

Abbildung 42: Übersicht für Coffee-to-go-Becher



7.3.4 Optimierungspotenziale

Der Coffee-to-go-Mehrwegbecher hat im Vergleich zum Einwegbecher einige Entwicklungspotenziale. Die wesentlichen Treiber liegen hier bei entsprechend hoher Umlaufzahl in einer optimierten Nutzungsphase unter Einbezug der Konsumenten, da diese – anders als bei den anderen zwei untersuchten Demonstratoren – wichtige Akteure im Kreislauf sind. Mittels Einführung einer flächendeckenden und dezentralen Rücknahme- und Spüllogistik sowie dem Appell an ein eigenverantwortliches Konsumentenverhalten könnten Umlaufzahlen und Rücklaufquote gesteigert werden.

Ein starkes Argument zugunsten des Mehrwegbechers wäre, wenn dieser zusätzlich noch aus Rezyklat bestehen würde. Hier sind lebensmittelrechtlich akzeptable Lösungen zu entwickeln.

Zu erwarten ist, dass bepfandete Mehrwegbecher kaum gelittert werden. Sie könnten aber darüber hinaus auch als wertvolle Informationsplattform gegen das Littering genutzt werden. Beschädigte Becher sollten gegen Pfanderstattung zurückgenommen werden.

Die Nestfähigkeit sollte optimiert werden, sodass keine Nachteile in Bezug auf den Lagerflächenbedarf bestehen. Die Tatsache, dass bei Mehrwegbechern ein höherer Materialeinsatz bei gleichzeitig niedriger Materialintensität durch hohe Umlaufzahlen möglich ist, sollte zur Verbesserung beim Trinkkomfort und Verbrühschutz genutzt werden.

Als B2C-Verpackung bietet der Becher eine ideale Grundlage für die Kommunikation an und mit dem Kunden. Es kann über Rückgabestellen informiert werden, aber der Becher kann auch gekoppelt mit Smartphone und App als Werbeträger fungieren und andere Werbemedien substituieren. Auch weitere Anwendungen sind denkbar, wie bspw. das Monitoring des Trinkverhaltens etc.

Zur Ausweitung der Vorteile bei Treibhausgasemissionen sollten Mehrwegbecher konsequent auf Einwegdeckel verzichten. Der kumulierte Energieaufwand sollte durch Effizienzsteigerungen bei den Reinigungsprozessen sowie einem reduzierten Materialeinsatz verringert werden.

Die Wirtschaftlichkeit kann durch effiziente Logistik und Reinigungsprozesse sichergestellt werden. Darüber hinaus kann durch Mehrwegbecher aber auch die Kundenbindung verbessert werden, dies könnte im Rahmen weiterer Untersuchungen bewertet werden.

8 Weitere Kategorien ohne Bewertungen

Weitere Kategorien, die untersucht wurden, jedoch letztlich nicht in die finale Auswertung mit einbezogen wurden, sind nachfolgend aufgeführt. Sie haben sich entweder als irrelevant herausgestellt (Werkstoffkritikalität und Kritische Additive) oder die Datengrundlage ließ keine genaue Auswertung zu (Ressourcenverarmung).

8.1 Werkstoffkritikalität

Rohstoffrisiken können kurz- bis langfristig zu Versorgungs- und Preisrisiken im Serienprozess bei der Herstellung von Produkten führen. Darüber hinaus werden die Produkthersteller in Bezug auf die ökologischen und sozial-gesellschaftlichen Auswirkungen der Rohstoffgewinnung und -aufbereitung verstärkt in die Verantwortung genommen. Aus der Verwendung von Rohstoffen, die in dieser Hinsicht als kritisch zu bewerten sind, können daher Absatz- und Imagerisiken entstehen. Die Identifikation von Rohstoffrisiken ist daher für eine nachhaltige Produktentwicklung ein wichtiger Aspekt.

Der Begriff Rohstoffkritikalität beschreibt Risiken der Rohstoffversorgung. Bei deren Analyse wird die Versorgungssituation von Rohstoffen anhand geologischer, strukturell-technischer, geopolitischer, ökonomischer, ökologischer sowie sozial-gesellschaftlicher Kriterien überprüft (Kranich et al. 2019).

Bewertungsmaßstab/Indikator

Die Methode der Kritikalitätsbewertung basiert auf der Analyse von Versorgungsrisiko und Anfälligkeit (Vulnerabilität) von Volkswirtschaften, Branchen oder Unternehmen gegenüber Versorgungsengpässen. Vor wenigen Jahren wurde eine solche Bewertung in der VDI 4800, Blatt 2 (VDI-Richtlinie), erstmalig in einer Norm beschrieben. Darin werden insgesamt 16 Kriterien des Versorgungsrisikos definiert, die folgenden drei Hauptkategorien zuzuordnen sind: geologischen und strukturell-technischen, geopolitischen und regulatorischen sowie ökonomischen Sachverhalten der Rohstoffversorgung. Geologische Rohstoffrisiken beziehen sich auf die Verfügbarkeit noch nicht abgebauter Rohstoffmengen und deren Reichweite, ausgehend von gegenwärtigen Produktionskennzahlen. Ein Beispiel für strukturelle Faktoren ist die Rohstoffgewinnung als Koppelprodukt, bei der die Förderung von der Wirtschaftlichkeit des Hauptprodukts bestimmt wird. Geopolitische und regulatorische Risiken ergeben sich beispielsweise durch Länderkonzentration der Rohstoffvorkommen oder -produktion sowie Rahmenbedingungen wie nicht-tarifäre Handelshemmnisse. Ökonomische Kriterien bewerten die Angebots- und Nachfragesituation. Zu ihnen gehören außerdem die Preisvolatilität von Rohstoffen sowie die Bewertung der Anpassungsfähigkeit durch Substitution des Rohstoffs.

Die Vulnerabilität bezieht sich nach der VDI 4800, Blatt 2 (VDI-Richtlinie), gezielt auf ein Unternehmen und nicht z. B. auf eine Volkswirtschaft oder eine

Branche. Indikatoren zu deren Bewertung sind beispielsweise der risikobehaftete Anteil eines Rohstoffs am Deckungsbeitrag, der anteilige Einkaufswert eines Rohstoffs am gesamten Rohstoffeinkauf und der Rohstoffwert für die Produktfunktion.

Im Rahmen der Betrachtungen in dieser Studie wird die Vulnerabilität nicht betrachtet, sondern allein auf das Versorgungsrisiko fokussiert.

Materialien, die zu betrachten sind

Die betrachteten Demonstratorprodukte (Mehrwegtransportkisten und -steigen, Mehrwegkaffeebecher und Mehrwegpflanzentrays) werden in der Regel aus den Kunststoffen Polyethylen (PE) oder Polypropylen (PP) hergestellt. Es handelt sich bei beiden um thermoplastische Polyolefine. Deren Grundbausteine, Ethylen und Propylen werden zum weit überwiegenden Teil (>99 Prozent) aus fossilen Rohstoffen hergestellt. Dabei überwiegt Rohöl, Erdgas besitzt einen geringen Anteil, vor allem in den USA zur Herstellung von Polyethylen. In geringen Mengen, insgesamt weniger als 400 000 t/a, bei einer Gesamtmenge der PE- und PP-Produktion von etwa 200 Mio t/a, sind biobasierte PE- und PP-Typen auf dem Markt erhältlich. Aufgrund dieser Mengenverhältnisse beschränkt sich die Betrachtung der Kritikalität auf die fossil basierten Polymere.

Die Herstellung fossil basierter Kunststoffe in der EU weist eine hohe Abhängigkeit vom Import von Erdöl als Rohstoff auf (84,9 Prozent im Jahr 2011) (Bilici, N., Pehlivanli, R., & Ashirkhanova, K. 2017). Demnach ist die Importabhängigkeit hoch, aber aufgrund einer Vielzahl von Importländern derzeit nicht kritisch zu bewerten. Die Nachfrage nach Rohöl für die Kunststoffproduktion und die Energieversorgung steigt weltweit in den kommenden Jahren, bei einem moderaten Anstieg des Verbrauchs dürfte die Versorgung aber weiter zu gewährleisten sein (Gaedicke et al. 2020). Selbst wenn bei Erdöl mittelfristig (in 20 bis 30 Jahren) die Versorgungslage kritisch werden sollte, könnte die Kunststoffproduktion auf andere Quellen ausweichen. Polyethylen kann ebenso kostengünstig wie aus leichten Erdölfraktionen aus dem Flüssigbegleitgas der Erdgasförderung erzeugt werden. Ethylen und Propylen lassen sich überdies aus dem chemischen Zwischenprodukt Methanol erzeugen. Letzteres wird heute überwiegend aus Erdgas erzeugt, seine Herstellung aus der noch in großen Mengen verfügbaren Kohle oder auch aus nicht-endlichen Quellen wie Biomasse oder Kohlendioxid und regenerativem Wasserstoff bietet aber weitere, aus Sicht der Rohstoffversorgung unkritische Alternativen. Verstärkte Anstrengungen zur Reduktion von Klimagasemissionen können allerdings in Zukunft zu Änderungen der Preise fossiler Rohstoffe führen und somit die Ökonomie der Versorgung verändern.

Polyethylen- und Polypropylenrohstoffe müssen für ihre Verarbeitung und um eine lange Haltbarkeit zu gewährleisten mit stabilisierenden Additiven versehen werden. Die dafür eingesetzten primären und sekundären Antioxidantien sowie Lichtschutzmittel basieren ebenfalls zum größten Teil auf petrochemischen Ausgangsstoffen. Neben dem Basiselement Kohlenstoff enthalten sie Phosphor und Stickstoff. Letzterer wird für organische Synthesen über das Haber-Bosch-Verfahren als Ammoniak aus Luftstickstoff und Wasserstoff gewonnen und

steht - eine ausreichende Energieversorgung für diese endotherme Hochdruckreaktion vorausgesetzt - somit in nicht begrenzter Menge zur Verfügung. Quelle für den Phosphoreinsatz in der organischen Chemie sind Phosphaterze. Diese werden aktuell von der Deutschen Rohstoffagentur (Al Barazi et al. 2021) in der Risikogruppe 2, mittleres Risiko, in Bezug auf die Versorgungssicherheit eingestuft (Al Barazi et al. 2021). Bei der Beurteilung des Risikos der Versorgung der Herstellung von Spezialchemikalien mit Phosphor ist aber zu berücksichtigen, dass das weitaus überwiegende Einsatzgebiet von Phosphor die Düngemittelindustrie mit 82 Prozent der weltweit abgebauten Phosphate ist (Killisches 2013). Außerdem nutzen neben der Chemie auch die Getränke- und Lebensmittelindustrie sowie die Futtermittelindustrie phosphorhaltige Basischemikalien. In der chemischen Industrie wiederum geht der Einsatz von Phosphaten in Wasch- und Reinigungsmitteln seit Jahren stetig zurück. Daher gehen wir davon aus, dass für die anteilig sehr geringe Versorgung der Spezialchemie der Kunststoffadditive mit Phosphor in den kommenden Jahrzehnten ebenfalls keine grundsätzlichen Versorgungsrisiken bestehen. Auch hier kann es aber zu Preissteigerungen kommen, was der Begrenztheit der Ressource Phosphaterz geschuldet ist.

Fazit: Die im Rahmen dieser Studie durchgeführte Analyse erbrachte keine signifikanten Ergebnisse zur Kritikalität der betrachteten Mehrwegkunststoffverpackungen. Wir kommen zu dem Schluss, dass die Kategorie der Rohstoff- oder der Werkstoffkritikalität in der Analyse der Demonstratoren nicht weiter betrachtet wird.

8.2 Kritische Additive

Viele Kunststoffprodukte enthalten Zusatzstoffe, die ihre physikalisch-mechanischen Eigenschaften verändern, z. B. Flammschutzmittel, Weichmacher oder Stabilisatoren. Zu den verwendeten Additiven gehörten früher Chemikalien, die heute als »besonders besorgniserregende Stoffe« (*SVHC, Substances of Very High Concern, eine Liste kritischer Chemikalien gemäß der Europäischen Chemikalienagentur, ECHA*) nach der REACH-Verordnung verstanden werden (EG 1907/2006), oder sogar als »persistente organische Schadstoffe« (*POP, Persistent Organic Pollutants, gemäß dem Stockholmer Übereinkommen der Vereinten Nationen*) eingestuft sind (UNEP). Beispiele für derartige Chemikalien (Elemente, Verbindungen oder Gruppen von chemischen Verbindungen) sind u. a. organische halogenhaltige Verbindungen wie DDT, polychlorierte Biphenyle (PCB), Dioxine, bromhaltige Flammschutzmittel und polyfluorierte Tenside. Aber auch einige Phthalatester, die in manchen Kunststoffen als Weichmacher eingesetzt werden, bleihaltige Pigmente, einfache Aromaten wie Benzol und Toluol oder polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) gehören dazu.

Für die Einstufung als SVHC muss ein Stoff zumindest den Kriterien des Artikels 57 der REACH-Verordnung (EG 1907/2006) entsprechen:

- karzinogen nach Artikel 57a (*Einstufung in die Gefahrenklasse Karzinogenität der Kategorie 1A oder 1B nach CLP*);

- mutagen nach Artikel 57b (*Einstufung in die Gefahrenklasse Keimzellmutagenität der Kategorie 1A oder 1B nach CLP*);
- reproduktionstoxisch nach Artikel 57c (*Einstufung in die Gefahrenklasse Reproduktionstoxizität der Kategorie 1A oder 1B nach CLP*);
- persistent, bioakkumulativ und toxisch nach Artikel 57d gemäß den Kriterien im Anhang XIII der REACH-Verordnung (PBT-Stoffe);
- sehr persistent und sehr bioakkumulativ nach Artikel 57e gemäß den Kriterien im Anhang XIII der REACH-Verordnung (vPvB-Stoffe);
- es liegt ein wissenschaftlicher Beweis für wahrscheinliche ernsthafte Effekte auf die menschliche Gesundheit oder die Umwelt vor, zum Beispiel Neurotoxische Stoffe und Endokrine Disruptoren; solche Stoffe werden fallweise nach Artikel 57f beurteilt.

Diesen Kriterien folgend wurden bis Februar 2020 54 Stoffe oder Stoffgruppen als SVHC eingestuft und in die Liste der zulassungspflichtigen Stoffe in Anhang XIV der REACH-Verordnung aufgenommen. Eine Reihe weiterer Stoffe/Stoffgruppen, 52 an der Zahl, unter ihnen die POP aus dem Stockholmer Übereinkommen, unterlagen bereits bei Erscheinen der REACH-Verordnung Beschränkungen und sind in deren Anhang XVII gelistet (EG 1907/2006).

Bewertungsmaßstab/Indikator

Betrachtet wird, inwieweit kritische Additive in den entsprechenden Demonstratorprodukten (Mehrwegtransportkisten und -steigen, Mehrwegkaffeebecher und Mehrwegpflanzentrays) enthalten sein können. Diese werden in der Regel aus den Kunststoffen Polyethylen (HDPE) oder Polypropylen (PP) hergestellt. Bei den Transportkisten und Bechern handelt es sich um Produkte, die mit Lebensmitteln in Kontakt kommen. Sie unterliegen daher den Regelungen der EFSA (European Food Safety Authority) für Stoffe mit Lebensmittelkontakt. Nur die in Europa zugelassenen, in der jeweils aktuellen Fassung der Verordnung EU 10/2011 (EU 10/2011) gelisteten rund 600 Stoffe dürfen als Zusatzstoffe und Polymerherstellungshilfsmittel für Kunststoffe verwendet werden.

Bei Kunststoffen wird das Basispolymer meist in Form einer Rezeptur (Compound) mit verschiedenen Additiven verarbeitet. Dabei handelt es sich um Stoffe, die zur Verbesserung der Verarbeitung, der Funktionalität und der Alterungseigenschaften des Polymers hinzugefügt werden. Kunststoffadditive lassen sich im Wesentlichen in die folgenden 4 Kategorien einteilen (Hansen et al. 2013):

- Funktionelle Zusatzstoffe (Stabilisatoren, Antistatika, Flammenschutzmittel, Weichmacher, Schmiermittel, Gleitmittel, Härtungsmittel, Treibmittel, Biozide usw.)
- Farbstoffe (Pigmente, lösliche Farbstoffe usw.)
- Füllstoffe (Glimmer, Talkum, Kaolin, Ton, Kreide, Bariumsulfat etc.)
- Verstärkungsmittel (v. a. Glasfasern, Kohlefasern).

Polyethylen- und Polypropylenrohstoffe müssen für ihre Verarbeitung und, um eine lange Haltbarkeit zu gewährleisten, mit stabilisierenden Additiven verse-

hen werden. Dafür werden primäre und sekundäre Antioxidantien sowie Lichtschutzmittel eingesetzt (Wegmann et al. 2016). Des Weiteren enthalten diese Polyolefine je nach Anwendung auch Verarbeitungshilfsmittel wie Gleit- und Schmiermittel, beispielsweise in Schraubverschlüssen (Gall et al. 2020). Mineralische Füllstoffe, vor allem Talkum oder Kreide dienen der Erhöhung der mechanischen Stabilität und sie verringern den Preis der Compounds, da es sich um preiswerte mineralische Zusätze handelt (Knerr und Hersche 2016). Eine Übersicht über die wichtigsten funktionellen Additive in Kunststoffen hat die ECHA zusammen mit Kunststoffherstellern zusammengetragen und stellt diese im Internet zur Verfügung (<https://echa.europa.eu/de/mapping-exercise-plastic-additives-initiative>).

In PE und PP eingesetzte potenziell schädliche Additive aus der Übersicht über giftige Substanzen in Kunststoffen in (Hansen et al. 2014):

- Triclosan (Biozid, auf Norwegischer Prioritätsliste) aber: keine Lebensmittelzulassung und Angabe: "exposure of consumers from plastics is assumed negligible"
- bleihaltige Pigmente
- Malachitgrün Hydrochlorid, Malachitgrün Oxalate (Farbstoff)
- C.I. Disperse Yellow 3 und C.I. Solvent Yellow 14 (gelbe Farbstoffe)
- PAHs aus schwarzen Farbstoffen
- UV-Stabilisatoren, Antioxidantien und andere Stabilisatoren: wegen niedriger Konzentrationen (0,1 - 1,0 Prozent) nur geringes Expositionsrisiko für Verbraucher

In anderen Polymeren als den für die hier betrachteten Beispielen relevanten PE, PP und PS, vor allem dem Polyvinylchlorid PVC sowie in Gummimischungen wurden früher toxische Additive wie Phthalate, bromierte Flammschutzmittel, Bisphenol-A und dessen Ester, Blei-, Zinn- und Cadmiumverbindungen, Formaldehyd, Acetaldehyd, Nonylphenolverbindungen, MTBE (Methyl-tert.-butylether) oder Benzol zugesetzt. All diese Stoffe oder Stoffklassen wurden und werden in den thermoplastischen Materialien (PE, PP, PS) für Becher, Mehrwegtransportkisten und Pflanzentrays üblicherweise nicht eingesetzt.

Diese Polyolefine benötigen keine Weichmacher, da ihre Basispolymere bereits zu flexiblen Materialien führen - anders als bei dem in Reinform sehr spröden und harten PVC; blei-, zinn- oder cadmiumhaltige Stabilisatoren wie in PVC sind nicht notwendig, da keine aggressive Salzsäure bei der Verarbeitung entstehen kann, und Flammschutz ist in den Anwendungen nicht üblich. Neben kritischen Inhaltsstoffen in PVC-Rezyklaten aus dem Baubereich (Fußböden, Fensterprofile) finden sich heute auch noch insbesondere Flammschutzmittel als kritische Inhaltsstoffe in Kunststoffen vieler Elektro- und Elektronikartikel (Wagner und Schlummer 2020). Bei den Mehrweggetränkebechern, die aus duromeren Harzen (Melaminharz) bestehen, sind Gefahren durch die Bildung von Formaldehyd zu beachten.

Es sind Untersuchungen beschrieben, siehe z. B. die Übersicht in (Hahladakis et al. 2018), in denen die Migration der üblicherweise in PP und HDPE verwendete-

ten Antioxidantien, Lichtstabilisatoren und Verarbeitungshilfsmittel in Lebensmittel oder Lebensmittelsimulanzien beobachtet wurde. Die Autoren betonen aber, dass bei Einhaltung der rechtlichen Anforderungen, welche die Sicherheit von Kunststoffmaterialien mit Lebensmittelkontakt gewährleisten, von diesen Materialien auch im Recycling keine Gefahren ausgehen.

Fazit: Die im Rahmen dieser Studie durchgeführten Betrachtungen ergeben den Schluss, dass in den Mehrwegkunststoffverpackungen keine kritischen, im Sinne von stark umweltgefährdenden, Additive enthalten sind, wenn sich die Materialhersteller an die in der EU geltenden Vorschriften des Chemikalienrechts halten. Daraus folgend wird die Kategorie »Kritische Additive« in der Analyse der Demonstratoren nicht weiter betrachtet.

8.3 Ressourcenverarmung

Natürliche Ressourcen, biotische und abiotische, sind für die ökologische und sozioökonomische Bewertung von grundlegender Bedeutung (Crenna et al. 2018). Die Auswirkungen auf die globalen Ressourcenverarmungen werden jedoch meist durch die Bewertung der Nutzung abiotischer Ressourcen, wie fossile Brennstoffe, Mineralien, Metalle oder Wasser gemessen. Der Wert der abiotischen Ressourcenverarmung eines Stoffs (z. B. Braunkohle oder Steinkohle) ist ein Maß für seine Ressourcenerschöpfung und wird hauptsächlich als Bewertungsmaßstab über die Ökobilanzierung (LCA) gemessen. Die Ressourcenerschöpfung hängt von der Menge und Knappheit der genutzten Ressourcen sowie der Entnahmerate innerhalb des Lebenszyklus eines Produkts und damit von den Einschränkungen der Ressourcenverfügbarkeit für heutige und zukünftige Generationen ab (Hauschild et al. 2013).

In der Regel wird die abiotische Ressourcenverarmung durch Charakterisierungsfaktoren gebildet, welche die Menge und Knappheit der genutzten Ressourcen in Antimonäquivalente [Sb-Äq.] bemessen. Andere Indikatoren berechnen den Mineralienverbrauch in Eisen- oder Öläquivalenten [kg Fe-Äq. oder kg Öl-Äq.] oder der monetären Ressourcenverfügbarkeit [\$]. Die Charakterisierungsfaktoren für die Erschöpfung abiotischer Ressourcen sind anfällig für zeitliche Veränderungen in der Produktion und die global verfügbaren Reserven.

Der Abbau abiotischer Ressourcen ist eine der am häufigsten diskutierten Wirkungskategorien in Ökobilanzen. Es existiert eine Vielzahl von Methoden zur Berechnung dieser Wirkungskategorie (van Oers und Guinée 2016). Die verschiedenen Methoden spiegeln Unterschiede in der Problemdefinition innerhalb einer Ökobilanz wider. Jedoch ist die Debatte über die Charakterisierung von erschöpfungsbedingten Wirkungskategorien in der Ökobilanz nicht abgeschlossen (Guinée und Lindeijer 2008; Klinglmair et al. 2014; Stotz et al. 2017). Weitere Ökobilanzindikatoren, wie der »global resource indicator« (Adibi et al. 2017), charakterisieren den Ressourcenverbrauch im Sinne der Kreislaufwirtschaft. Dieser Indikator berücksichtigt erstmals die Wiederverwertbarkeit und Kritikalität des Ressourcenverbrauchs in einem multikriteriellen Indikator, der Knappheitsaspekte ergänzt. Dieser Ansatz wurde jedoch in der aktuellen Litera-

tur zu Verpackungssystemen nicht gefunden, könnte aber in zukünftigen Studien verwendet werden, um Recycling und Kritikalität bei der Bewertung des Ressourcenverbrauchs besser zu berücksichtigen. In diesem Bericht wurden hauptsächlich Studien ausgewertet, welche die Ressourcenverarmung in Antimonäquivalenten angeben. Die Ressourcenverarmung wird ebenfalls in Bezug zum Einwegsystem bestimmt, da für die absoluten Zahlen verschiedener Systeme keine einheitlichen Grenzwerte festzulegen sind. Jedoch werden nur Zahlen in Bezug zueinander gesetzt, die auf der gleichen Einheit basieren, z. B. Sb-Äq./funktionelle Einheit.

Fazit: Die Ressourcenbeanspruchung als Umweltwirkungskategorie wird als wenig belastbar angesehen. Obwohl die Umweltwirkungskategorie vom Joint Research Center und der EC empfohlen wird, wird dieser Kategorie das Robustheitslevel III zugewiesen, d. h., dass die Kategorie empfohlen wird, aber ihre Anwendung und Interpretation sehr unsicher sind. Aufgrund der Tatsache, dass hier in nur wenigen Studien die Ressourcenverarmung untersucht wurde, und dies teils auf Basis unterschiedlicher Methoden, konnte diese Kategorie aufgrund der unzureichenden Datengrundlage nicht ausgewertet werden.

9 Anhang

9.1 Berechnung zum Vergleich beim Primärenergieaufwand

Im Folgenden wird der Rechengang für die Ermittlung des Verhältnisses der Primärenergieaufwände für Mehrweg- zu Einwegsystemen dargestellt. Die Darstellung der Ergebnisse findet sich in Abbildung 7, Kapitel 4.4, sowie in Tabelle 22, weiter unten in diesem Abschnitt.

Die Berechnung berücksichtigt für Einwegsysteme ein vollständiges Recycling zuzüglich der Reinigung der Granulate; bei Mehrwegsystemen werden Herstellung (umgelegt auf Umlaufzahlen), Reparatur und Reinigung mit einbezogen. Für die Reparatur wurde eine Bruchquote von 1 Prozent angenommen und hinsichtlich des Ersatzes von Bauteilen 50 Prozent. Letzterer äußert sich in einem zusätzlichen Spritzgießaufwand. Der Reinigungsaufwand wird massenbezogen berechnet. Etwaige Mehraufwände bei der Granulatreinigung aufgrund der höheren Oberfläche zulasten der Einwegsysteme wurden nicht berücksichtigt.

$$PEA_{EW} = PEA_{EW,SP} + PEA_{EW,REC} + PEA_{EW,CLE} + PEA_{EW,TR}$$

$$PEA_{EW} = m_{EW} * (PEF_{Strom}EV_{SP} + PEF_{Strom}EV_{REC} + PEF_{Gas}EV_{CLE}) + s_{EW} * PEF_{Diesel}(EV_{leer} + EV_{Ladung} * m_{EW})$$

$$PEA_{MW} = PEA_{MW,SP} + PEA_{MW,REP} + PEA_{MW,CLE} + PEA_{MW,TR}$$

$$PEA_{MW} = m_{MW} * \left(\frac{PEF_{Strom}EV_{Sp}(1 + RQ * RA) + PEF_{Strom}EV_{Rec}}{UZ} + PEF_{Strom}EV_{Clean} \right) + s_{MW} * (EV_{leer} + EV_{Ladung} * m_{MW})$$

$$m_{MW} = MV * m_{MW}$$

$$s_{MW} = SV * s_{EW}$$

Mit den Berechnungsgrößen:

<i>EV</i>	Energieverbrauch für Spritzgießen (hier: 2,7 kWh/kg), Recycling (hier: 1,0 kWh/kg), Reinigung (hier: 0,11 kWh/kg), Leertransport (hier: 2,9 kWh/km), Ladungstransport (hier: 0,09 kWh/tkm)
<i>m</i>	Masse der Verpackung, Basiswert für Einweg: 1000 kg pro 25 Tonnen Ladung
<i>MV</i>	Massenverhältnis für Mehrweg/Einweg (hier: variiert zu 2 und 5)
<i>PEA</i>	Primärenergieaufwand
<i>PEF</i>	Primärenergiefaktor für Strom, Gas, Diesel

<i>RQ</i>	Reparaturquote (hier: 1 Prozent)
<i>RA</i>	Reparaturanteil (hier: 50 Prozent)
<i>s</i>	Strecke, Basiswert: 750 km
<i>SV</i>	Streckenverhältnis Mehrweg/Einweg (hier: variiert zu 0,5, 1 und 2)
<i>UZ</i>	Umlaufzahl (variiert hier von 1 bis 100)

Mit Indizes:

<i>CLE</i>	Reinigung	<i>REP</i>	Reparatur
<i>EW</i>	Einweg	<i>SP</i>	Spritzgießen
<i>MW</i>	Mehrweg	<i>TR</i>	Transport
<i>REC</i>	Recycling		

Berechnungsergebnis: $PEA_{EW} = 6\,432 \text{ kWh}$

Tabelle 22: Berechnungsergebnisse für das Verhältnis PEA_{MW} / PEA_{EW} in Abhängigkeit der variierten Parameter Umlaufzahl, Massenverhältnis und Streckenverhältnis

<i>UZ</i>	<i>MV</i> = 2,0 <i>SV</i> = 0,5	<i>MV</i> = 2,0 <i>SV</i> = 1,0	<i>MV</i> = 2,0 <i>SV</i> = 2,0	<i>MV</i> = 5,0 <i>SV</i> = 0,5	<i>MV</i> = 5,0 <i>SV</i> = 1,0	<i>MV</i> = 5,0 <i>SV</i> = 2,0
1	1,39	1,60	2,00	3,18	3,38	3,79
2	0,82	1,02	1,43	1,73	1,94	2,34
3	0,62	0,83	1,23	1,25	1,46	1,86
4	0,53	0,73	1,14	1,01	1,21	1,62
5	0,47	0,67	1,08	0,87	1,07	1,48
10	0,35	0,56	0,96	0,58	0,78	1,19
15	0,32	0,52	0,93	0,48	0,69	1,09
20	0,30	0,50	0,91	0,43	0,64	1,05
25	0,28	0,49	0,90	0,40	0,61	1,02
30	0,28	0,48	0,89	0,39	0,59	1,00
35	0,27	0,47	0,88	0,37	0,58	0,98
40	0,27	0,47	0,88	0,36	0,57	0,97
45	0,26	0,47	0,88	0,35	0,56	0,96
50	0,26	0,46	0,87	0,35	0,55	0,96
55	0,26	0,46	0,87	0,34	0,55	0,95
60	0,26	0,46	0,87	0,34	0,54	0,95
65	0,26	0,46	0,87	0,33	0,54	0,95
70	0,25	0,46	0,87	0,33	0,53	0,94

<i>UZ</i>	<i>MV = 2,0</i> <i>SV = 0,5</i>	<i>MV = 2,0</i> <i>SV = 1,0</i>	<i>MV = 2,0</i> <i>SV = 2,0</i>	<i>MV = 5,0</i> <i>SV = 0,5</i>	<i>MV = 5,0</i> <i>SV = 1,0</i>	<i>MV = 5,0</i> <i>SV = 2,0</i>
75	0,25	0,46	0,86	0,33	0,53	0,94
80	0,25	0,46	0,86	0,33	0,53	0,94
85	0,25	0,46	0,86	0,32	0,53	0,93
90	0,25	0,45	0,86	0,32	0,53	0,93
95	0,25	0,45	0,86	0,32	0,52	0,93
100	0,25	0,45	0,86	0,32	0,52	0,93

9.2 Durchgeführte Experteninterviews

Neben der Literaturanalyse sind viele Informationen in dieser Studie auch im Rahmen von Experteninterviews zusammengetragen worden und wurden an der jeweiligen Stelle im Text hervorgehoben. Nachfolgende Interviews wurden geführt:

Obst- und Gemüsesteigen:

- Bekuplast: Andreas Robbert
- IFCO: Bodo Muske
- Schoeller Group: Richard Kellerer
- WBG Pooling: Klaus Endebrock, Ann-Kathrin Herzog, Gerit Hofemeister

Pflanzentrays

- Fraunhofer IML: Wolfgang Lammers
- Schoeller Allibert: Patrick Breukers
- Stiftung Initiative Mehrweg: Günter Gerland, Jens Oldenburg

Coffee-to-go-Becher:

- reCup: Florian Pachaly

Spritzgießen von Mehrwegsystemen:

- Haidlmaier: Mario Haidlmaier

Wir danken an dieser Stelle nochmals allen interviewten Personen für ihr Mitwirken.

9.3 Limitationen der Studie

9.3.1 Bewertung der Datenqualität

Auf Basis von Expertisen

Wir unterscheiden zwischen der Meinung externer Fachleute und der Selbsteinschätzung der eigenen Expertise der Autoren, sofern diese in die Bearbeitung eingeflossen ist. Die Bewertung findet mit einer einzigen Zahl zwischen 1 und 4 statt und wird mit nachfolgender Nomenklatur durchgeführt (Tabelle 23):

Tabelle 23: Pedigree Matrix zur Bewertung von Expertisen

Punkte	1	2	3	4
Stufe	Formale Expertise	Strukturierte Expertenmeinung	Expertenmeinung	Fundierte Vermutung
Bewertung der Expertise	Vollständig über den Untersuchungsgegenstand informiert; Angaben vor dem Hintergrund von (empirischen) Datenerhebungen	Basierend auf einigen empirischen Daten oder auf nachvollziehbarer Prozedur mit formalen Expertisen	Informiert über den Untersuchungsgegenstand, aber ohne entsprechende Datengrundlage	Basierend auf spekulativen oder nicht verifizierbaren Annahmen

Es wird unterschieden zwischen der Bewertung der Datenqualität aus der Befragung externer Fachleute, gekennzeichnet als [X], und der Selbsteinschätzung eigener Expertise, sofern diese eingeflossen ist: [X]*.

Auf Basis von Literatur- und Internetquellen sowie Datenbanken

Literatur und Internetquellen werden mittels einer 5 x 4-Matrix bewertet. Im Ergebnis zeigt sich ein Quintupel aus 5 Zahlen zwischen 1 und 4.

[v, w, x, y, z]: Bewertung der Datenqualität aus Literatur- und Internetquellen

Eine einzelne Quelle, aus der mehrere Werte entnommen wurden, kann in Bezug auf die Qualität unterschiedlicher Daten auch unterschiedlich bewertet werden.

Tabelle 24: Pedigree-Matrix zur Bewertung von Literatur- und Internetquellen

Punkte	1	2	3	4
Kategorie/Stufe	Sehr gut	Eher Gut	Eher schlecht	schlecht
Vollständigkeit	Gegenstand der Untersuchung ist identisch	Gegenstand der Untersuchung ist ähnlich oder entspricht zum Teil dem Untersuchungsgegenstand	Gegenstand ist vergleichbar aber unterschiedlich	Gegenstand ist nur sehr vage mit dem Untersuchungsgegenstand vergleichbar
Materielle und/oder geometrische Repräsentativität	Untersuchte Werkstoffe oder Produkte sind denen in der Studie identisch	Untersuchte Werkstoffe oder Produkte sind denen in der Studie ähnlich	Untersuchte Werkstoffe oder Produkte sind mit denen in der Studie vergleichbar	Untersuchte Werkstoffe oder Produkte sind mit denen in der Studie nur vage vergleichbar
Geografische Repräsentativität	Deutschland	Sozioökonomisch und/oder klimatisch ähnliche Region (z. B. Mitteleuropa)	Sozioökonomisch und/oder klimatisch unterschiedlich (EU, USA)	Sozioökonomisch sehr unterschiedlich (z. B. Welt, China) oder keine Randbedingungen spezifiziert
Zeitliche Repräsentativität	< 5 Jahre	5 bis 10 Jahre	> 10 bis 15 Jahre	> 15 Jahre oder keine Angaben zum zeitlichen Bezug
Zuverlässigkeit der Quelle	Alle relevanten Daten und Berechnungswege sind nachvollziehbar und korrekt; offizielle Berichte, peer-reviewed Publikationen	Berechnungsweg ist vereinfacht, aber korrekt oder Ausgangsdaten teilweise ungenau, Markt- und Technologieberichte von Verbänden	Berechnungsweg ist stark vereinfacht oder nicht ganz korrekt, Ausgangsdaten (zum Teil nur grob) geschätzt	Berechnungsweg ist grob vereinfacht, fehlerhaft und schwer nachvollziehbar

9.3.2 Vergleichbarkeit von Ökobilanzstudien

Die Werte für die Umweltwirkungskategorien – Treibhausgasemissionen und kumulativer Energieaufwand - wurden aus der Literatur entnommen, die sich ausschließlich auf die Standards ISO 14040-Serie beruft. Diese Standards beschreiben die Grundsätze und die Leitlinien für eine Ökobilanz (ISO 14040:2006; ISO 14044:2006). Bei der Wirkungsabschätzung werden die Emissions- und Verbrauchsdaten einer Aktivität oder über einen Produktlebenszyklus in Form von Umweltwirkungskategorien zusammengestellt. Dennoch sind in den einzelnen Studien unterschiedliche Berechnungsgrundlagen und Randbedingungen sowie Annahmen zu finden. Das Ergebnis einer Umweltwirkungskategorie von Verpackungssystemen ist signifikant abhängig von den Annahmen. Beispiele hierfür sind unter anderem Annahmen zu den Umlaufzahlen oder Transportentfernungen, aber auch Rezyklateinsatz und Schätzungen zu Materialverlusten sowie Rücklaufquoten. Wie unterschiedlich diese Annahmen in den einzelnen Studien zum Teil sind, wurde bereits in den jeweiligen Performance- und Zirkularitätskategorien adressiert. Daher sind die Ergebnisse der THG-Emissionen und des KEAs für die untersuchten Varianten immer mit den jeweilig angenommenen Werten

der Performance- und Zirkularitätskategorien zu betrachten. Um Ergebnisse der Umweltwirkungskategorien unterschiedlicher Quellen für Einweg- und Mehrwegsysteme in dieser Metaanalyse vergleichen zu können, muss die Konsistenz der Ergebnisse und Berechnungsgrundlage gewährleistet sein, beispielsweise in Bezug auf die Hintergrunddaten und die Systemgrenzen. Eine Konsistenz der Studien ist nicht vollständig gegeben, daher kann dies zu Unsicherheiten in der Dateninterpretation abseits der bereits notierten Datenqualität aus Literatur- und Internetquellen mittels Pedigree-Matrix führen. Auf mögliche Unsicherheiten und Probleme bei der Vergleichbarkeit von Ökobilanzergebnissen verschiedener Studien untereinander weisen beispielsweise Roßmann et al. (2021) oder Weidema (2019) hin.

Neben unterschiedlichen Randbedingungen und Annahmen nutzen die untersuchten Studien teils verschiedene Modellierungs- und Berechnungsgrundlagen. In den meisten Fällen werden die Ergebnisse im sogenannten Substitutionsansatz angegeben. Das bedeutet, dass für sekundäre Ressourcen und Energiegewinne am Lebensende Gutschriften für vermiedene Emissionen vergeben werden, wenn durch deren Bereitstellung primäre Ressourcen und Energien ersetzt werden können. Beispiele sind, wenn durch die Bereitstellung von Wärme und Strom bei der Verbrennung von Abfall Primärenergie ersetzt wird. Grundsätzlich ist dies gängige Praxis in Ökobilanzen – wenn auch die Verwendung von Gutschriften zum Teil kritisiert wird (Brander und Wylie 2011). Gerade beim Vergleich zwischen Kunststoff- und Papierverpackungen kann der Einfluss auf das Ergebnis durch die Berücksichtigung oder Nichtberücksichtigung von Gutschriften am Lebensende zu unterschiedlichen Aussagen führen.

Aus den genannten Gründen wird zumeist davon abgeraten, Einzelergebnisse aus unterschiedlichen Studien zu vergleichen, aufgrund mangelnder Konsistenz (Weidema 2019). Für die vorliegende Metaanalyse war dies aber teils erforderlich. Der hier präsentierte Vergleich von Einweg- und Mehrwegsystemen auf Basis der Umweltwirkung anhand der Daten verschiedener Studien spiegelt daher eine erste Abschätzung wider und ist durch die Abhängigkeit von den getroffenen Annahmen und Randbedingungen mit Unsicherheiten behaftet. Im Rahmen dieser Studie wurde versucht, eine Vergleichsgrundlage herzustellen, indem die Ergebnisse der betrachteten Veröffentlichungen auf eine funktionsgleiche Referenzeinheit, 1000 Liter verpacktes Gut, umgerechnet wurden. Im Detail müssten einzelne Systeme, z. B. für unterschiedliche Packgüter, mit belastbaren Annahmen separat untersucht werden, um eine tatsächliche Vorteilhaftigkeit von Mehrweg oder Einweg auszuweisen.

9.4 Tabellarische Daten zu den untersuchten Kategorien

9.4.1 Umlaufzahl

Tabelle 25: Umlaufzahlen und Lebensdauer bei Obst- und Gemüsesteigen

System	Umlaufzahl	Lebensdauer	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Einweg	1	Nutzungszyklus	per Definition	
Mehrweg	1-150		(ADEME 2000)	[1,1,2,4,1]
Mehrweg	50-100	10	(Albrecht et al. 2009)	[1,1,1,3,1]
Mehrweg	200	20	(Levi et al. 2011)	[1,1,1,3,1]
Mehrweg	50 – 200	20	(Albrecht et al. 2013)	[1,1,1,3,1]
Mehrweg	30 – 70		(Accorsi et al. 2014)	[1,1,2,2,2]
Mehrweg	700	13,75	(Koskela et al. 2014)	[2,1,2,2,1]
Mehrweg	20 – 200		(Battini et al. 2016)	[1,1,2,2,2]
Mehrweg	23,4 – 72,9		(Franklin Associates 2016)	[1,1,3,2,1]
Mehrweg	100	10	(Baruffaldi et al. 2019)	[1,1,2,2,2]
Mehrweg	100 – 150	10	(Abejón et al. 2020)	[1,1,2,2,1]
Mehrweg		7	(Accorsi et al. 2020)	[1,1,2,2,1]
Mehrweg	150	1,5	(Antala et al. 2020)	[3,3,4,1,3]
Mehrweg	50	5	(Del Borghi et al. 2020)	[1,1,2,3,2]
Mehrweg	150		(López-Gálvez et al. 2021)	[1,1,2,1,1]
Mehrweg	1 - 125		(Tua et al. 2019)	[1,1,2,1,1]
Mehrweg	50		(Hofmeister et al. 2021)	[1]
Mehrweg	250		(Haidlmair 2021)	[1]
Mehrweg	50 – 100	7-10	(Muske 2021)	[1]
Mehrweg		10-15	(Kellerer 2021)	[1]
Mehrweg	100 – 200	5-20	(Robbert 2021)	[1]

Tabelle 26: Umlaufzahlen und Lebensdauer bei Pflanzentrays

System	Umlaufzahl	Lebensdauer	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Einweg	1	Nutzungszyklus	per Definition	
Mehrweg	70		(van Paassen und Scholten 2020)	[1,1,1,1,1]
Mehrweg	100 – 200		(Breukers 2021)	[1]
Mehrweg		> 5 Jahre ³⁹	(HAWITA Technoplant 2021)	[1,1,1,1,4]

Tabelle 27: Umlaufzahlen und Lebensdauer bei Coffee-to-go-Bechern

System	Umlaufzahl	Lebensdauer	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Einweg	1	Nutzungszyklus	per Definition	
Mehrweg	15 / Jahr	> 5 Jahre ⁴⁰	(Pachaly 2021)	[1]

9.4.2 Materialeffizienz

Tabelle 28: Materialintensität bei Obst- und Gemüsesteigen

System	Spezifikation	mittl. Masse [g]	Nutzungen/ Umlaufzahl	Füllgutvolumen [L]	Materialintensität [g/(L x Service)]	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Mehrweg	PP	1400	5	22,3	12,56	UMSICHT	[1]*
Mehrweg	PP	1650	5	29,8	11,07	UMSICHT	[1]*
Mehrweg	PP	1859	5	36,9	10,08	UMSICHT	[1]*
Mehrweg	PP	2050	5	44,2	9,28	UMSICHT	[1]*
Mehrweg	PP	1400	50	22,3	1,26	UMSICHT	[1]*
Mehrweg	PP	1650	50	29,8	1,11	UMSICHT	[1]*
Mehrweg	PP	1859	50	36,9	1,01	UMSICHT	[1]*
Mehrweg	PP	2050	50	44,2	0,93	UMSICHT	[1]*
Mehrweg	PP	1400	125	22,3	0,50	UMSICHT	[1]*
Mehrweg	PP	1650	125	29,8	0,44	UMSICHT	[1]*

³⁹ 5 Jahre Produktgarantie

⁴⁰ Die heutigen Becher sind frühestens seit Mai 2017 im Umlauf.

System	Spezifikation	mittl. Masse [g]	Nutzungen/ Umlaufzahl	Füllgutvolumen [L]	Materialintensität [g/(L x Service)]	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Mehrweg	PP	1859	125	36,9	0,40	UMSICHT	[1]*
Mehrweg	PP	2050	125	44,2	0,37	UMSICHT	[1]*
Einweg	Karton	420	1	22,3	18,8	UMSICHT	[1]*
Einweg	Karton	490	1	29,8	16,4	UMSICHT	[1]*
Einweg	Karton	550	1	36,9	14,9	UMSICHT	[1]*
Einweg	Karton	620	1	44,2	14,0	UMSICHT	[1]*

Tabelle 29: Materialintensität bei Pflanzentrays

System	Spezifikation	mittl. Masse [g]	Nutzungen/ Umlaufzahl	Füllgutvolumen [L]	Materialintensität [g/(L x Service)]	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Einweg	PS	135 (8 Töpfe)	1	0,75 ⁽¹⁾	22,5	(Dobers und Lam-mers 2017; Pöppelmann 2021)	[1,1,1,1,1], [3]*, [1,1,1,1,1]
Mehrweg	HDPE	400 (10 Töpfe) ⁽²⁾	5	0,75 ⁽¹⁾	10,67	(Dobers und Lam-mers 2017; Pöppelmann 2021)	[1,1,1,1,1], [3]* [1,1,1,1,1]
Mehrweg	HDPE	400 (10 Töpfe) ⁽²⁾	50	0,75 ⁽¹⁾	1,07	(Dobers und Lam-mers 2017; Pöppelmann 2021)	[1,1,1,1,1], [3]* [1,1,1,1,1]
Mehrweg	HDPE	400 (10 Töpfe) ⁽²⁾	125	0,75 ⁽¹⁾	0,43	(Dobers und Lam-mers 2017; Pöppelmann 2021)	[1,1,1,1,1], [3]* [1,1,1,1,1]

(1) Das Volumen entspricht dem mittleren Volumen von 12 bis 13 cm Töpfen

(2) Die Traygröße und Topfzahl berücksichtigen eine identische Auslastung pro Fläche.

Tabelle 30: Materialintensität bei Coffee-to-go-Bechern

System	Spezifikation	mittl. Masse [g]	Nutzungen/ Umlaufzahl	Füllgutvolumen [L]	Materialintensität [g/(L x Service)]	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Einweg	Papier/PE	8,3	1	0,30	27,7	(Martin et al. 2018)	[1,1,1,1,2]
Einweg Automatenbecher	PS	4,1	1	0,18	22,8	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Pappe/PE	7,8	1	0,20	39,0	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Pappe doppelwandig/PE	12,0	1	0,20	60,0	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Pappe/PE	10,7	1	0,30	35,7	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Pappe doppelwandig/PE	18,2	1	0,30	60,7	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]
Mehrweg	Keramik	310	750	0,30	1,4	(Martin et al. 2018)	[1,1,1,1,3]
Mehrweg	PP	41	100	0,40	1,0	(Pachaly 2021)	[1]
Mehrweg	PP	33	5	0,30	22,00	(Pachaly 2021)	[1]
Mehrweg	PP	33	50	0,30	2,20	(Pachaly 2021)	[1]
Mehrweg	PP	33	125	0,30	0,88	(Pachaly 2021)	[1]

9.4.3 Rückläufe und Materialverluste

Tabelle 31: Rücklaufquoten bei Obst- und Gemüsesteigen

System	Spezifikation	Rücklaufquote	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Mehrweg	PP	>99 %	(Muske 2021)	[2]
Einweg	Karton	86 %	(Schüler 2020)	[3,1,1,1,3]

Tabelle 32: Rücklaufquoten bei Pflanzentrays

System	Spezifikation	Rücklaufquote	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Einweg	PS	55 %	(Normpack 2021)	[3,1,1,1,4]
Mehrweg	HDPE	>95 %	(Oldenburg 2021)	[2]

Tabelle 33: Rücklaufquoten bei Coffee-to-go-Bechern

System	Spezifikation	Rücklaufquote	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Einweg	PS, PPK	53 %	(Kauertz et al. 2019); Fraunhofer UMSICHT	[1,1,1,1,1] [4]*
Mehrweg	PP	90 %	(Pachaly 2021)	[2]

9.4.4 Reparierbarkeit

Tabelle 34: Reparierbarkeit und resultierende Indikatorwerte bei Obst- und Gemüsesteigen

System	Indikatorwert	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Einweg	-2	Fraunhofer IML	[1]*
Mehrweg	-1	(Kellerer 2021)	[1]
Mehrweg	-1	(Robbert 2021)	[1]
Mehrweg	+2	Hofemeister (WBG Pooling) 2021	[1]
Mehrweg	+2	(Muske 2021)	[1]

Tabelle 35: Reparierbarkeit und resultierende Indikatorwerte bei Pflanzentrays

System	Indikatorwert	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Mehrweg	0	Fraunhofer IML	[1]*
Einweg	0	Fraunhofer IML	[1]*

Tabelle 36: Reparierbarkeit und resultierende Indikatorwerte bei Coffee-to-go-Bechern

System	Indikatorwert	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Mehrweg	0	Fraunhofer IML	[1]*
Einweg	0	Fraunhofer IML	[1]*

9.4.5 Rezyklierbarkeit

Tabelle 37: Materialien und daraus abgeleitete Indikatorwerte (IW) für Prinzipielle Rezyklierbarkeit (PriRe) und Praktische Rezyklierbarkeit (PraRe) bei Obst- und Gemüsesteigen

System	Material	IW PriRe	IW PraRe	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Einweg	Karton	+2	+2	(Burger et al. 2021)	[1,1,1,1,1]
Mehrweg	PP / HDPE	+2	+2	(Abejón et al. 2020)	[1,1,2,2,1]
Mehrweg	PP	+2	+2	(Accorsi et al. 2014)	[1,1,2,2,2]
Mehrweg	PP	+2	+2	(ADEME 2000)	[1,1,2,4,1]
Mehrweg	PP / HDPE	+2	+2	(Albrecht et al. 2009)	[1,1,1,3,1]
Mehrweg	PP / HDPE	+2	+2	(Del Borghi et al. 2020)	[1,1,2,3,2]
Mehrweg	PP	+2	+2	(Franklin Associates 2016)	[1,1,3,2,1]
Mehrweg	PP	+2	+2	(Gruyters et al. 2019)	[1,1,2,1,1]
Mehrweg	HDPE	+2	+2	(Koskela et al. 2014)	[2,1,2,2,1]
Mehrweg	PP / HDPE	+2	+2	(Krieg et al. 2018)	[1,1,1,1,2]
Mehrweg	PP	+2	+2	(Levi et al. 2011)	[1,1,1,3,1]
Mehrweg	PP	+2	+2	(Lo-lacono-Ferreira et al. 2021)	[1,1,1,1,1]
Mehrweg	PP	+2	+2	(López-Gálvez et al. 2021)	[1,1,2,1,1]
Mehrweg	PP	+2	+2	(Singh et al. 2006)	[1,1,3,3,1]
Mehrweg	PP	+2	+2	(Tua et al. 2019)	[1,1,2,1,1]
Mehrweg	PP / HDPE	+2	+2	(Hofmeister et al. 2021)	[3]
Mehrweg	PP / HDPE (PA, PET)	+2	+2	(Haidlmair 2021)	[2]
Mehrweg	PP	+2	+2	(Muske 2021)	[3]
Mehrweg	PP	+2	+2	(Kellerer 2021)	[1]
Mehrweg	PP / HDPE	+2	+2	(Robbert 2021)	[1]

Tabelle 38: Materialien und daraus abgeleitete Indikatorwerte (IW) für Prinzipielle Rezyklierbarkeit (PriRe) und Praktische Rezyklierbarkeit (PraRe) bei Pflantentrays

System	Material	IW PriRe	IW PraRe	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Einweg	PS	+2	+1	(van Paassen und Scholten 2020)	[1,1,1,1,1]
Mehrweg	HDPE	+2	+2	(van Paassen und Scholten 2020)	[1,1,1,1,1]

System	Material	IW PriRe	IW PraRe	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Mehrweg	PP	+2	+2	(van Paassen und Scholten 2020)	[1,1,1,1,1]
Mehrweg	PP / HDPE	+2	+2	(Breukers 2021)	[1]

Tabelle 39: Materialien und daraus abgeleitete Indikatorwerte (IW) für Prinzipielle Rezyklierbarkeit (PriRe) und Praktische Rezyklierbarkeit (PraRe) bei Coffee-to-go-Bechern

System	Material	IW PriRe	IW PraRe	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Einweg	PP, PET	+2	+2	(Cottafava et al. 2021)	[1,1,2,1,1]
Einweg	PLA	+2	0	(Cottafava et al. 2021)	[1,1,2,1,1]
Einweg	Pappe/PE	+2	-2 ⁴¹	(Cottafava et al. 2021)	[1,1,2,1,1]
Mehrweg	PP, PET	+2	+2	(Cottafava et al. 2021)	[1,1,2,1,1]
Mehrweg	PLA	+2	0	(Cottafava et al. 2021)	[1,1,2,1,1]
Einweg	Pappe/PE	+2	+2	(Foteinis 2020)	[1,1,2,1,1]
Mehrweg	PP	+2	+2	(Foteinis 2020)	[1,1,2,1,1]
Einweg	PP	+2	+2	(Garrido und Del Alvarez Castillo 2007)	[1,1,2,3,1]
Mehrweg	PP	+2	+2	(Garrido und Del Alvarez Castillo 2007)	[1,1,2,3,1]
Mehrweg	PP	+2	+2	(Pachaly 2021)	[1]

9.4.6 Recyclingquote

Tabelle 40: Materialien und Recyclingquote (RQ) sowie abgeleitete Indikatorwerte (IW) bei O/G-Steigen

System	Material	RQ (%)	IW RQ	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Einweg	Karton	89	+2	(Burger et al. 2021), Tabelle 84	[1,1,1,1,1]
Mehrweg	PP / HDPE	70	+1	(Abejón et al. 2020)	[1,1,2,2,1]
Mehrweg	PP	80	+1	(Accorsi et al. 2014)	[1,1,2,2,2]
Mehrweg	PP	20	-2	(ADEME 2000)	[1,1,2,4,1]
Mehrweg	PP / HDPE	70	+1	(Albrecht et al. 2009)	[1,1,1,3,1]
Mehrweg	PP / HDPE	93	+2	(Del Borghi et al. 2020)	[1,1,2,3,2]
Mehrweg	PP	100	+2	(Franklin Associates 2016)	[1,1,3,2,1]
Mehrweg	HDPE	20	-2	(Koskela et al. 2014)	[2,1,2,2,1]
Mehrweg	PP / HDPE	77,5	+1	(Krieg et al. 2018)	[1,1,1,1,2]

⁴¹ Angabe in der Literaturquelle: PE-beschichteter Karton wird verbrannt

System	Material	RQ (%)	IW RQ	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Mehrweg	PP	95	+2	(Levi et al. 2011)	[1,1,1,3,1]
Mehrweg	PP	55	0	(Lo-Iacono-Ferreira et al. 2021)	[1,1,1,1,1]
Mehrweg	PP	79	+1	(López-Gálvez et al. 2021)	[1,1,2,1,1]
Mehrweg	PP	100	+2	(Singh et al. 2006)	[1,1,3,3,1]
Mehrweg	PP	100	+2	(Tua et al. 2019)	[1,1,2,1,1]
Mehrweg	PP / HDPE	100	+2	Herzog (WBG Pooling) 2021	[1]
Mehrweg	PP	100	+2	(Muske 2021)	[1]
Mehrweg	PP	100	+2	(Kellerer 2021)	[1]
Mehrweg	PP / HDPE	100	+2	(Robbert 2021)	[1]

Tabelle 41: Materialien und Recyclingquote (RQ) sowie abgeleitete Indikatorwerte (IW) bei Pflanzentrays

System	Material	RQ (%)	IW RQ	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Einweg	PS	51,5	0	(Burger et al. 2021), Tabelle 84	[1,1,1,1,1]
Mehrweg	PP / HDPE	100	+2	(Breukers 2021)	[1]

Tabelle 42: Materialien und Recyclingquote (RQ) sowie abgeleitete Indikatorwerte (IW) bei C2G-Bechern

System	Material	RQ (%)	IW RQ	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Einweg	PP, PET	85	+1	(Cottafava et al. 2021)	[1,1,2,1,1]
Einweg	PLA	0	-2	(Cottafava et al. 2021)	[1,1,2,1,1]
Einweg	Pappe/PE	0	-2	(Cottafava et al. 2021)	[1,1,2,1,1]
Mehrweg	PP, PET	85	+1	(Cottafava et al. 2021)	[1,1,2,1,1]
Mehrweg	PLA	0	-2	(Cottafava et al. 2021)	[1,1,2,1,1]
Einweg	Pappe/PE	0	-2	(Foteinis 2020)	[1,1,2,1,1]
Einweg	Pappe/PE	100	+2	(Foteinis 2020)	[1,1,2,1,1]
Einweg	PP	7	-2	(Garrido und Del Alvarez Castillo 2007)	[1,1,2,3,1]
Mehrweg	PP	100	+2	(Pachaly 2021)	[1]

9.4.7 Rezyklatanteil

Tabelle 43: Materialien und Rezyklatanteile (RA) sowie abgeleitete Indikatorwerte (IW) bei O/G-Steigen

System	Material	RA (%)	IW RA	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Einweg	Karton	83	+2	Ecoinvent-Datenbank; Datensatz »corrugated board, mixed fibre, double wall, at plant«	[1,1,1,1,1]
Mehrweg	PP / HDPE	30	0	(Abejón et al. 2020)	[1,1,2,2,1]
Mehrweg	PP	0	-2	(ADEME 2000)	[1,1,2,4,1]
Mehrweg	PP / HDPE	70	+2	(Albrecht et al. 2009)	[1,1,1,3,1]
Mehrweg	HDPE	0	-2	(Koskela et al. 2014)	[2,1,2,2,1]
Mehrweg	PP / HDPE	10	-2	(Krieg et al. 2018)	[1,1,1,1,2]
Mehrweg	PP	0	-2	(Levi et al. 2011)	[1,1,1,3,1]
Mehrweg	PP	0	-2	(Lo-lacono-Ferreira et al. 2021)	[1,1,1,1,1]
Mehrweg	PP	0	-2	(López-Gálvez et al. 2021)	[1,1,2,1,1]
Mehrweg	PP	0	-2	(Singh et al. 2006)	[1,1,3,3,1]
Mehrweg	PP	61	+1	(Tua et al. 2019)	[1,1,2,1,1]
Mehrweg	PP / HDPE	0	-2	(Hofmeister et al. 2021)	[3]
Mehrweg	PP / HDPE (PA, PET)	45	+1	(Haidlmair 2021)	[2]
Mehrweg	PP	>30	0	(Muske 2021)	[3]
Mehrweg	PP / HDPE	35	0	(Robbert 2021)	[1]

Tabelle 44: Materialien und Rezyklatanteile (RA) sowie abgeleitete Indikatorwerte (IW) bei Pflanzentrays

System	Material	RA (%)	IW RA	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Einweg	PS	0	-2	(van Paassen und Scholten 2020)	[1,1,1,1,1]
Mehrweg	HDPE	0	-2	(van Paassen und Scholten 2020)	[1,1,1,1,1]
Mehrweg	PP	100	+2	(van Paassen und Scholten 2020)	[1,1,1,1,1]
Mehrweg	PP / HDPE	100	+2	(Breukers 2021)	[1]

Tabelle 45: Materialien und Rezyklatanteile (RA) sowie abgeleitete Indikatorwerte (IW) bei C2G-Bechern

System	Material	RA (%)	IW RA	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Einweg	Pappe/PE	0	-2	(Cottafava et al. 2021)	[1,1,2,1,1]
Einweg	PP	0	-2	(Garrido und Del Alvarez Castillo 2007)	[1,1,2,3,1]
Mehrweg	PP	0	-2	(Garrido und Del Alvarez Castillo 2007)	[1,1,2,3,1]
Mehrweg	PP	<10	-2	(Pachaly 2021)	[1]

9.4.8 Flächenbedarf und Modularität

Tabelle 46: Modularität und resultierende Indikatorwerte bei Obst- und Gemüsesteigen

System	Indikatorwert	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Mehrweg	2	(Kellerer 2021)	[1]
Mehrweg	2	Dobers (Fraunhofer IML)	[1]*
Einweg	-1 oder +1	Dobers (Fraunhofer IML)	[1]*

Tabelle 47: Modularität und resultierende Indikatorwerte bei Pflanzentrays

System	Indikatorwert	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Mehrweg	0	(Breukers 2021)	[1]
Mehrweg	+1	(Oldenburg 2021)	[1]
Einweg	-1	Dobers (Fraunhofer IML)	[1]*

Tabelle 48: Modularität und resultierende Indikatorwerte bei Coffee-to-go-Bechern

System	Indikatorwert	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Mehrweg	0	Dobers (Fraunhofer IML)	[1]*
Einweg	0	Dobers (Fraunhofer IML)	[1]*

9.4.9 Volumenreduzierbarkeit

Die Angaben (a) bis (c) beziehen sich auf die drei zuvor genannten Stellen des Nutzungszyklus, an denen die Volumenreduktion stattfindet:

- (a) falt-/klappbarkeit
- (b) Nestbarkeit
- (c) Komprimierbarkeit in der Entsorgungsphase

Tabelle 49: Volumenreduzierbarkeit und resultierende Indikatorwerte bei Obst- und Gemüsesteigen

System	Volumenreduktionsfaktor	Indikatorwert	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Mehrweg (a), (c)	3,4-7,9 ⁴²	0 ... +1	(Euro Pool System 2021b)	[1,1,1,1,1]
Mehrweg (a), (c)	3,1-8,5 ⁴²	0 ... +1	(IFCO 2021)	[1,1,1,1,1]
Einweg (a)	8 ⁴³	+1	Dobers (Fraunhofer IML)	[4]*
Einweg (c)	10	+2	Fraunhofer UMSICHT	[1]*

Tabelle 50: Volumenreduzierbarkeit und resultierende Indikatorwerte bei Pflanzentrays

System	Volumenreduktionsfaktor	Indikatorwert	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Mehrweg (b),(c)	2,6	-1	Dobers (Fraunhofer IML)	[4]*
Einweg (b)	6	+1	Dobers (Fraunhofer IML)	[4]*
Einweg (c)	4-10	0 ... +2	Dobers (Fraunhofer IML)	[4]*

Tabelle 51: Volumenreduzierbarkeit und resultierende Indikatorwerte bei Coffee-to-go-Bechern

System	Volumenreduktionsfaktor	Indikatorwert	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Mehrweg (b),(c)	5,4	0	Dobers (Fraunhofer IML)	[4]*
Einweg (b)	11	+2	Dobers (Fraunhofer IML)	[4]*
Einweg (c)	7	+1	Fraunhofer UMSICHT	[1]*

⁴² Die Bandbreite ergibt sich durch die unterschiedliche Höhe der aufgeklappten Steigen, bei gleicher Höhe im zusammengeklappten Zustand. Für den Vergleich mit einer Einweg-Bananenkiste ist der größere Wert zu wählen.

⁴³ Der Wert bezieht sich auf die neue Kartonage der noch nicht verklebten Bananenkiste.

9.4.10 Produktschutz

Tabelle 52: Bruchquote mit resultierenden Indikatorwerten bei Obst- und Gemüsesteigen

System	Bruchquote	Indikatorwert	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Einweg	4 %	-2	(Lange et al. 2013)	[1,1,1,2,2]
Einweg	4 %	-2	(Euro Pool System 2021c)	[1,1,1,1,3]
Mehrweg	0,1 %	+1	(Lange et al. 2013)	[1,1,1,2,2]
Mehrweg	0,53 %	0	(Krieg et al. 2018)	[1,1,1,1,3]
Mehrweg	0,1 %	+1	(Euro Pool System 2021c)	[1,1,1,1,3]

Tabelle 53: Bruchquote mit resultierenden Indikatorwerten bei Pflanzentrays

System	Bruchquote	Indikatorwert	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Einweg	k. A.	+2	Dobers (Fraunhofer IML)	[4]*
Mehrweg	k. A.	0	Dobers (Fraunhofer IML)	[4]*

Tabelle 54: Bruchquote mit resultierenden Indikatorwerten bei Coffee-to-go-Bechern

System	Bruchquote	Indikatorwert	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Einweg	k. A.	0	Dobers (Fraunhofer IML)	[4]*
Mehrweg	k. A.	+1	Dobers (Fraunhofer IML)	[4]*

9.4.11 Digitalisierbarkeit

Tabelle 55: Kostenanteil für Digitalisierung von Steigen (Annahme Transponder 10 ct/Stück); Quellenangabe und Pedigree-Einstufung beziehen sich auf den Marktpreis

System	Umlaufzahl	Marktpreis [€/Stck]	Kostenanteil Digitalisierung [%]	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Einweg	1	0,90	11 %	(Wertpack 2021)	[1,1,1,1,1]
Mehrweg	5	7,00	0,3 %	a) (Robbert 2021)	a) [1]
Mehrweg	50	7,00	0,03 %	b) (Boxfabrik 2021)	b) [1,1,1,1,1]
Mehrweg	125	7,00	0,003 %		

Tabelle 56: Kostenanteil für Digitalisierung von Pflanzentrays (Annahme Transponder 10 ct/Stück); Quellenangabe und Pedigree-Einstufung beziehen sich auf den Marktpreis

System	Nutzung / Umläufe	Marktpreis [€/Stck]	Kostenanteil Digitalisierung [%]	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Einweg	1	0,25	29 %	(Oldenburg 2021)	[1]
Mehrweg	5	2,00	1 %	(Oldenburg 2021)	[2]
Mehrweg	50	2,00	0,1 %		
Mehrweg	125	2,00	0,01 %		

Tabelle 57: Kostenanteil für Digitalisierung von Coffee-to-go-Becher (Annahme Transponder 10 ct/Stück); Quellenangabe und Pedigree-Einstufung beziehen sich auf den Marktpreis

System	Nutzung / Umläufe	Marktpreis [€/Stck]	Kostenanteil Digitalisierung [%]	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Einweg	1	0,136	42 %	(Metro 2021)	[1,1,1,1,1]
Einweg	1	0,026	79 %		
Mehrweg	5	0,55	3 %	(Schorm 2021)	[1,1,1,1,1]
Mehrweg	50	0,55	0,3 %		
Mehrweg	125	0,55	0,12 %		

*Die Kosten für die Lizenzgebühren wurden aus Angaben der Vertreiber abgeschätzt, welche die Lizenzierung als Dienstleistung anbieten (<https://www.bechershop.de/thermo-automatenbecher-150-ml-braun-weiss?c=48>)

**Die Kosten für die Reinigung wurden konservativ auf Basis der Angaben für eine gewerbliche Bandspülanlage abgeschätzt (240 L/h, 24,7 kW durchschnittliche Leistungsaufnahme). Dabei wurde eine typische Spülmaschinenfüllung von 3.070 Normtellern pro Stunde zugrunde gelegt. Die Kosten für Strom wurden mit 20 ct/kWh und für Wasser und Abwasser mit 4,00 €/m³ angesetzt. Angenommen wurde, dass für das Handling Arbeitskosten von 25 €/Stunde entstehen. So ergeben sich Kosten von ca. 1 ct pro Normteller. Im Weiteren nehmen wir an, dass eine Steige etwa 10 Normtellern entspricht, ein Pflanzentray 5 und ein Coffee-to-go-Becher einem Normteller. Daraus resultierend ergeben sich für Steigen 10 ct, Pflanzentrays 5 ct und für C2G-Becher 1 ct pro Reinigung.

9.4.12 Transportaufwand

Tabelle 58: Transportaufwand für eine Anwendung und resultierende Indikatorwerte bei O/G-Steigen

System	Transportentfernung	Indikatorwert	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Mehrweg	1408 km	-2	(Albrecht et al. 2013)	[1,1,3,2,1]
Einweg	1103 km	-2	(Albrecht et al. 2013)	[1,1,3,2,1]
Mehrweg	843 km	-1	(Abejón et al. 2020)	[1,1,2,1,1]
Einweg	1153 km	-2	(Abejón et al. 2020)	[1,1,2,1,1]
Mehrweg	374 km	+1	(Del Borghi et al. 2020)	[1,1,3,1,1]
Einweg	853 km	-1	(Del Borghi et al. 2020)	[1,1,3,1,1]
Einweg	850 km	-1	(Del Borghi et al. 2020)	[1,1,3,1,1]
Mehrweg	943 km	-1	(López-Gálvez et al. 2021)	[1,1,2,1,1]
Einweg	1217 km	-2	(Del Borghi et al. 2020)	[1,1,3,1,1]
Einweg	1275 km	-2	(Del Borghi et al. 2020)	[1,1,3,1,1]
Mehrweg	1438 km	-2	(Koskela et al. 2014)	[2,1,2,2,1]
Einweg	1275 km	-2	(Koskela et al. 2014)	[2,1,2,2,1]
Mehrweg	408 km	+1	(Accorsi et al. 2014)	[1,1,2,2,2]
Einweg	803 km	-1	(Accorsi et al. 2014)	[1,1,2,2,2]

Tabelle 59: Transportaufwand für eine Anwendung und resultierende Indikatorwerte bei Pflanzentrays

System	Transportentfernung	Indikatorwert	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Mehrweg	1611 km	-2	(van Paassen und Scholten 2020)	[1,1,3,3,2]
Mehrweg	1511 km	-2	(van Paassen und Scholten 2020)	[1,1,3,3,2]
Einweg	1275 km	-2	(van Paassen und Scholten 2020)	[1,1,3,3,2]
Einweg	1225 km	-2	(van Paassen und Scholten 2020)	[1,1,3,3,2]
Einweg	1350 km	-2	(van Paassen und Scholten 2020)	[1,1,3,3,2]
Mehrweg	411 km	+1	(van Paassen und Scholten 2020)	[1,1,3,3,2]
Einweg	635 km	0	(van Paassen und Scholten 2020)	[1,1,3,3,2]
Mehrweg	454 km	+1	(Dobers und Lammers 2017)	[1,1,1,1,1]
Einweg	1226 km	-2	(Dobers und Lammers 2017)	[1,1,1,1,1]

9.4.13 Treibhausgasemissionen

Tabelle 60: THG-Emissionen in CO₂-Äquivalenten und Indikatorwert bei Obst- und Gemüsesteigen

System	Material	CO ₂ -Äquivalente [kg CO ₂ -Äq./ 1000 L]	IW	Quelle/Experte	Pedigree- Einstufung
Mehrweg	Kunststoff (PP, PE)	6,40	+2	(Albrecht et al. 2013)	[1,1,3,2,1]
Mehrweg	Kunststoff (PP, HDPE)	4,51	+2	(Abejón et al. 2020)	[1,1,2,1,1]
Mehrweg	Kunststoff (PP, HDPE)	5,21	+2	(Del Borghi et al. 2020)	[1,1,3,1,1]
Mehrweg	Kunststoff (PP)	1,25	+2	(López-Gálvez et al. 2021)	[1,1,2,1,1]
Mehrweg	Kunststoff (PP)	17,33	+2	(Levi et al. 2011)	[1,1,2,3,1]
Mehrweg	Kunststoff (PE)	46,83	0	(Koskela et al. 2014)	[2,1,2,2,1]
Mehrweg	Kunststoff (PP, PE)	4,77	+2	(Accorsi et al. 2014)	[1,1,2,2,1]
Mehrweg	Kunststoff (PP, PE)	4,32	+2	(Krieg et al. 2018)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Kartonage	12,29	+2	(Albrecht et al. 2013)	[1,1,3,2,1]
Einweg	Kartonage	37,73	+1	(Abejón et al. 2020)	[1,1,2,1,1]
Einweg	Kartonage	53,65	0	(Del Borghi et al. 2020)	[1,1,3,1,1]
Einweg	Kartonage	12,25	+2	(López-Gálvez et al. 2021)	[1,1,2,1,1]
Einweg	Kartonage	13,84	+2	(Levi et al. 2011)	[1,1,2,3,1]
Einweg	Kartonage	44,69	+1	(Koskela et al. 2014)	[2,1,2,2,1]
Einweg	Kartonage	13,89	+2	(Accorsi et al. 2014)	[1,1,2,2,2]
Einweg	Kartonage	11,23	+2	(Krieg et al. 2018)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Holz	6,46	+2	(Albrecht et al. 2013)	[1,1,3,2,1]
Einweg	Holz	8,85	+2	(Del Borghi et al. 2020)	[1,1,3,1,1]
Einweg	Holz	38,75	+1	(López-Gálvez et al. 2021)	[1,1,2,1,1]
Einweg	Holz	6,22	+2	(Accorsi et al. 2014)	[1,1,2,2,1]
Einweg	Holz (MDF)	14,41	+2	(Del Borghi et al. 2020)	[1,1,3,1,1]
Einweg	Spanplatte	14,06	+2	(Del Borghi et al. 2020)	[1,1,3,1,1]
Einweg	Kunststoff (PP, HDPE)	152,60	-1	(Del Borghi et al. 2020)	[1,1,3,1,1]
Einweg	Kunststoff (PP, PE)	35,12	+1	(Accorsi et al. 2014)	[1,1,2,2,1]

Tabelle 61: THG-Emissionen in CO₂-Äquivalenten und Indikatorwert bei Pflanzentrays

System	Material	CO ₂ -Emissionen [kg CO ₂ -Äq./ 1000 L]	IW	Quelle/Experte	Pedigree- Einstufung
Mehrweg	Kunststoff (HDPE)	6,11	+2	(van Paassen und Scholten 2020)	[1,1,1,1,2]
Mehrweg	Kunststoff (PP)	8,93	+2	(van Paassen und Scholten 2020)	[1,1,1,1,2]
Mehrweg	PS, PE?	10,32	+2	(Dobers und Lammers 2017)	[1,1,1,1,3]
Einweg	PE?	14,53	+2	(Dobers und Lammers 2017)	[1,1,1,1,3]
Einweg	Kunststoff (PS)	20,68	+1	(van Paassen und Scholten 2020)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Kunststoff (PS)	30,98	+1	(van Paassen und Scholten 2020)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Kartonage (Paper/card- board)	26,50	+1	(van Paassen und Scholten 2020)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Kartonage (Kraft/testli- ner)	21,48	+2	(van Paassen und Scholten 2020)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Kartonage (Kraft/testli- ner)	17,87	+2	(van Paassen und Scholten 2020)	[1,1,1,1,2]

Tabelle 62: THG-Emissionen in CO₂-Äquivalenten und Indikatorwert bei C2G-Becher

System	Material	CO ₂ -Äquivalente [kg CO ₂ -Äq./ 1000 L]	IW	Quelle/Experte	Pedigree- Einstufung
Mehrweg	Porzellan	65,56	0	(Ligthart 2007)	[1,1,3,3,2]
Mehrweg	Keramik/Por- zellan	132,22	-1	(Ligthart 2007)	[1,1,3,3,2]
Mehrweg	Kunststoff (PP)	18,63	+2	(Cottafava et al. 2021)	[2,3,3,1,1]
Mehrweg	Kunststoff (PP)	61,78	0	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]
Mehrweg	PP mit De- ckel	165,61	-1	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]
Mehrweg	Kunststoff (PE)	16,00	+2	(Melbinger 2018)	[2,1,2,1,3]

System	Material	CO ₂ -Äquivalente [kg CO ₂ -Äq./ 1000 L]	IW	Quelle/Experte	Pedigree- Einstufung
Mehrweg	Kunststoff (PE)	60,00	0	(Melbinger 2018)	[2,1,2,1,3]
Mehrweg	Kunststoff (PLA)	29,13	+2	(Cottafava et al. 2021)	[2,3,3,1,1]
Mehrweg	Kunststoff (PET)	22,58	+2	(Cottafava et al. 2021)	[2,3,3,1,1]
Mehrweg	Glass	23,00	+2	(Cottafava et al. 2021)	[2,3,3,1,1]
Mehrweg	BYO System	Umrechnung konnte nicht durchgeführt wer- den	-	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Kunststoff (PS)	71,67	0	(Ligthart 2007)	[1,1,3,3,2]
Einweg	Kunststoff (PS; 180 mL; mit Deckel)	121,06	0	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Kunststoff (PS; 180 mL; ohne De- ckel)	68,00	0	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Kunststoff (PS; insert cup)	50,00	0	(Ligthart 2007)	[1,1,3,3,2]
Einweg	Kunststoff (PP)	82,50	+2	(Cottafava et al. 2021)	[2,3,3,1,1]
Einweg	Papier mit PE Beschich- tung	21,17	+2	(Melbinger 2018)	[2,1,2,1,3]
Einweg	Papier mit PE Beschich- tung	52,00	0	(Melbinger 2018)	[2,1,2,1,3]
Einweg	Kunststoff (PLA)	92,50	0	(Cottafava et al. 2021)	[2,3,3,1,1]
Einweg	Kunststoff (PET)	122,50	+1	(Cottafava et al. 2021)	[2,3,3,1,1]
Einweg	Papier	21,11	+1	(Ligthart 2007)	[1,1,3,3,2]
Einweg	Papier (ein- wandig mit Deckel)	75,85	+1	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]

System	Material	CO ₂ -Äquivalente [kg CO ₂ -Äq./ 1000 L]	IW	Quelle/Experte	Pedigree- Einstufung
Einweg	Papier (einwandig ohne Deckel)	29,75	+1	(Kauertz et al. 2019))	[1,1,1,1,2]
Einweg	Papier (doppeltwandig mit Deckel)	77,40	+1	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Papier (doppeltwandig ohne Deckel)	31,25	+1	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Papier (einwandig mit Deckel)	51,87	+2	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Papier (einwandig ohne Deckel)	21,10	+1	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Papier (doppeltwandig mit Deckel)	53,87	+1	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Papier (doppeltwandig ohne Deckel)	23,10	+1	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Kartonage	72,50	0	(Cottafava et al. 2021)	[2,3,3,1,1]

9.4.14 Kumulierter Energieaufwand

Tabelle 63: Kumulierter Energieaufwand und Indikatorwerte bei Obst- und Gemüsesteigen

System	Material	KEA _{gesamt} [MJ pro 1000 L]	IW	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Mehrweg	Kunststoff (PP, PE)	85,57	+2	(Albrecht et al. 2013)	[1,1,3,2,1]
Mehrweg	Kunststoff (PP, HDPE)	86,98	+2	(Abejón et al. 2020)	[1,1,2,1,1]
Mehrweg	Kunststoff (PP, HDPE)	(1)	-	(Del Borghi et al. 2020)	[1,1,3,1,1]
Mehrweg	Kunststoff (PP)	34,58	+2	(López-Gálvez et al. 2021)	[1,1,2,1,1]
Einweg	Kartonage	465,94	+2	(Albrecht et al. 2013)	[1,1,3,2,1]
Einweg	Kartonage	209,39	+2	Abejón et al. 2020	[1,1,2,1,1]
Einweg	Kartonage	0,00	0	(Del Borghi et al. 2020)	[1,1,3,1,1]
Einweg	Kartonage	222,92	+2	(López-Gálvez et al. 2021)	[1,1,2,1,1]
Einweg	Kartonage	(1)	-	(Accorsi et al. 2014)	[1,1,2,2,2]
Einweg	Holz	227,19	+2	(Albrecht et al. 2013)	[1,1,3,2,1]
Einweg	Holz	694,44	+2	(Del Borghi et al. 2020)	[1,1,3,1,1]
Einweg	Holz	1589,58	0	(López-Gálvez et al. 2021)	[1,1,2,1,1]
Einweg	Holz	-	0	(Accorsi et al. 2014)	[1,1,2,2,1]
Einweg	Holz (MDF)	(1)	-	(Del Borghi et al. 2020)	[1,1,3,1,1]
Einweg	Holz (Spanplatte)	(1)	-	(Del Borghi et al. 2020)	[1,1,3,1,1]
Einweg	Kunststoff (PP, HDPE)	(1)	-	(Del Borghi et al. 2020)	[1,1,3,1,1]
(1) Berechnung konnte nicht nachvollzogen werden					

Tabelle 64: Kumulierter Energieaufwand und Indikatorwerte bei Pflanzentrays

System	Material	KEA _{gesamt} [MJ pro 1000 L]	IW	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Mehrweg	PS, PE?	168,55	+2	Vertraulich	[1,1,1,1,3]
Einweg	PE?	226,05	+2	Vertraulich	[1,1,1,1,3]

Tabelle 65: Kumulierter Energieaufwand für C2G-Becher

System	Material	KEA _{gesamt} [MJ pro 1000 L]	IW	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Mehrweg	Kunststoff (PP)	1000,00	0	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]
Mehrweg	Kunststoff (PP; mit Deckel)	3222,22	0	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Kunststoff (PS; 180 mL; mit Deckel)	1888,89	0	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Kunststoff (PS; 180 mL; ohne Deckel)	1055,56	2	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Papier (einwandig mit Deckel)	2100,00	2	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Papier (einwandig ohne Deckel)	950,00	0	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Papier (doppeltwandig mit Deckel)	2400,00	1	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Papier (doppeltwandig ohne Deckel)	1250,00	0	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Papier (einwandig mit Deckel)	1566,67	2	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Papier (einwandig ohne Deckel)	800,00	0	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Papier (doppeltwandig mit Deckel)	1866,67	2	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]
Einweg	Papier (doppeltwandig ohne Deckel)	1100,00	0	(Kauertz et al. 2019)	[1,1,1,1,2]

9.4.15 Relative Wirtschaftlichkeit

Tabelle 66: Spezifische Gesamtkosten pro Liter Füllgut und Nutzung bei Obst- und Gemüsesteigen

System	Material	Nutzung / Umläufe	Volumen [L]	Marktpreis [€/Stck]	Aufschläge		spez. Gesamtkosten [ct/ (L x Nutzung)]	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
					Lizenzgebühren	Waschen [€/Nutzung]			
Einweg	PPK	1	23	0,81	0%	- €	3,5	(Wertpack 2021)	[1,1,1,1,1]
Einweg	PPK	1	22	0,9945	0%	- €	4,5		
Einweg	PPK	1	14	0,9595	0%	- €	6,9		
Mehrweg	PP-C	5	14	6,5	0%	0,10 €	10,0	(Robbert 2021)	[1]
Mehrweg	PP-C	50	14	6,5	0%	0,10 €	1,6		
Mehrweg	PP-C	125	14	6,5	0%	0,10 €	0,8		
Mehrweg	HDPE	5	32	8,05	0%	0,10 €	5,3	(Boxfabrik 2021)	[1,1,1,1,1]
Mehrweg	HDPE	50	32	8,05	0%	0,10 €	0,8		
Mehrweg	HDPE	500	32	8,05	0%	0,10 €	0,4		

Tabelle 67: Spezifische Gesamtkosten pro Liter Füllgut und Nutzung bei Pflanzentrays

System	Material	Nutzung / Umläufe	Volumen [L]	Marktpreis [€/Stck]	Aufschläge		spez. Gesamtkosten [ct/ (L x Nutzung)]	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
					Lizenzgebühren	Waschen [€/Stck.]			
Einweg	PS	1	6	0,25	10%	- €	4,6	(Oldenburg 2021)	[1]
Mehrweg	HDPE	5	6	2,00	0%	0,05 €	7,5	(Oldenburg 2021)	[2]
Mehrweg	HDPE	50	6	2,00	0%	0,05 €	1,5		
Mehrweg	HDPE	500	6	2,00	0%	0,05 €	1,1		

Tabelle 68: Spezifische Gesamtkosten pro Liter Füllgut und Nutzung bei Coffee-to-go-Bechern

System	Material	Nutzung / Umläufe	Volumen [L]	Marktpreis [€/Stck]	Aufschläge		spez. Gesamtkosten [ct/(L x Nutzung)]	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
					Lizenzgebühren	Waschen [€/Stck.]			
Einweg	PPK (einwandig)	1	0,3	0,08	2%	- €	27,2	(Greenbox 2021)	[1,1,1,1,1]
Einweg	PPK (Automatenbecher)	1	0,18	0,05	2%	- €	28,3		
Einweg	PPK (Riffelbecher)	1	0,25	0,14	2%	- €	57,1		
Einweg	PPK+PE	1	0,3	0,0966	2%	- €	32,8	(Rausch 2021)	[1,1,1,1,1]
Einweg	PPK+PE-doppel	1	0,3	0,1848	2%	- €	62,8		
Einweg	PPK+PLA	1	0,3	0,1057	2%	- €	35,9		
Einweg	PS	1	0,3	0,136	15%	- €	52,1	(Metro 2021)	[1,1,1,1,1]
Einweg	PP	1	0,2	0,026	10%	- €	14,3		
Einweg	PLA (nicht für Heißgetränke)	1	0,3	0,064	15%	- €	24,5		
Mehrweg	PP	5	0,3	0,55	0%	0,01 €	40,0	(Schorm 2021)	[1,1,1,1,1]
Mehrweg	PP	50	0,3	0,55	0%	0,01 €	7,0		
Mehrweg	PP	500	0,3	0,55	0%	0,01 €	3,7		

*Die Kosten für die Lizenzgebühren wurden aus Angaben der Vertreiber abgeschätzt, welche die Lizenzierung als Dienstleistung anbieten (<https://www.bechershop.de/thermo-automatenbecher-150-ml-braun-weiss?c=48>).

**Die Kosten für die Reinigung wurden konservativ auf Basis der Angaben für eine gewerbliche Bandspülanlage abgeschätzt (240 L/h, 24,7 kW durchschnittliche Leistungsaufnahme). Dabei wurde eine typische Spülmaschinenfüllung von 3070 Normtellern pro Stunde angenommen. Die Kosten für Strom wurden mit 20 ct/kWh und für Wasser und Abwasser mit 4,00 €/m³ angesetzt. Angenommen wurde, dass für das Handling Arbeitskosten von 25 €/Stunde entstehen. So ergeben sich Kosten von ca. 1 ct pro Normteller. Im Weiteren nehmen wir an, dass eine Steige etwa 10 Normtellern entspricht, ein Pflanzentray 5 und ein Coffee-to-go-Becher einem Normteller. Daraus resultierend ergeben sich für Steigen 10 ct, Pflanzentrays 5 ct, für C2G-Becher 1 ct pro Reinigung.

9.4.16 Technologische Souveränität

Tabelle 69: Unabhängigkeit von Importen bei Obst- und Gemüsesteigen

System	Spezifikation	Unabhängigkeit von Importen	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Mehrweg	PP	99,5	(Muske 2021) (Schüler 2020)	[1] [3,3,1,1,3]
Einweg	Karton	84,1	(Schüler 2020)	[3,3,1,1,3]

Tabelle 70: Unabhängigkeit von Importen bei Pflanzentrays

System	Spezifikation	Unabhängigkeit von Importen	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Einweg	PS	71,3	(Normpack 2021) (Schüler 2020)	[3,1,1,1,3] [3,3,1,1,3]
Mehrweg	HDPE	98,6	(Oldenburg 2021)	[2]

Tabelle 71: Unabhängigkeit von Importen bei Coffee-to-go-Bechern

System	Spezifikation	Unabhängigkeit von Importen	Quelle/Experte	Pedigree-Einstufung
Mehrweg	PP	94,3	(Pachaly 2021) (Schüler 2020)	[2] [3,3,1,1,3]
Einweg	PPK	81,8	(Kauertz et al. 2019); (Schüler 2020)	[1,1,1,1,1] [3,3,1,1,3]
Einweg	PS	42,7	(Schüler 2020)	[3,3,1,1,3]

10 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.

Adibi, N.; Lafhaj, Z.; Yehya, M.; & Payet, J. (2017): Global Resource Indicator for life cycle impact assessment: Applied in wind turbine case study. In: *Journal of Cleaner Production* (165), S. 1517–1528. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.07.226.

Al Barazi, Siyamend; Damm, Sophie; Huy, Dieter; Liedtke, Maren; Schmidt, Michael (2021): DERA-Rohstoffliste. Hg. v. Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (DERA Rohstoffinformationen).

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.
- Aral (Hg.) (2018): Trends beim Kaffee-Genuss. Aral Kaffeestudie 2018. Online verfügbar unter <https://www.aral.de/de/global/retail/presse/trends-beim-kaffee-genuss.html>, zuletzt geprüft am 16.12.2021.
- 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.
- BaumarktManager (2021): Branchenlösung für Mehrweg-Pflanzentrays in Sicht. Online verfügbar unter <https://www.baumarktmanager.de/branchenloesung-fuer-mehrweg-pflanzentrays-in-sicht-26072021>, zuletzt geprüft am 14.12.2021.
- Behrens, Rudolf; Janßen, Ingrid; Kuhn, Ekart; Zimmermann, Peter (2018): Entwicklungen und Trends im Markt der Mehrweg Transport Verpackungen in Deutschland und Europa. Hg. v. EKUPAC.
- Bertling, Jürgen; Zimmermann, Till; Istel, Katharina; Jedelhauser, Michael (2021): Kunststoffe in der Landwirtschaft. In: *Müll und Abfall* (9). DOI: 10.37307/j.1863-9763.2021.09.04.
- Bettermarks (2022): Quartile und Boxplots. Online verfügbar unter <https://de.bettermarks.com/mathe/quartile-und-boxplots/>, zuletzt geprüft am 22.02.2022.
- Biermann, Katja; Jacobs, Luisa; Polke-Majewski, Karsten (2020): Warten auf die Masken. In Kliniken werden Schutzmasken knapp. Bundeswehr und Zoll schaffen heran, was sie bekommen können. Doch bislang weiß keiner genau, wie viele eigentlich benötigt werden. Hg. v. Zeit Online. Online verfügbar unter <https://www.zeit.de/wirtschaft/2020-03/schutzausruestung-coronavirus-atemmasken-schutzanzuege-krankenhaeuser-knappheit-hersteller>, zuletzt geprüft am 16.12.2021.
- Bilici, N., Pehlivanli, R., & Ashirkhanova, K. (2017): Innovation and Global Issues in Social Sciences. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/profile/Efekan-Oezkan-2/publication/330509892_Sel_ve_Taskinlar_Sadece_Bir_Dogal_Afet_mi_Aksu_Cayi_Alt_Havzasi_Ornegi/links/5ddc56bc458515dc2f4dbdcc/Sel-ve-Taskinlar-Sadece-Bir-Dogal-Afet-mi-Aksu-Cayi-Alt-Havzasi-Oernegi.pdf#page=1079.
- Blümm, Florian (2021): Klimaschutz Statistik 2021: Energiemix Deutschland vs Europa vs weltweit. Online verfügbar unter <https://www.tech-for-future.de/klimaschutz-ranking/>, zuletzt geprüft am 23.03.2022.
- BMBF (2021): Technologisch souverän die -Zukunft gestalten. BMBF-Impulspapier zur technologischen Souveränität. Hg. v. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Online verfügbar unter https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/pdf/technologisch-souveraen-die-zukunft-gestalten.pdf?__blob=publicationFile&v=2.

BMU (Hg.) (2018): 5-Punkte-Plan des Bundesumweltministeriums für weniger Plastik und mehr Recycling. Online verfügbar unter <https://www.bmuv.de/download/5-punkte-plan-des-bundesumweltministeriums-fuer-weniger-plastik-und-mehr-recycling/>, zuletzt geprüft am 21.02.2022.

BMWi (2019): Industriestrategie 2030. Leitlinien für eine deutsche und europäische Industriepolitik. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Online verfügbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/industriestrategie-2030.pdf?__blob=publicationFile&v=20.

Boxfabrik (Hg.) (2021): Obst/Gemüsebox. Online verfügbar unter <https://www.dieboxfabrik.de/stapelbehaelter/obstkisten-gemuese-kisten/obst/gemuesekiste-600x400x170mm-volle-vpe>, zuletzt geprüft am 21.12.2021.

Brander, Matthew; Wylie, Charlotte (2011): The use of substitution in attributional life cycle assessment. In: *Greenhouse Gas Measurement and Management* 1 (3-4), S. 161–166. DOI: 10.1080/20430779.2011.637670.

Breukers, Patrick (2021): Pflanzentrays (Schoeller Group). Interview mit Kerstin Dobers und Jürgen Bertling. Digital via Microsoft Teams.

Bundesministerium für Umwelt (BMU) (Hg.) (2020): Abfallvermeidungsprogramm des Bundes unter Beteiligung der Länder. Online verfügbar unter https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Abfallwirtschaft/fortschreibung_abfallvermeidungsprogramm_bund_laender_bf.pdf, zuletzt geprüft am 21.02.2022.

Bundesregierung (Hg.) (2018): Mehr Recycling in Deutschland. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/mehr-recycling-in-deutschland-1507858>, zuletzt geprüft am 23.03.2022.

Burger, Alexandar; Cayé, Nicolas; Jaegermann, Corinna; Schüler, Kurt (2021): Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2019. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA Texte, 148/2021). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2021-11-23_texte_148-2021_aufkommen-verwertung-verpackungsabfaelle-deutschland-2019_bf.pdf, zuletzt geprüft am 16.03.2021.

COM(2018) 28 final (2018): Europäische Strategie für Kunststoffe in der Kreislaufwirtschaft, vom 16.01.2018. Online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:2df5d1d2-fac7-11e7-b8f5-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_2&format=PDF, zuletzt geprüft am 13.03.2022.

COM(2019) 640 final (2019): Der europäische Grüne Deal, vom 11.12.2019. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?qid=1576150542719&uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>, zuletzt geprüft am 13.03.2022.

COM(2020) 98 final (2020): EU-Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft. Fundstelle: Europäische Kommission. Online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0016.02/DOC_1&format=PDF, zuletzt geprüft am 13.03.2022.

Container Centralen GmbH (Hg.) (2018): CC Container. Der europäische Standard für Blumen- und Topfpflanzen. Online verfügbar unter https://www.container-centralen.com/wp-content/uploads/2018/05/DE_leaflet_2018_CC-Container_Prodktblatt.pdf, zuletzt geprüft am 23.03.2022.

Conversio (Hg.) (2020): Stoffstrombild Kunststoffe 2019. Online verfügbar unter <https://www.vci.de/ergaenzende-downloads/kurzfassung-stoffstrombild-kunststoffe-2019.pdf>, zuletzt geprüft am 31.01.2022.

- Cottafava, Dario; Costamagna, Mattia; Baricco, Marcello; Corazza, Laura; Miceli, Davide; Riccardo, Luigi E. (2021): Assessment of the environmental break-even point for deposit return systems through an LCA analysis of single-use and reusable cups. In: *Sustainable Production and Consumption* 27, S. 228–241. DOI: 10.1016/j.spc.2020.11.002.
- Crenna, Eleonora; Sozzo, Sara; Sala, Serenella (2018): Natural biotic resources in LCA: Towards an impact assessment model for sustainable supply chain management. In: *Journal of Cleaner Production* 172, S. 3669–3684. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.07.208.
- CUPFORCUP GmbH (Hg.) (2022): Cupforcup. Online verfügbar unter <https://cupforcup.de/>, zuletzt geprüft am 11.04.2022.
- 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.
- Detzel, Andreas; Kauertz, Benedikt; Grahl, Brigitte; Heinisch, Jürgen (2016): Prüfung und Aktualisierung der Ökobilanzen für Getränkeverpackungen. Hg. v. Umweltbundesamt (TEXTE, 19/2016). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_19_2016_pruefung_und_aktualisierung_der_oekobilanzen_fuer_gertaenkeverpackungen_0.pdf.
- Deutsche Umwelthilfe e.V. (Hg.) (2015): Becherheld – Mehrweg to go. DUH-Becherheldkampagne 2015. Online verfügbar unter <https://www.duh.de/becherheld/>, zuletzt geprüft am 16.12.2021.
- Deutsche Umwelthilfe e.V. (Hg.) (2020): PET-Flaschen. Online verfügbar unter <https://www.mehrweg-mach-mit.de/getraenkeverpackungen/pet-flaschen/>, zuletzt geprüft am 17.03.2022.
- Deutsche Umwelthilfe e.V. (Hg.) (2021): Das Plastikmüllproblem des Pflanzenhandels. Online verfügbar unter <https://www.duh.de/projekte/pflanzenhandel/>, zuletzt geprüft am 14.12.2021.
- Deutsche Welle (Hg.) (2021): Auch Plastik wird knapp - warum ist das so? Online verfügbar unter <https://www.dw.com/de/auch-plastik-wird-knapp-warum-ist-das-so/a-57061666>, zuletzt geprüft am 16.12.2021.
- DNV (2021): Circular economy. How are companies transitioning? Online verfügbar unter <https://www.dnv.com/news/is-the-circular-economy-transition-fast-enough--206722>, zuletzt geprüft am 29.03.2022.
- Dobers, Kerstin; Lammers, Wolfgang (2017): Vergleichende ökologische Bewertung von Einweg- und Mehrwegpaletten im Pflanzenhandel. Studie für die Landgard Stiftung in Kooperation mit toom Baumärkte. Hg. v. Fraunhofer IML.
- Dörfelt, Stefan (2018): Leerkilometer und Leerfahrten - Wie man sie reduziert und vermeidet. MMLogistik. Online verfügbar unter <https://www.mm-logistik.vogel.de/leerkilometer-und-leerfahrten--wie-man-sie-reduziert-und-vermeidet-a-673353/>, zuletzt geprüft am 14.12.2021.
- EG 1907/2006: Verordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH). Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006R1907>, zuletzt geprüft am 22.02.2022.
- EG 1935/2004: Verordnung über Materialien und Gegenstände, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004R1935&from=DE>, zuletzt geprüft am 22.02.2022.

ESG Enterprise (Hg.): SFDR, NFRD, and CSRD: Guidance on EU Taxonomy. Online verfügbar unter <https://www.esgenterprise.com/esg-reporting/eu-taxonomy-sfdr-nfrd-csrd/>, zuletzt geprüft am 30.03.2022.

EU 10/2011: Verordnung über Materialien und Gegenstände aus Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02011R0010-20150226&from=MT>, zuletzt geprüft am 30.03.2022.

EU 2019/665: Durchführungsbeschluss zur Änderung der Entscheidung 2005/270/EG zur Festlegung der Tabellenformate für die Datenbank gemäß der Richtlinie 94/62/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Verpackungen und Verpackungsabfälle. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019D0665&from=EN>, zuletzt geprüft am 22.02.2022.

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 2020/852 (DV): Delegierte Verordnung zur Ergänzung der Verordnung (EU) 2020/852. Online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:d84ec73c-c773-11eb-a925-01aa75ed71a1.0014.02/DOC_1&format=PDF, zuletzt geprüft am 04.02.2021.

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.

EU Technical Expert Group on Sustainable Finance (Hg.) (2020): Taxonomy Report: Technical Annex. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/business_economy_euro/banking_and_finance/documents/200309-sustainable-finance-teg-final-report-taxonomy-annexes_en.pdf, zuletzt geprüft am 22.02.2022.

EU, Euratom 2020/2053 (2020): Beschluss über das Eigenmittelsystem der Europäischen Union und zur Aufhebung des Beschlusses über das Eigenmittelsystem der Europäischen Union und zur Aufhebung des Beschlusses 2014/335/EU, Euratom, vom 14.12.2020. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020D2053&qid=1646674309201&from=EN>, zuletzt geprüft am 13.03.2022.

Euro Pool System (Hg.) (2021a): Gemeinsam zur Kreislauf-Lieferkette. Online verfügbar unter <https://www.europoolsystem.com/de/>, zuletzt geprüft am 14.12.2021.

Euro Pool System (Hg.) (2021b): Klappsteige. Die Vorteile der Klappsteige. Produktdatenblatt. Online verfügbar unter <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/5799001/Download%20centre/Leaflets/Leaflet%20Foldable%20green%20-%20DE%20-%20Final.pdf>, zuletzt geprüft am 14.12.2021.

European Commission (Hg.): Climate change consequences. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/clima/change/consequences_en, zuletzt geprüft am 10.12.2021.

EY (Hg.) (2021): Plastic and packaging taxes in Europe. Online verfügbar unter https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/en_gl/topics/tax/tax-pdfs/ey-plastics-and-packaging-taxes-webcast-summary.pdf, zuletzt geprüft am 22.02.2022.

FairCup GmbH (Hg.) (2021): Das Pfandsystem für To-Go oder Take away. Online verfügbar unter <https://fair-cup.de/>, zuletzt geprüft am 16.12.2021.

Fazio, S.; Biganzioli, F.; Laurentiis, V. de; Zampori, L.; Sala, S.; Diaconu, E. (2018): Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment methods. Version 2 from ILCD to EF 3.0. Hg. v. Publications Office of the European Union. Online verfügbar unter https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/TR_SupportingCF_FINAL.pdf.

FEFCO (Hg.) (2018): European Database for Corrugated Board Life Cycle Studies. Corrugated Packaging; Cepi ContainerBoard. Online verfügbar unter <https://www.fefco.org/download/file/fid/2626>, zuletzt geprüft am 10.12.2021.

Foteinis, Spyros (2020): How small daily choices play a huge role in climate change: The disposable paper cup environmental bane. In: *Journal of Cleaner Production* 255, S. 120294. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120294.

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, zuletzt geprüft am 23.03.2022.

FreiburgCup (Hg.) (2021): Das Pfandsystem. Online verfügbar unter <https://freiburgcup.de/de/wie.php>, zuletzt geprüft am 16.12.2021.

Frischknecht, Rolf; Wyss, Franziska; Büsser Knöpfel, Sybille; Lützkendorf, Thomas; Balouktsi, Maria (2015): Cumulative energy demand in LCA: the energy harvested approach. In: *Int J Life Cycle Assess* 20 (7), S. 957–969. DOI: 10.1007/s11367-015-0897-4.

Gaedicke, Christoph; Franke, Dieter; Ladage, Stefan; Lutz, Rüdiger; Pein, Martin; Rebscher, Dorothee et al. (2020): BGR Energiestudie 2019. Hg. v. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Online verfügbar unter https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Downloads/energiestudie_2019.pdf?__blob=publicationFile&v=6.

Gall, Markus; Schweighuber, Andrea; Buchberger, Wolfgang; W. Lang, Reinhold (2020): Plastic Bottle Cap Recycling—Characterization of Recyclate Composition and Opportunities for Design for Circularity. In: *Sustainability* 12 (24), S. 10378. DOI: 10.3390/su122410378.

Garrido, Nuria; Del Alvarez Castillo, M. Dolores (2007): Environmental evaluation of single-use and reusable cups. In: *Int J Life Cycle Assess* 12 (4), S. 252–256. DOI: 10.1065/lca2007.05.334.

Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH (GVM) (2018): Abfallaufkommen durch Einweggeschirr und andere Verpackungen für den Sofortverzehr. Online verfügbar unter https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/abfallpolitik/181022_gvm-studie_einweggeschirr_sofortverzehr.pdf, zuletzt geprüft am 23.03.2022.

Gräf, Alexander (2018): Coffee-to-go / Kaffee-zum-Mitnehmen Geschichte. Hg. v. Greenape. Online verfügbar unter <https://greenape.de/kaffee/coffee-to-go-kaffee-zum-mitnehmen-herkunft>, zuletzt geprüft am 16.12.2021.

Greenbox (Hg.) (2021): Pappbecher für Heißgetränke. Online verfügbar unter <https://www.biologischverpacken.de/sortiment/becher/pappbecher/>, zuletzt geprüft am 21.12.2021.

Gruyters, W.; Defraeye, T.; Verboven, P.; Berry, T.; Ambaw, A.; Opara, U. L.; Nicolai, B. (2019): Reusable boxes for a beneficial apple cold chain: A precooling analysis [Boîtes réutilisables pour une chaîne du froid bénéfique pour les pommes: analyse de prérefrigération]. In: *International Journal of Refrigeration* 106, S. 338–349. DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2019.07.003.

Guinée, J. B.; Lindeijer, E. (2008): Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards. Vol. 7: Springer Science & Business Media.

Hahladakis, John N.; Velis, Costas A.; Weber, Roland; Iacovidou, Eleni; Purnell, Phil (2018): An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. In: *Journal of Hazardous Materials* 344, S. 179–199. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2017.10.014.

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

Hansen, Erik; Nilson, Nils H.; Lithner, Delilah; Lassen, Carsten (2013): Hazardous substances in plastic materials. Hg. v. COWI in cooperation with Danish Technological Institute. Vejle, Denmark. Online verfügbar unter https://www.byggemiljo.no/wp-content/uploads/2014/10/72_ta3017.pdf.

Hansen, Erik; Nilsson, Nils; Vium, Kristine Slot Ravnholt (2014): Hazardous substances in plastics. Survey of chemical substances in consumer products No. 132, 2014. Hg. v. The Danish Environmental Protection Agency. Online verfügbar unter <https://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2014/12/978-87-93283-31-2.pdf>.

Hauschild, M. Z.; Goedkoop, M.; Guinée, J.; Heijungs, R.; Huijbregts, M.; Jolliet, O.; et al. (2013): Identifying best existing practice for characterization modeling in life cycle impact assessment. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment* (18(3)), S. 683–697. DOI: 10.1007/s11367-012-0489-5.

HAWITA Technoplant (Hg.) (2021): Palettino. Das clevere und bewährte Mehrwegsystem. Online verfügbar unter <https://www.palettino.de/>, zuletzt geprüft am 14.12.2021.

Hegemann, Lisa (2020): Bundesregierung will Hersteller bei 5G-Ausbau notfalls ausschließen. Hg. v. Zeit Online. Online verfügbar unter <https://www.zeit.de/digital/internet/2020-11/it-sicherheits-gesetz-g5-netz-ausbau-huawei>, zuletzt geprüft am 16.12.2021.

Heim - EDT GmbH (2022): Kistenwaschanlagen & Kistenwaschmaschinen. Hg. v. (heimedt.de). Online verfügbar unter <https://heimedt.de/kistenwaschanlage/>, zuletzt geprüft am 29.03.2022.

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

IFCO (Hg.) (2021): Black Lift Lock (Europe). Online verfügbar unter <https://www.ifco.com/wp-content/uploads/IFCO-DS-1003-BLACK-LL-DE-DE-21-03-30.pdf>, zuletzt geprüft am 14.12.2021.

IN4climate.NRW (Hg.) (2020): Chemisches Kunststoffrecycling - Potenziale und Entwicklungsperspektiven. Ein Beitrag zur Defossilisierung der chemischen und kunststoffverarbeitenden Industrie in NRW. Diskussionspapier der Arbeitsgruppe Circular Economy. Online verfügbar unter https://e-pub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/7605/file/7605_Kunststoffrecycling.pdf, zuletzt geprüft am 13.03.2022.

Infras (Hg.) (2019): Handbuch für Emissionsfaktoren 4.1. Online verfügbar unter <https://www.hbefa.net>, zuletzt geprüft am 20.02.2022.

IPCC (Hg.) (2014): Climate change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. Geneva, Switzerland. Online verfügbar unter <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>, zuletzt geprüft am 10.12.2021.

ISO 14040:2006: Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. Online verfügbar unter <https://www.iso.org/standard/37456.html>.

ISO 14044:2006: Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines. Online verfügbar unter <https://www.iso.org/standard/38498.html>.

Kauertz, b.; Schlecht, S.; Markwardt, S.; Rubik, F.; Heinrich, J.; Kolbe, P.; Hake, Y. (2019): Untersuchung der ökologischen Bedeutung von Einweggetränkebechern im Außer-Haus-Verzehr und mögliche Maßnahmen zur Verringerung des Verbrauchs. Hg. v. Umweltbundesamt (TEXTE, 29/2019). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-02-20_texte_29-2019_einweggetraenkebechern_im_ausser-haus-verzehr_final.pdf.

Kauertz, Benedikt; Bick, Carola; Schlecht, Samuel; Busch, Miriam; Markwardt, Stefanie; Wellenrether, F. (2018): Ökobilanzieller Vergleich von Getränkeverbundkartons mit PET-Einweg- und Glas-Mehrwegflaschen in den Getränkesegmenten Saft/ Nektar, H-Milch und Frischmilch. Abschlussbericht nach kritischer Prüfung. Hg. v. ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg.

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

Kent, Robin (2009): What's Your Process Energy Fingerprint? Hg. v. Plastics Technology. Online verfügbar unter <https://www.ptonline.com/articles/whats-your-process-energy-fingerprint>, zuletzt geprüft am 03.03.2022.

Killiches, Franziska (2013): Phosphat. Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit. Hg. v. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) im Auftrag des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit. Online verfügbar unter https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Zusammenarbeit/TechnZusammenarbeit/Politikberatung_SV_MER/Downloads/phosphat.pdf?__blob=publicationFile&v=4.

Klimaschutzagentur Mannheim (Hg.) (2021): Bleib deinem Becher treu. Online verfügbar unter <https://www.bleibdeinembechertreu.de/>, zuletzt geprüft am 16.12.2021.

Klinglmair, M.; Sala, S.; Brandão, M. (2014): Assessing resource depletion in LCA: a review of methods and methodological issues. In: *Int J Life Cycle Assess* (19 (3)), 580–592. DOI: 10.1007/s11367-013-0650-9.

Klooster, R. ten; Koejer, B. de; Lange, J. de (2017): Towards a generic set of packaging material key figures. Hg. v. 28th IAPRI Symposium on Packaging. 28th IAPRI Symposium on Packaging. Online verfügbar unter https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/21754833/Klooster_Koeijer_Lange_Towardsagenericsetofpackagingmaterialkeyfigures_IAPRI.pdf.

Klöpffer, Walter; Grahl, Brigit (2009): Ökobilanz (LCA). Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. Weinheim: Wiley-VCH.

Knerr, Michael; Hersche, Emil (Hg.) (2016): Füllstoffe und Verstärkungsmittel (Handbuch Kunststoff Additive, Ralph D. Maier, Michael Schiller (Hrsg.)).

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.

KPMG (Hg.) (2021): Plastic Tax - Reduce, Reuse, Recycle. Online verfügbar unter <https://home.kpmg/xx/en/home/insights/2021/09/plastic-tax.html>, zuletzt geprüft am 21.02.2022.

Kranich, Sebastian; Krommes, Sandra; Rieder, Rosina (2019): Bewertung der Rohstoffkriterialitäts-Methode nach VDI 4800 im Produktentwicklungsprozess: Fallstudie eines elektrischen Fahrzeugantriebssystems. In: *NachhaltigkeitsManagementForum* 27 (1), S. 53–63. DOI: 10.1007/s00550-018-0481-z.

Kreis Höxter - Fachbereich Umwelt, Bauen und Geoinformationen (Hg.) (2021): Unser regionales Pfandbechersystem. Online verfügbar unter <https://kreis-hx.maps.arcgis.com/apps/Cascade/index.html?appid=71e85c138117497685493703009a78a2/>, zuletzt geprüft am 16.12.2021.

Krieg, Hannes; Gehring, Florian; Fischer, Matthias; Albrecht, Stefan (2018): 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.

KrWG (2012): Kreislaufwirtschaftsgesetz: Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen. KrWG, vom Zuletzt geändert durch Art. 1 G v. 23.10.2020. Online verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/krwg/BJNR021210012.html>.

Lammers, Wolfgang (2021): Mehrwegsteigen (Abt. Verpackungslogistik des Fraunhofer IML). Interview mit Kerstin Dobers. Digital via Microsoft Teams.

Lange, Volker; Pelka, Michael; Kreyenschmidt, Judith (2013): Ermittlung des Verderbs von frischem Obst und Gemüse in Abhängigkeit der Verpackungsart. Executive Summary. Fraunhofer IML; Universität Bonn. Online verfügbar unter https://www.stiftung-mehrweg.de/fileadmin/user_upload/downloads-save-food-studie/savefoodstudie_de.pdf.

Lebensmittelverband Deutschland (Hg.) (2020): Merkblatt "Pool-Geschirr". Hygiene beim Umgang mit Mehrweggeschirren innerhalb von Pfand-Poolsystemen. Online verfügbar unter <https://www.lebensmittelverband.de/de/lebensmittel/sicherheit/hygiene/hygiene-beim-umgang-mit-mehrweg-bechern-behaeltnissen-pool-geschirr>, zuletzt geprüft am 17.03.2022.

Leitner, Felix von (2020): Kommentar: Digitale Souveränität zum Schnäppchenpreis – von Europa und Mozilla. Hg. v. heise online. Online verfügbar unter <https://www.heise.de/meinung/Kommentar-Digitale-Souveraenitaet-zum-Schnaepchenpreis-von-Europa-und-Mozilla-4874038.html>, zuletzt geprüft am 16.12.2021.

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.

Ligthart, T. N. (2007): Single use Cups or Reusable (coffee) Drinking Systems: An Environmental Comparison. TNO. Netherlands. Online verfügbar unter <https://www.tno.nl/media/2915/summary-research-drinking-systems.pdf>.

Lo-lacono-Ferreira, Vanesa G.; Viñoles-Cebolla, Rosario; Bastante-Ceca, María José; Capuz-Rizo, Salvador F. (2021): Carbon Footprint Comparative Analysis of Cardboard and Plastic Containers Used for the International Transport of Spanish Tomatoes. In: *Sustainability* 13 (5), S. 2552. DOI: 10.3390/su13052552.

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.

Martin, S.; Bunsen, A.; Ciroth, A. (2018): Case Study Ceramic Cup vs. Paper Cup. Greendelta GmbH. Online verfügbar unter

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahU-KEwi8x8m889v2AhWPlqQKHbOkAbIQFnoECAYQAQ&url=https%3A%2F%2F nexus.openlca.org%2Fws%2Ffiles%2F6229&usg=AOvVaw0NCfTz81occ9BIJY-qtujm>.

Meiko (Hg.) (2021): Technisches Datenblatt M-iQ B-M54 V8 N02 P8. Länderausführung: Deutschland. Online verfügbar unter https://cdn.meiko-company.com/miplan_media/m_ipplan/M-iQ_B-M54_V8_N02_P8%C3%BEDEU%C3%BEDE%C3%BEDS.pdf, zuletzt geprüft am 03.03.2022.

Melbinger, Isabella (2018): Möglichkeiten und Grenzen von Einweg- und Mehrwegsystemen für Coffee to go unter besonderer Berücksichtigung ausgewählter Lebenszyklusanalysen. Masterarbeit. Karl-Franzens-Universität. Online verfügbar unter <https://unipub.uni-graz.at/obvugr/hs/download/pdf/3107961?originalFilename=true>.

Metro (Hg.) (2021): Trinkbecher. Online verfügbar unter <https://www.metro.de/marktplatz/product/e61fa857-2372-4dc1-a967-efd892336fbe>, zuletzt geprüft am 21.12.2021.

moBrands GmbH (Hg.) (2022): Der nachhaltige Mehrwegbecher. Online verfügbar unter <https://oekocup.de/>, zuletzt geprüft am 11.04.2022.

Morris, Jeffrey (1996): Recycling versus incineration: an energy conservation analysis. In: *Journal of Hazardous Materials* 47 (1-3), S. 277–293. DOI: 10.1016/0304-3894(95)00116-6.

Muske, Bodo (2021): Obst- und Gemüsesteigen (IFCO). Interview mit Jürgen Bertling. Digital via Microsoft Teams.

NABU (Hg.) (2021): Der NABU-Mehrweg-Guide. Die wichtigsten Fragen und Antworten zu Mehrweg und Einweg. Online verfügbar unter <https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/ressourcenschonung/einzelhandel-und-umwelt/mehrweg/nabumehrwegguide.html>, zuletzt geprüft am 23.03.2022.

Normpack (Hg.) (2021): Recyclingpool - Der Lebenszyklus eines Einweg-Pflanzentrays. Online verfügbar unter <https://normpack.nl/de/recyclingpool>, zuletzt geprüft am 23.03.2022.

Normpack (Hg.) (2022): Der Lebenszyklus eines Einweg-Pflanzentrays. Online verfügbar unter <https://normpack.nl/de/recyclingpool>, zuletzt geprüft am 11.04.2022.

Nr. 10/2011 (EU) (2011): Verordnung über Materialien und Gegenstände aus Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen, vom 14.01.2011. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:012:0001:0089:DE:PDF>, zuletzt geprüft am 13.03.2022.

Oldenburg, Jens (2021): Pflanzentrays (Stiftung Initiative Mehrweg). Interview mit Jürgen Bertling. Digital via Microsoft Teams.

Pachaly, Patrick (2021): Coffee-to-Go Becher (ReCup). Interview mit Kerstin Dobers und Jürgen Bertling. Digital via Microsoft Teams.

Pfaender, Rudolf (Hg.) (2016): Additive für das werkstoffliche Recycling von Kunststoffen. 4. Aufl.: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG (Handbuch Kunststoff Additive, Ralph D. Maier, Michael Schiller (Hrsg.)). Online verfügbar unter <https://www.hanser-elibrary.com/doi/10.3139/9783446432918.015>, zuletzt geprüft am 13.03.2022.

Pladerer, Christian; Meissner, Markus; Dinkel, Fredy; Zschokke, Mischa; Dehoust, Günter; Schüler, Doris (2008): Comparative Life Cycle Assessment of various Cup Systems for the Selling of Drinks at Events. Focussing on major events such as the European Football Championships UEFA EURO

2008(TM) in Austria and Switzerland as well as the German "Bundesliga". Österreicherisches Ökologie-Institut; Carbotech AG; Öko-Institut e.V. Deutschland. Online verfügbar unter http://www.meucopoeco.com.br/environmental_study.pdf.

Poortinga, Wouter; Whitaker, Louise (2018): Promoting the Use of Reusable Coffee Cups through Environmental Messaging, the Provision of Alternatives and Financial Incentives. In: *Sustainability* 10 (3), S. 873. DOI: 10.3390/su10030873.

Pöppelmann (Hg.) (2021): Mehrwegsteigen - Serie MS, R. TEKUR Produktprogramm. Online verfügbar unter https://www.poeppelmann.com/de/teku/produkte/detail/ms-r/fromPid-529/?tx_ppetekudatabase_frontendteku%5BsearchParams%5D%5Bprodukt-gruppe%5D=6&cHash=069cd2b3763661534a7878cc5eb694b5, zuletzt geprüft am 14.12.2021.

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.

Rausch (Hg.) (2021): Heißgetränke-Becher. Online verfügbar unter <https://www.rausch-packaging.com/de/heissgetraenke-becher-frisch-fein-doppelwandig.html>, zuletzt geprüft am 21.12.2021.

ReCup (Hg.) (2021): RECUP & REBOWL – Alle Produkte in einem System. Online verfügbar unter <https://recup.de/>, zuletzt geprüft am 16.12.2021.

RFID card (2020): McDonald's and Starbucks are Planning to Adopt RFID Technology McDonald's and Starbucks are Planning to Adopt RFID Technology. Online verfügbar unter <https://www.rfidcard.com/mcdonalds-and-starbucks-are-planning-to-adopt-rfid-technology/>, zuletzt geprüft am 23.03.2022.

RFID journal (Hg.) (o. J.): How much does an RFID tag cost today? Online verfügbar unter <https://www.rfidjournal.com/faq/how-much-does-an-rfid-tag-cost-today>, zuletzt geprüft am 17.03.2022.

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

Roßmann, M.; Stratmann, M.; Rötzer, N.; Schäfer, P.; Schmidt, M. (2021): Comparability of LCAs — Review and Discussion of the Application Purpose. Cham.: Springer (Albrecht S., Fischer M., Leistner P., Schebek L. (eds) Progress in Life Cycle Assessment 2019).

Royal FloraHolland (Hg.) (2021): Der Lebenszyklus eines Einweg-Pflanzentrays. Online verfügbar unter <https://www.royalfloraholland.com/de/nachricht/warum-ist-das-recycling-von-einweg-trays-so-wichtig>, zuletzt geprüft am 14.12.2021.

RP-Online (Hg.) (2017): In Düsseldorf kann man seinen Kaffee jetzt im Pfandbecher kaufen. Online verfügbar unter https://rp-online.de/nrw/staedte/duesseldorf/cup-for-cup-pfandbecher-fuer-coffee-to-go-kaffee-in-duesseldorf_aid-19478055, zuletzt geprüft am 08.04.2022.

Schneider, Jürgen (2014): Heiß und flüssig. Neue Klage gegen McDonald's-Kaffee. Hg. v. Süddeutsche Zeitung. Online verfügbar unter <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/neue-klage-gegen-mcdonald-s-kaffee-heiss-und-fluessig-1.1867442>, zuletzt geprüft am 16.12.2021.

Schorm (Hg.) (2021): Mehrwegbecher. Online verfügbar unter <https://www.mehrwegbecher.com/coffee-to-go-becher-pp-0-3l-braun>, zuletzt geprüft am 21.12.2021.

Schröer, 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, zuletzt geprüft am 17.03.2022.

Schüler, K. (2020): Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2018. Hg. v. Umweltbundesamt. Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH (GVM) (UBA Texte, 166/2020). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_166-2020_aufkommen_und_verwertung_von_verpackungsabfaellen_in_deutschland_im_jahr_2018.pdf.

Shamsuyeva, Madina; Endres, Hans-Josef (2021): Plastics in the context of the circular economy and sustainable plastics recycling: Comprehensive review on research development, standardization and market. In: *Composites Part C: Open Access* 6, S. 100168. DOI: 10.1016/j.jcomc.2021.100168.

Singh, S. Paul; Chonhenchob, Vanee; Singh, Jagjit (2006): Life cycle inventory and analysis of reusable plastic containers and display-ready corrugated containers used for packaging fresh fruits and vegetables. In: *Packag. Technol. Sci.* 19 (5), S. 279–293. DOI: 10.1002/pts.731.

SPD, Bündnis 90/Die Grünen, FDP (Hg.) (2021): Mehr Fortschritt wagen. Koalitionsvertrag. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/re-source/blob/974430/1990812/04221173eef9a6720059cc353d759a2b/2021-12-10-koav2021-data.pdf?download=1>, zuletzt geprüft am 21.02.2022.

Städte-Gemeindebund Nordrhein-Westfalen (Hg.) (2003): Mitteilungen - Umwelt, Abfall, Abwasser. Kosten für Straßenpapierkörbe. Online verfügbar unter <https://www.kommunen.nrw/informationen/mitteilungen/datenbank/detailansicht/dokument/kosten-fuer-strassenpapierkoerbe.html>, zuletzt geprüft am 16.12.2021.

Statista (Hg.) (2022): Statistiken zur Verpackungsindustrie in Deutschland. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/themen/4330/verpackungsindustrie-in-deutschland/#dossierKeyfigures>, zuletzt geprüft am 21.02.2022.

Stotz, P. M.; Niero, M.; Bey, N.; Paraskevas, D. (2017): Environmental screening of novel technologies to increase material circularity: A case study on aluminium cans. In: *Resources, Conservation and Recycling* (127), 96–106. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.07.013.

Tandt, Ellen de; Demuytere, Cody; van Asbroeck, Elke; Moerman, Hiram; Mys, Nicolas; Vyncke, Gianni et al. (2021): A recycler's perspective on the implications of REACH and food contact material (FCM) regulations for the mechanical recycling of FCM plastics. In: *Waste management (New York, N.Y.)* 119, S. 315–329. DOI: 10.1016/j.wasman.2020.10.012.

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.) (2018): Verpackungsverbrauch in Deutschland weiterhin sehr hoch. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/verpackungsverbrauch-in-deutschland-weiterhin-sehr>, zuletzt geprüft am 31.01.2022.

Umweltbundesamt (Hg.) (2020): Verpackungsabfälle. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/verpackungsabfaelle#verpackungen-uberall>, zuletzt geprüft am 22.02.2022.

Umweltbundesamt (Hg.) (2021): Recyclingfähigkeit von Verpackungen: Neuer Mindeststandard. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/recyclingfaehigkeit-von-verpackungen-neuer>, zuletzt geprüft am 17.03.2022.

UNEP (Hg.): Stockholm Convention. 2022. Online verfügbar unter <http://www.pops.int/>, zuletzt geprüft am 11.04.2022.

Valtokari, Antti (2021): Digitalization and innovation will unlock sustainability. Hg. v. Huhatamaki. Online verfügbar unter <https://www.huhatamaki.com/en/highlights/sustainability/digitalization-and-innovation-will-unlock-sustainability/>, zuletzt geprüft am 17.03.2022.

van Oers, Laurant; Guinée, Jeroen (2016): The Abiotic Depletion Potential: Background, Updates, and Future. In: *Resources* 5 (1), S. 16. DOI: 10.3390/resources5010016.

van Paassen, Mike; Scholten, Jasper (2020): Comparative Life Cycle Assessment of one-way plant trays versus returnable plant trays. Public report. Hg. v. Royal FloraHolland. Blonk Consultants.

VDI-Richtlinie, 2018: VDI 4800 Blatt 2 - Ressourceneffizienz - Bewertung des Rohstoffaufwands.

vdp (Hg.) (2015). Online verfügbar unter <file:///C:/Users/bj/Downloads/Papierrecyclen.pdf>.

vdp (Hg.) (2021). Online verfügbar unter file:///C:/Users/bj/Downloads/Kompass_de.pdf.

VDP - Verband deutscher Papierfabriken (Hg.) (2021): Papier-Kompass.

Verband der Automobilindustrie (VDA) (Hg.) (2018): Kleinladungsträger (KLT-)System: Technische Empfehlung. VDA 4500, Teil 1. Version 2.0.

Verbraucherzentrale (Hg.) (2020): Mehrweg oder Einweg: Verwirrung total beim Pfand. Online verfügbar unter <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/umwelt-haushalt/abfall/mehrweg-oder-einweg-verwirrung-total-beim-pfand-11504>, zuletzt geprüft am 22.12.2021.

VerpackG (2021): Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die hochwertige Verwertung von Verpackungen. VerpackG, vom zuletzt geändert durch Artikel 2 G. v. 22.09.2021 BGBl. I S. 4363. Online verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/verpackg/VerpackG.pdf>, zuletzt geprüft am 31.01.2022.

VYTAL Global GmbH (Hg.) (2022): Welcome ot Mehrweg. Online verfügbar unter <https://www.vytal.org/>, zuletzt geprüft am 11.04.2022.

Wagner, Svetlana; Schlummer, Martin (2020): Legacy additives in a circular economy of plastics: Current dilemma, policy analysis, and emerging countermeasures. In: *Resources, Conservation and Recycling* 158, S. 104800. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.104800.

WBG-Pooling (Hg.) (2021a): WBG-Pooling-Foldable-Crate 6412 light blue. Produktdatenblatt. Online verfügbar unter <https://wbg-pooling.eu/wp-content/uploads/2021/04/wbg-pooling-produkt-datenblatt-WBG-Pooling-Foldable-Crate-6412-light-blue-DE.pdf>, zuletzt geprüft am 14.12.2021.

WBG-Pooling (Hg.) (2021b): WBG-Pooling-Foldable-Crate 6423 light blue. Produktdatenblatt. Online verfügbar unter <https://wbg-pooling.eu/wp-content/uploads/2021/04/wbg-pooling-produkt-datenblatt-WBG-Pooling-Foldable-Crate-6423-light-blue-DE.pdf>, zuletzt geprüft am 14.12.2021.

Wegmann, Alex; Le Gal, André; Müller, Daniel (Hg.) (2016): Antioxidantien (Handbuch Kunststoff Additive, Ralph D. Maier, Michael Schiller (Hrsg.)).

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.

Welchering, Peter (2021): Digitale Souveränität - Blackout zeigt: Facebook-Logins sind riskant. Hg. v. ZDF. Online verfügbar unter <https://www.zdf.de/nachrichten/digitales/facebook-blackout-login-100.html>, zuletzt geprüft am 16.12.2021.

Wertpack (Hg.) (2021): Flachsteige/Stecksteige. Online verfügbar unter https://www.wertpack.de/detail/flachsteige-stecksteige__748.html, zuletzt geprüft am 21.12.2021.

Weschnowsky, Sven (2021): Flowertray: Branchenlösung zum Ersatz von Einweg-Pflanzentrays. Online verfügbar unter <https://taspo.de/kategorien/flowertray-branchenloesung-zum-ersatz-von-einweg-pflanzentrays/>, zuletzt geprüft am 14.12.2021.

Weyh, Florian Felix (2020): Die große Toilettenpapierkrise: Hamsterkäufe und Lieferketten im Kapitalismus. Hg. v. Deutschlandfunkkultur. Online verfügbar unter <https://www.deutschlandfunkkultur.de/die-grosse-toilettenpapierkrise-hamsterkaeufe-und-100.html>, zuletzt geprüft am 16.12.2021.

Wincentzen, D. L. (2013): Encyclopedia of Global Warming and Climate Change. Hg. v. Reference Reviews.

Zampori L., Pant R. (2019): Suggestions for updating the Product Environmental Footprint (PEF) method. EUR 29682 EN. Hg. v. Publications Office of the European Union. Online verfügbar unter https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/PEF_method.pdf.