

Fachgutachten zur ökologischen Bewertung der stofflichen Verwertung von Einwegverpackungsabfällen im Vergleich zu Mehrwegverpackungen

Gemeinsamer Endbericht des ifeu und der GVM

Andreas Detzel, Mirjam Busch, Simon Fröh und Benedikt Kauertz (ifeu)
Kurt Schüler und Sebastian Müller (GVM)

Heidelberg, 2026



Titelbild: Stockwerk-Fotodesign /stock.adobe.com / 293967150

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis	6
1 Ziel und Rahmendefinition	7
1.1 Hintergrund und Ziel der Studie	7
1.1.1 Hintergrund der Studie	7
1.1.2 Ziele der Studie	7
1.2 Vorgehensweise	7
1.2.1 Bearbeitungskonzept	7
1.2.2 Rollenverteilung der Partner ifeu und GVM	8
1.3 Methodische Festlegungen	8
1.3.1 Funktionelle Einheit (Ökobilanzielle Vergleichsgröße)	8
1.3.2 Systemgrenze	8
1.3.3 Geographischer und zeitlicher Rahmen der Bilanzierung	9
1.3.4 Betrachte Umweltwirkungskategorien	9
1.3.5 Leistungsparameter	10
2 Untersuchte Verpackungssysteme	11
2.1 Identifikation und Auswahl der Verpackungssysteme	11
2.2 Beschreibung der Einwegverpackungssysteme	13
2.2.1 Spezifikationen der betrachteten Einwegverpackungssysteme	13
2.2.2 Recyclingzuführungsquoten	15
2.2.3 Rezyklierbarkeit	18
2.2.4 Sekundärfaser-Einsatzquoten	22
2.3 Beschreibung der Mehrwegverpackungssysteme	22
2.3.1 Spezifikationen der betrachteten Mehrwegverpackungssysteme	22
2.3.2 Untersuchte Mehrwegszenarien	24
2.3.3 Umlaufzahlen	25
2.3.4 Recyclingzuführungsquote	26
2.3.5 Rezyklateinsatzquote	27
2.3.6 Einordnung der angesetzten Umlaufzahlen	27
2.3.7 Modellierung der Waschprozesse von Mehrwegverpackungssystemen	29
2.4 Szenarien und Ergebnisdarstellung	29
3 Verpackungs- und Abfallaufkommen	33
4 Ökobilanzergebnisse	36
4.1 Break-Even Grafiken: Treibhausgase	37
4.2 Break-Even Grafiken: KEA fossil	41

Inhalt

4.3	Break-Even Grafiken: KEA gesamt	45
4.4	Kursorische Beitragsanalyse	48
4.5	Synoptische Einordnung der Ergebnisse	50
5	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	53
6	Literatur	57
7	Anhang – Sektoralgrafiken KEA gesamt	59

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematisches Systemfließbild der betrachteten EW- und MW-Systeme	9
Abbildung 2: Einflussfaktoren auf Recyclingzuführungsquote	16
Abbildung 3: Zuordnung Mehrwegverpackungssysteme	23
Abbildung 4: Untersuchte Mehrwegszenarien	24
Abbildung 5: Verpackungen für Burger und Pommes (Break-Even Graph THG)	37
Abbildung 6: Verpackungen für Getränke (Break-Even Graph THG)	38
Abbildung 7: Verpackungen für Popcorn (Break-Even Graph THG)	39
Abbildung 8: Verpackungen für Burger und Pommes (Break-Even Graph KEA fossil)	41
Abbildung 9: Verpackungen für Getränke (Break-Even Graph KEA fossil)	42
Abbildung 10: Verpackungen für Popcorn (Break-Even Graph KEA fossil)	43
Abbildung 11: Verpackungen für Speisen (Break-Even Graph KEA gesamt)	45
Abbildung 12: Verpackungen für Getränke (Break-Even Graph KEA gesamt)	46
Abbildung 13: Verpackungen für Popcorn (Break-Even Graph KEA gesamt)	47
Abbildung 14: Sektoralgrafik - THG: Lebensmittelverpackungen im Vergleich	49
Abbildung 15: Sektoralgrafik - THG: Getränkebecher im Vergleich	49
Abbildung 16: Sektoralgrafik - KEA gesamt: Lebensmittelverpackungen im Vergleich	59
Abbildung 17: Sektoralgrafik - KEA gesamt: Getränkebecher im Vergleich	59

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Leistungsindikatoren	11
Tabelle 2: Übersicht der Einwegverpackungssysteme	13
Tabelle 3: Verpackungsspezifikation der Einwegverpackungen	14
Tabelle 4: Recyclingzuführungsquote	16
Tabelle 5: Rezyklateinsatzquoten	22
Tabelle 6: Mehrwegverpackungssysteme	23
Tabelle 7: Übersicht der Mehrwegszenarien	25
Tabelle 8: Übersicht zu Umlaufzahlen, Recyclingzuführung und Rezyklateinsatz bei den MW-Verpackungen	26
Tabelle 9: Spezifikationen und Recyclingquoten der untersuchten Einwegverpackungen für die Ökobilanzmodellierung	31
Tabelle 10: Spezifikationen, Umlaufzahlen und Recyclingquoten der untersuchten Mehrwegverpackungen für die Ökobilanzmodellierung	32
Tabelle 11: Verpackungsaufkommen und Restmüllaufkommen von Verpackungen für Burger, Pommes und Popcorn	34
Tabelle 12: Verpackungsaufkommen und Restmüllaufkommen von Getränkebechern	35

Abkürzungsverzeichnis

CEPI	Confederation of European Paper Industries
CO ₂ -e	CO ₂ -Äquivalente
DCS	Dissolved and Colloidal Substances
EFSA	Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit
EU-VerpackVO	Verordnung (EU) 2025/40 über Verpackungen und Verpackungsabfälle
EW	Einweg
FE	Funktionelle Einheit
GVM	Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung
ifeu	Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg
KEA	Kumulierter Energiebedarf
KEA fossil	Kumulierter Energiebedarf fossil
KEA gesamt	Kumulierter Energiebedarf gesamt
MW	Mehrweg
PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
PPK	Papier, Pappe, Karton
RC	Recyclingzuführungsquote
rPP	recycltes Polypropylen
THG	Treibhausgase
UBA	Umweltbundesamt
ULZ	Umlaufzahl
VerpackDG	Verpackungsrecht-Durchführungsgesetz

1 Ziel und Rahmendefinition

1.1 Hintergrund und Ziel der Studie

1.1.1 Hintergrund der Studie

Mit der Einführung der Verpackungssteuer verfolgt die Stadt Freiburg das Ziel, die Nutzung von Mehrwegverpackungen zu fördern und das Abfallaufkommen im Außer-Haus-Verzehr zu reduzieren. Im Unterschied zu den Verpackungssteuersatzungen anderer Kommunen enthält die Freiburger Regelung keine Befreiung für Einwegverpackungen, die nachweislich vollständig zurückgenommen und einer stofflichen Verwertung zugeführt werden. Hintergrund hierfür sind Unsicherheiten hinsichtlich der tatsächlichen ökologischen Vorteilhaftigkeit der stofflichen Verwertung gebrauchter und häufig mit Lebensmittelresten verunreinigter Serviceverpackungen. Insbesondere bestehen offene Fragen zur Rezyklierbarkeit, zu den tatsächlich erreichbaren Recyclingquoten sowie zu den Umweltwirkungen entlang des gesamten Lebensweges der Verpackungen. Vor diesem Hintergrund besteht Bedarf an einer wissenschaftlich fundierten Untersuchung, die die stoffliche Verwertung von Einwegverpackungen mit der Nutzung von Mehrwegverpackungen vergleicht und deren ökologische Leistungsfähigkeit bewertet.

1.1.2 Ziele der Studie

Ziel der Studie ist die vergleichende ökologische Bewertung von Einweg- und Mehrwegverpackungen, wie sie typischerweise in der Systemgastronomie zum Einsatz kommen. Im Mittelpunkt steht die Frage, ob die stoffliche Verwertung von Einwegverpackungen in einer Lebenszyklusbetrachtung eine ökologisch sinnvolle Alternative zur Nutzung von Mehrwegverpackungen darstellt oder ob Mehrwegsysteme beim Verzehr vor Ort grundsätzlich vorzuziehen sind. Dazu werden ausgewählte Serviceverpackungen aus Papier beziehungsweise beschichteter Pappe hinsichtlich ihrer Rezyklierbarkeit, ihrer Recyclingfähigkeit, ihrer Treibhausgasemissionen sowie ihres kumulierten Energieaufwands untersucht. Darüber hinaus werden die für Mehrwegsysteme erforderlichen Umlaufzahlen analysiert und die wesentlichen Einflussfaktoren auf die Ergebnisse identifiziert. Ziel ist die Bereitstellung einer belastbaren wissenschaftlichen Grundlage für die Bewertung der ökologischen Vor- und Nachteile von stofflich verwerten Einweg- und Mehrwegsystemen sowie für die Einordnung der stofflichen Verwertung im Kontext kommunaler Maßnahmen zur Abfallvermeidung und Ressourcenschonung.

Die Ergebnisse leisten damit einen Beitrag zu einer evidenzbasierten Entscheidungsfindung. Sie unterstützen die Diskussion zum Umgang mit Serviceverpackungen und bieten eine belastbare Grundlage für die weitere Bewertung möglicher regulatorischer Ansätze.

1.2 Vorgehensweise

1.2.1 Bearbeitungskonzept

Die Untersuchung gliedert sich in die Definition und Charakterisierung der betrachteten Einweg- und Mehrwegverpackungssysteme, die Ermittlung zentraler Leistungsparameter sowie die anschließende Bewertung der Systeme auf Basis ökobilanzieller Ergebnisse. Aufbauend auf Literaturdaten, Marktdaten und Experteneinschätzungen werden die relevanten Verpackungssysteme modelliert und hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen analysiert. Im Vordergrund der Auswertung stehen Break-even-Analysen, um den Einfluss zentraler Parameter - insbesondere der Umlaufzahl von Mehrwegverpackungen - auf die Ergebnisse zu untersuchen und kompakt graphisch darzustellen.

1.2.2 Rollenverteilung der Partner ifeu und GVM

Die Bearbeitung der Studie erfolgt durch das ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH in Zusammenarbeit mit der GVM Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH. Die Aufgabenverteilung orientiert sich an den jeweiligen fachlichen Kompetenzen der beiden Projektpartner.

Die GVM übernimmt die Erfassung und Aufbereitung der markt- und verpackungsspezifischen Datengrundlagen. Hierzu zählen insbesondere die Identifikation und Beschreibung der betrachteten Einweg- und Mehrwegverpackungen, die Analyse von Recyclingquote und Rezyklierbarkeit sowie die Bereitstellung der für die Modellierung erforderlichen Verpackungs- und Stoffstromdaten. Zudem bringt die GVM ihre Expertise zu Verpackungsmärkten, Verwertungswegen und Recyclingstrukturen ein.

Das ifeu verantwortet die ökobilanzielle Modellierung und Bewertung der untersuchten Verpackungssysteme. Auf Grundlage der durch die GVM bereitgestellten Daten werden die Lebenszyklusmodelle aufgebaut, die Umweltwirkungen der Einweg- und Mehrwegsysteme analysiert sowie Sensitivitäts- und Break-even-Analysen durchgeführt. Darüber hinaus obliegt dem ifeu die wissenschaftliche Interpretation der Ergebnisse sowie die Erstellung des Endberichts.

Die Bearbeitung erfolgt arbeitsteilig, wobei die Ergebnisse der einzelnen Arbeitsschritte fortlaufend zwischen den Projektpartnern abgestimmt werden. Auf diese Weise werden die Markt- und Materialexpertise der GVM mit der langjährigen Erfahrung des ifeu in der Durchführung von Ökobilanzen und der Bewertung von Verpackungssystemen verknüpft.

1.3 Methodische Festlegungen

1.3.1 Funktionelle Einheit (Ökobilanzielle Vergleichsgröße)

Beim Vergleich der Einweg- und Mehrwegverpackungen wird der Verpackungsbedarf für jeweils 1000 Portionsausgaben („Servings“) betrachtet. Bei der Auswahl von Mehrwegverpackungen, die als Alternative zu Einwegverpackungen in Frage kommen, werden möglichst funktionsgleiche marktgängige Verpackungsgrößen- bzw. -volumina herangezogen.

1.3.2 Systemgrenze

Das in der Ökobilanz modellierte System umfasst im ersten Schritt alle Prozesse von der Rohmaterialbereitstellung bis zu Anfertigung der betrachteten Verpackungen sowie deren Auslieferung an die Verkaufsstellen der Gastronomie. Im zweiten Schritt werden die Prozesse der Erfassung, Sortierung und des Recyclings von Einwegverpackungen bzw. der Rücklauf und die Reinigung der Mehrwegverpackungen berücksichtigt. Die aus dem Mehrwegpool ausscheidenden Mehrwegverpackungen werden soweit möglich rezykliert. Alle nicht rezyklierten EW- und MW- Verpackungen werden über einen Müllverbrennungsprozess thermisch verwertet. Alle Folgeprozesse zur Nutzung der erzielten Sekundärprodukte liegen außerhalb der Systemgrenze.

Die Systemgrenze ist in Abb. 1 dargestellt. Die Abbildung zeigt in Form kleiner Rauten auch die Stellen im Stoffstrom, an denen zentrale Leistungsparameter wirksam werden.

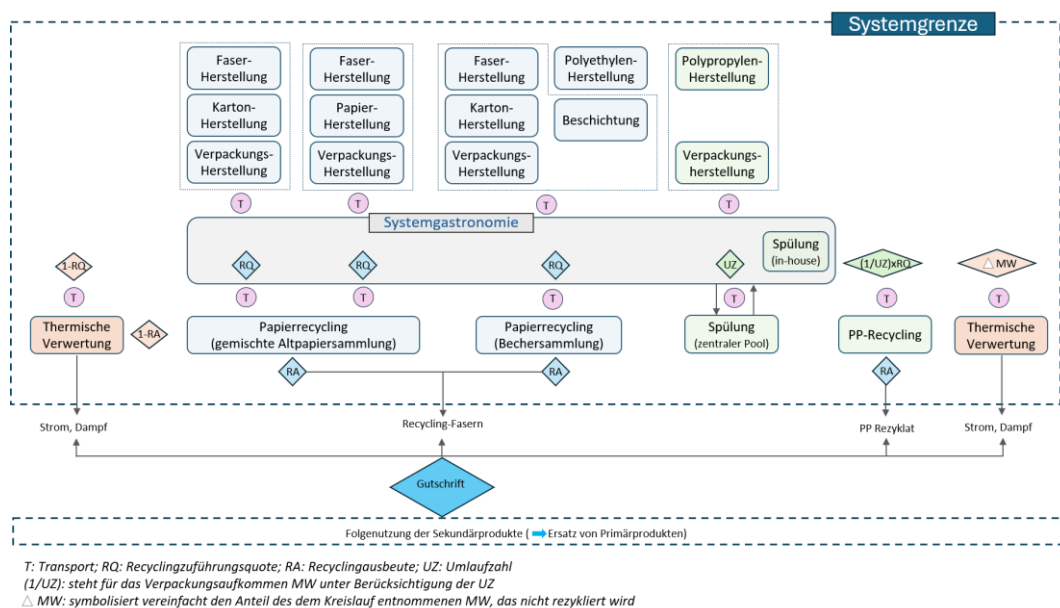


Abbildung 1: Schematisches Systemfließbild der betrachteten EW- und MW-Systeme

Außerhalb des Systems befindet sich, ebenfalls als Raute markiert, eine weitere Stellgröße, die anzeigt, dass die erzielten Sekundärprodukte in gekoppelten Folgesystemen verwertet werden und dort ansonsten benötigte Primärprodukte ersetzen. Dieser Nutzen wird in der Ökobilanz gemäß der hier angewendeten UBA-Methode (Detzel et al. 2016) paritätisch jeweils zwischen dem untersuchten System und einem generischen Folgesystem aufgeteilt. Die Zuordnung erfolgt per Gutschrift und wird in Form eingesparter Umweltlasten vom Umwelt bezogenen Aufwand der einzelnen Verpackungssysteme abgezogen.

1.3.3 Geographischer und zeitlicher Rahmen der Bilanzierung

Prozessdaten

Die in Abb. 1 dargestellten Stoffströme (Verpackungsaufkommen, Recyclingströme, etc.) werden auf Basis der von der GVM spezifisch für Freiburg abgeleiteten Verpackungsspezifikation und Quoten modelliert. Die technischen Prozesse werden mit den aktuellsten verfügbaren Datensätzen modelliert. Die Datensätze (z.B. Herstellung einer Kartonverpackung, Recyclingprozesse, etc.) sollen zudem möglichst angemessen für die Modellierung der Situation in Freiburg sein. Die verfügbaren Datensätze bilden in der Regel den technischen Stand in Deutschland oder ggf. auch Westeuropa ab.

Leistungsparameter

Die relevanten Leistungsparameter werden für die Studie neu ermittelt bzw. anhand bestehender Daten spezifisch für die untersuchten Verpackungssysteme abgeleitet.

1.3.4 Betrachte Umweltwirkungskategorien

In der Studie werden drei Umweltmessgrößen betrachtet:

- Treibhauseffekt:
Summe aller Treibhausgase und dem Indikator CO₂-Äquivalente (CO₂-e)
- Kumulierter Energiebedarf fossil (KEA fossil):
Summe des Aufwands an nicht erneuerbaren Primärenergieträgern

- Kumulierter Energiebedarf gesamt (KEA gesamt):
Summe des Aufwands aller Primärenergieträger (erneuerbare plus nichterneuerbare)

Im Zentrum der Auswertung stehen die ersten beiden Messgrößen. KEA gesamt dient vorwiegend einer ergänzenden Validierung.

1.3.5 Leistungsparameter

Im Rahmen der Studie werden vier Leistungsindikatoren entwickelt, die zum einen als Grundlage für die ökobilanzielle und ökonomische Bewertung der Systeme dienen und zum anderen auch eine eigenständige Indikatorik zur Leistungsfähigkeit der untersuchten Systeme in Bezug auf bestimmte spezialisierte Parameter darstellen.

- Die **Recyclingzuführungsquote** bezieht sich auf den Anteil der erfassten und zur Verwertung zugeführten Einwegverpackungen. Hier wird untersucht, wie viel Prozent der vor Ort ausgegebenen Verpackungen tatsächlich einer stofflichen Verwertung zugeführt werden.
- Die **Rezyklierbarkeit** beschreibt die technische Verwertbarkeit von Einwegverpackungen, die zur Verwertung erfasst und dem Recycling zugeführt werden. Es wird untersucht, inwieweit Barrieren, Lebensmittelanhaftungen und andere Störstoffe die Verwertbarkeit von Papier-, Kunststoff- oder Verbundverpackungen beeinträchtigen.
- Ein wesentlicher Faktor für die Bestimmung der ökologischen und ökonomischen Leistungsfähigkeit von Mehrwegsystemen ist die Anzahl der Wiederverwendungen, die sogenannte **Umlaufzahl**.
- Auf Grundlage dieser Daten und der Bestimmung der Umlaufzahl wird das Verpackungsaufkommen pro definierter Produkteinheit ermittelt. Dabei wird unterschieden zwischen der Gesamtsumme **Verpackungsaufkommen** und dem **Verbrauch von Neumaterial** bei Mehrweg unter Berücksichtigung der Umlaufzahl.

2 Untersuchte Verpackungssysteme

2.1 Identifikation und Auswahl der Verpackungssysteme

Die Begriffe Einwegverpackung und wiederverwendbare Verpackung (hier: Mehrwegverpackung) werden entsprechend den Vorgaben der Verordnung (EU) 2025/40 über Verpackungen und Verpackungsabfälle (EU-VerpackVO) verwendet. Als wiederverwendbar gelten Verpackungen gemäß Art. 11 Abs. 1 EU-VerpackVO, wenn sie für eine mehrfache Verwendung konzipiert und geeignet sind und die dort festgelegten Anforderungen an ihre Wiederverwendbarkeit erfüllen. Einwegverpackungen sind gemäß Art. 3 Abs. 1 Nr. 28 EU-VerpackVO Verpackungen, bei denen es sich nicht um wiederverwendbare Verpackungen handelt.

Die Anfallstellen der betrachteten Einwegverpackungen sind Gastronomie- und Kinobetriebe, in denen Speisen und Getränke zum In-Haus-Verzehr angeboten werden. Im Fokus der Untersuchung stehen (System)Gastronomiebetriebe, wie sie typischerweise im Freiburger Stadtgebiet anzutreffen sind. Ergänzend wird der Einsatz von Einwegverpackungen in Kinobetrieben in Freiburg berücksichtigt.

Aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Verpackungsarten, Materialien und Ausführungen werden die Einwegverpackungen anhand ihres Verwendungszwecks zu funktional vergleichbaren Gruppen zusammengefasst. Die Untersuchung beschränkt sich auf repräsentative Verpackungstypen und typische Füllgrößen, wie sie in den betrachteten Betrieben üblicherweise eingesetzt werden. Diese wurden im Rahmen eines Vor-Ort-Besuchs in Freiburg anhand der Marktrelevanz der Betriebe, typischer Produkte und Menügrößen sowie Bestellbeobachtungen ausgewählt.

Als Grundlage zur ökologischen Bewertung der stofflichen Verwertung dient unter anderem die Beschreibung der Verpackungsspezifikationen der gewählten Verpackungen. Hierzu zählen insbesondere das verwendete Material sowie das Gewicht der jeweiligen Verpackungen. Neben den einzelnen Spezifikationen dient dieses Kapitel der Charakterisierung der einzelnen Verpackungen anhand mehrerer Leistungsindikatoren, welche in der nachfolgenden Tabelle 1 aufgelistet sind. Die Definitionen der Leistungsindikatoren sind Bestandteil der jeweiligen Unterkapitel.

Tabelle 1: Leistungsindikatoren

Einwegverpackungssysteme		
Recyclingzuführungsquote	Rezyklierbarkeit	Rezyklateinsatzquote

Mehrwegverpackungssysteme		
Umlaufzahlen	Recyclingzuführungsquote	Rezyklateinsatzquote

Als Grundlage für die Ermittlung der Ergebnisse der Leistungsindikatoren **Recyclingzuführungsquote**, **Rezyklierbarkeit** und **Rezyklateinsatzquoten** wurden für die Einwegverpackungen folgende Quellen herangezogen:

- Vor-Ort-Beobachtungen
- Vor-Ort-Befragungen von Mitarbeitern
- Vor-Ort-Befragungen des Managements

- Auswertung einschlägiger Studien und Untersuchungen
- Auswertung von Fachliteratur und Fachzeitschriften
- Hintergrundgespräche
- GVM-Datenbanken

Im Rahmen der Vor-Ort-Recherche wurden insgesamt zehn Betriebe der Systemgastronomie und zwei Kinobetriebe besucht, wobei einer der Betriebe einen Verbund aus drei Kinos umfasst. In sieben der zehn Betriebe der Systemgastronomie wurden die hier relevanten Einwegverpackungen benutzt.

Bei den Besuchen standen insbesondere die betrieblichen Abläufe im Umgang mit gebrauchten Einwegverpackungen im Mittelpunkt. Hierzu wurden sechs Gespräche mit Mitarbeitern geführt und die Abläufe vor Ort beobachtet. Zentrale Befragungs- und Beobachtungspunkte waren:

1. Welche Einwegverpackungen fallen im Betrieb an?
2. In welchem Zustand werden diese von den Gästen zurückgelassen (z. B. leer oder mit Speise- bzw. Getränkeresten)?
3. Wie erfolgt die Rückgabe bzw. Sammlung der Verpackungen durch Personal und Gäste?
4. Wie sind die vorhandenen Sammelsysteme ausgestaltet? Gibt es separate Sammelstellen für bestimmte Verpackungsarten, wie bspw. Getränkebecher?
5. Werden Speise- und Getränkereste vor der Entsorgung bzw. weiteren Behandlung entsorgt?
6. Wie lange verbleiben die Verpackungen in der Rückgabestation?
7. Ab welchem Verschmutzungsgrad werden Einwegverpackungen dem Restmüll zugeordnet?

Nicht in allen besuchten Betrieben war ein Gespräch mit Mitarbeitern möglich bzw. konnten daraus weiterführende Erkenntnisse gewonnen werden. Unabhängig davon wurden in allen Betrieben, wenn möglich, Beobachtungen zu den oben gelisteten Punkten durchgeführt.

Aufgrund der Standardisierung der Strukturen und Verpackungen innerhalb der jeweiligen Systemgastronomieketten wurden zusätzlich acht Hintergrundgespräche mit Herstellern/Vertreibern der untersuchten Verpackungen, Verbänden und technischen Experten geführt.

Nach Identifikation und Bewertung der relevanten Einwegverpackungen erfolgt die Zuordnung entsprechender Mehrwegverpackungen zu den einzelnen Einwegverpackungssystemen. Dabei werden Mehrwegverpackungen ausgewählt, die hinsichtlich ihres Verwendungszwecks, ihrer Füllgröße sowie ihrer funktionalen Eigenschaften mit den jeweiligen Einwegverpackungen vergleichbar sind und diese ersetzen können.

Analog zu den Einwegverpackungen erfolgt die Beschreibung der ausgewählten Mehrwegverpackungen anhand ihrer Verpackungsspezifikationen (insbesondere Material und Gewicht). Fokus für diese sind dann die Umlaufzahlen unter Berücksichtigung von drei Szenarien, die sich u. a. hinsichtlich Bereitstellung, Organisation, offen/geschlossenes System sowie Ort der Spülung unterscheiden. Zusätzlich wird die Recyclingzuführungsquote und die Rezyklateinsatzquote der ausgewählten Mehrwegverpackungen beschrieben.

Als Grundlage für die Ermittlung der Ergebnisse der Indikatoren **Umlaufzahlen**, **Recyclingquote** und **Rezyklateinsatzquoten** wurden folgende Quellen herangezogen:

- Auswertung einschlägiger Studien und Untersuchungen

- Auswertung von Fachliteratur und Fachzeitschriften
- Auswertung von GVM-Studien zu „Mehrweg“
- Informationen der Systemanbieter
- GVM-Datenbanken

2.2 Beschreibung der Einwegverpackungssysteme

2.2.1 Spezifikationen der betrachteten Einwegverpackungssysteme

Ein Untersuchungsgegenstand dieses Gutachtens sind Einwegverpackungen für den In-Haus-Verzehr in der Systemgastronomie sowie in Kinos. Aufgrund der großen Vielfalt an Einwegverpackungen unterscheiden sich diese hinsichtlich ihrer Form, Größe, Materialzusammensetzung und ihres Verwendungszwecks zum Teil erheblich. Neben klassischen Getränkebechern für Getränke kommen unter anderem Burger-, Pommes-, Popcornverpackungen sowie zahlreiche weitere spezialisierte Verpackungslösungen zum Einsatz.

Um eine Bewertung zu ermöglichen, erfolgt im Rahmen dieses Fachgutachtens eine Standardisierung auf typische und im Stadtgebiet Freiburg häufig verwendete Verpackungsarten (siehe Vorgehensweise in 2.1). Hierzu werden die untersuchten Einwegverpackungen zunächst in folgende Produktcluster eingeteilt:

- Getränkebecher auf Papierbasis mit Polyethylen (PE) Beschichtung,
- Verpackungen für Burger
- Pommesschale
- Popcornverpackungen

Diese erste Clusterung wird durch eine weitere Differenzierung ergänzt, indem den einzelnen Verpackungskategorien, wenn sinnvoll, unterschiedliche Füllgrößen zugeordnet werden. Für Getränkebecher und Popcornverpackungen werden je zwei Größen berücksichtigt. Im Fall der Popcornverpackungen sind diese auch anders aufgebaut. Die übrigen Verpackungsarten werden jeweils in einer repräsentativen Standardausführung untersucht.

Auf diese Weise ergeben sich insgesamt sieben untersuchte Einwegverpackungssysteme, die die Grundlage der weiteren Analysen bilden. Eine Übersicht der berücksichtigten Verpackungssysteme ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 2: Übersicht der Einwegverpackungssysteme

Kürzel	Verpackungsart	Systeme
01_Becher	Becher auf Papierbasis mit PE-Beschichtung	
01_Becher_a	0,25 l Füllgröße	2 Systeme
01_Becher_b	0,5 l Füllgröße	
02_Burger	Verpackungen für Burger	
02_Burger_a	Burgerbox	2 Systeme
02_Burger_b	Einwickelpapier	

03_Pommes	Pommesschale	1 System
04_Popcorn	Popcornverpackungen	
04_Popcorn_a	Klein (Tüte)	2 Systeme
04_Popcorn_b	Groß (Faltschachtel)	
Gesamt:		7 Systeme

Für die ökologische Bewertung werden die Serviceverpackungen hinsichtlich ihrer Materialzusammensetzung und ihrer Gewichte beschrieben. Hierfür wurden typische, am Markt übliche Ausführungen der jeweiligen Verpackungsart hinsichtlich ihrer Materialzusammensetzung und Standardabmessungen betrachtet. Die angegebenen Werte stellen Durchschnittswerte dar. Die Darstellung erfolgt getrennt nach den verschiedenen Verpackungsgruppen:

Getränkebecher auf Papierbasis bestehen aus Karton mit einer innenliegenden PE-Beschichtung als Flüssigkeitsbarriere. Für die Untersuchung werden Becher mit Füllgrößen von 0,25 und 0,5 l gewählt. Die angesetzten Gewichte liegen je nach Füllgröße bei 7,6 g bzw. 13,0 g.

Bei den **Burgerverpackungen** handelt es sich zum einen um eine Faltschachtel aus Karton und zum anderen um ein Einwickelpapier, wie sie bei zwei großen Systemgastronomieketten standardmäßig eingesetzt werden. Beide Verpackungen sind unbeschichtet. Die Kartonschachtel wiegt etwa 13,0 g, das Einwickelpapier rund 3,0 g.

Als **Pommesverpackung** wird in diesem Vorhaben eine Pommesschale aus Karton betrachtet, wie sie in der Systemgastronomie üblicherweise für mittlere und größere Portionen eingesetzt wird. Teilweise kommen alternativ leichtere Papiertüten zum Einsatz, diese sind jedoch nicht Teil des Untersuchungsgegenstands. Die betrachtete Pommesschale ist unbeschichtet und wiegt ca. 7,6 g.

Für die **Popcornverpackungen** werden zwei Größen mit anderen Ausführungen betrachtet. Die kleine Popcorn-Tüte (Füllvolumen ca. 1,3 l) besteht aus Papier, während die größere Faltschachtel (Füllvolumen ca. 2,4 l) aus Karton ist. Die angesetzten Gewichte liegen bei 10,0 bzw. 21,6 g.

Die nachfolgende Tabelle stellt für die zuvor beschriebenen Verpackungsarten den jeweils zugrunde gelegten Materialmix sowie die typischen Stückgewichte dar. Die angegebenen Gewichte beziehen sich ausschließlich auf die leere Verpackung ohne Lebensmittelmüllrückstände.

Tabelle 3: Verpackungsspezifikation der Einwegverpackungen

Kürzel	Verpackungsart	Materialmix	Masse
01_Becher_a	Getränkebecher 0,25 l	Karton + PE	8 g
01_Becher_b	Getränkebecher 0,5 l	Karton + PE	13 g
02_Burger_a	Burgerbox	Karton	13 g
02_Burger_b	Einwickelpapier	Papier	3 g
03_Pommes	Pommesschale	Karton	8 g
04_Popcorn_a	Popcorn-Tüte	Papier	10 g
04_Popcorn_b	Popcorn-Faltschachtel	Karton	22 g

2.2.2 Recyclingzuführungsquoten

Die Bestimmung der Recyclingzuführungsquote von Einwegverpackungen in der Systemgastronomie und in Kinos unterscheidet sich grundlegend von haushaltsnahen Verpackungsabfällen. Die Verpackungen fallen an vergleichbaren Anfallstellen gemäß § 3 Abs. 7 des Verpackungsrecht-Durchführungsgesetz (VerpackDG) an und entstehen in einem kontrollierten gewerblichen Umfeld. Dadurch können die Verpackungen gezielt erfasst werden. Im Vergleich zu haushaltsnahen Sammelsystemen bestehen aufgrund der homogenen Verpackungsströme und der zentralen Sammlung grundsätzlich gute Voraussetzungen für hohe Recyclingzuführungsquoten.

Die tatsächlich erzielbare Recyclingzuführungsquote hängt maßgeblich von der Ausgestaltung des Sammelsystems vor Ort ab. Nicht alle ausgegebenen Verpackungen gelangen in den vorgesehenen Behälter. Wesentliche Einflussfaktoren sind u. a.:

- Die Einwegverpackungen werden teilweise mitgenommen, bspw. wenn das Getränk noch nicht vollständig ausgetrunken wurde, und anschließend außerhalb des Betriebs über den Restmüll entsorgt wird.
- Das Personal und die Gäste werfen die Verpackungen in die falsche Müllfraktion.
- Die Verpackungen sind zu sehr verschmutzt und müssen über den Restmüll entsorgt werden.

Für die Bestimmung der Recyclingzuführungsquote ist daher nicht allein die Anzahl der ausgegebenen und gesammelten Verpackungen maßgeblich. Die Recyclingzuführungsquote bezeichnet den Anteil der Masse der Verpackungen, die einer stofflichen Verwertung zugeführt werden, an der Gesamtmasse der vom Betrieb ausgegebenen Verpackungen. Entscheidend ist somit, welcher Anteil der ausgegebenen Verpackungen unter realen Bedingungen tatsächlich über die vorgesehenen Sammelbehälter erfasst und anschließend einer werkstofflichen Verwertung zugeführt wird.

Der In-Haus-Verzehr bietet gegenüber dem Außer-Haus-Verzehr günstigere Voraussetzungen für eine stoffliche Verwertung papierbasierter Verpackungen, da die Verpackungen innerhalb einer kontrollierten Umgebung anfallen und gezielt gesammelt werden können. Bei einer konsequenten getrennten Sammlung können papierbasierte Verpackungen aus der Systemgastronomie grundsätzlich in einer für das Recycling geeigneten Qualität erfasst werden. Entscheidend sind dabei insbesondere die Trennung unterschiedlicher Verpackungsmaterialien, die Entfernung von nennenswerten Speise- und Getränke- und Getränkeresten sowie eine sorgfältige Kontrolle des gesammelten Materials. Eine mitarbeitergeführte Sortierung im rückwärtigen Bereich des Restaurants kann dazu beitragen, Fehlwürfe und verbliebene Inhalte zu entfernen und damit die Qualität des Sammelmaterials zu erhöhen.

Bezüglich der einer stofflichen Verwertung zugeführten Menge besteht ein Zielkonflikt zwischen Quantität und Qualität. Eine gründliche Vorsortierung sowie eine strenge Kontrolle des Verschmutzungsgrades können dazu führen, dass insgesamt eine geringe Menge an Einwegverpackungen der stofflichen Verwertung zugeführt wird. Gleichzeitig lässt sich dadurch eine höhere Qualität der zurückgewonnenen Fasern gewährleisten. Eine weniger konsequente Vorsortierung und großzügigere Handhabung der Qualitätsanforderungen können hingegen die der stofflichen Verwertung zugeführten Menge erhöhen, gehen jedoch in der Regel mit einer geringen Faserqualität einher.

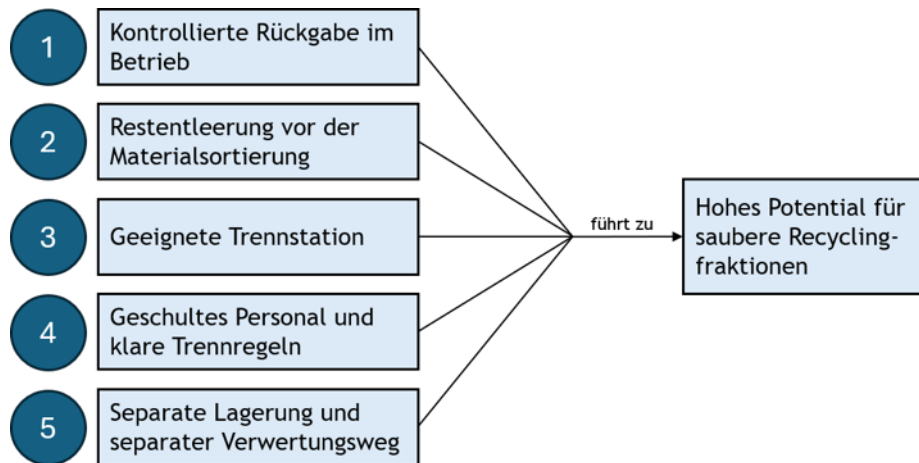


Abbildung 2: Einflussfaktoren auf Recyclingzuführungsquote

In allen untersuchten Betrieben in Freiburg wurde eine mitarbeitergeführte Sortierung festgestellt. Die Gäste gaben die verwendeten Serviceverpackungen an einer Tablett-Rückgabestation zurück. In nahezu allen Betrieben wies eine entsprechende Kennzeichnung darauf hin, dass Papierbecher separat auf der Oberseite der Rückgabestation abgestellt werden sollten. Anschließend brachte das Personal entweder den gesamten Rückgabewagen oder einzelne Tablets in einen separaten Raum zur weiteren Sortierung. Die beobachteten Abläufe weisen somit auf ein grundsätzlich vorhandenes Potenzial für eine hochwertige getrennte Sammlung hin.

Wie in Kapitel 2.1 bereits geschrieben, kamen für die Bearbeitung der Leistungsindikatoren für die Einwegverpackungen eine Vielzahl unterschiedlicher Quellen zum Einsatz. Um die Recyclingzuführungsquoten zu bestimmen, wurden dabei die Erkenntnisse aus den Vor-Ort-Beobachtungen, der Austausch mit den Mitarbeitenden und dem Management durch eine Literaturrecherche ergänzt. Die GVM-Datenbank diente zum Abgleich der erarbeiteten Quoten.

Tabelle 4: Recyclingzuführungsquote

Verpackungsart	Recyclingzuführungsquote	Begründung
Burgerbox	80,9 %	Verpackungen für Speisen werden kaum aus dem Restaurant mitgenommen, Vorsortierung durch Personal in Trennstation, Kontakt mit Produktinhalt größtenteils über Brötchenunterseite (trocken), geringe Verschmutzung.
Pommesschale	76,6 %	Verpackungen für Speisen werden kaum aus dem Restaurant mitgenommen, Vorsortierung durch Personal in Trennstation, flächendeckender Kontakt mit Produktinhalt, mögliche Verschmutzungen durch Fett und Saucenrückstände.
Einwickelpapier für Burger	71,6 %	Verpackungen für Speisen werden kaum aus dem Restaurant mitgenommen, Vorsortierung durch Personal in Trennstation, flächendeckender Kontakt mit Produktinhalt, geringer Anteil an starker Verschmutzung reicht für Entsorgung über Restmüll aus.

Getränkebecher 0,25 Liter	74,9 %	Verpackungen für Getränke werden öfters aus dem Restaurant mitgenommen, separate Sammlung über Trennstation, Restentleerung von Personal, je nach Systemgastronomiekette teils eigenes Becherrecycling.
Getränkebecher 0,5 Liter	72,5 %	Verpackungen für Getränke werden öfters aus dem Restaurant mitgenommen (größere häufiger als kleine Füllgrößen), separate Sammlung über Trennstation, Restentleerung von Personal, je nach Systemgastronomiekette teils eigenes Becherrecycling.
Popcorn-Faltschachtel	0,3 %	Verpackungen für Popcorn werden nur selten aus dem Betrieb mitgenommen, in diesem Fall erfolgt keine Restentleerung und Vorsortierung, alle Serviceverpackungen werden in Restmüllfraktion entsorgt.
Popcorn-Tüte	87,4 %	Verpackungen für Popcorn werden nur selten aus dem Betrieb mitgenommen, Sammlung und Restentleerung nach jeder Vorstellung, Vorsortierung durch Personal, Großteil über Altpapier entsorgt.

In dem folgenden Rechenbeispiel wird die Herleitung der Recyclingzuführungsquote der Burgerbox dargestellt:

Erfassungsquote in der Systemgastronomie: 96 %

Die Erfassungsquote im Betrieb beschreibt den Anteil aller für den Inhouse-Verzehr ausgegebenen Verpackungen, die im Betrieb anfallen. Wenige Verpackungen verlassen aufgrund ihrer Beschaffenheit, dem Produktinhalt und ihrem „Mitnahme-Faktor“ die Anfallstelle.

Recyclingquote der gesammelten Menge: 83 %

Die Recyclingquote wurde u. a. auf Grundlage folgender Quellen bestimmt:

- Allgemeine Aussagen aus Gastronomie, Literatur und Gesprächen, beispielsweise „überwiegender Teil der separat gesammelten papierbasierten Foodservice-Verpackungen für das Recycling sauber“, „hoher Anteil, gute Sortierung und Trennung“, „immer eine (Nach-)Sortierung in den Schnellrestaurants“, „Material nur kurze Zeit beansprucht und daher sauber genug“.
- Erkenntnisse aus Freiburg, quantitative Aussagen von den Betrieben
- GVM-Datenbank, Recyclingzuführungsquoten für diese Art von Serviceverpackungen

Erfassungsquote außerhalb der Gastronomie: 4 %

Rest; 100 % - 96 % (Erfassungsquote in der Systemgastronomie)

Recyclingquote der gesammelten Menge, die den Betrieb verlassen: 30 %

Für die mitgenommen Serviceverpackungen wird angenommen, dass 30 % einer stofflichen Verwertung zugeführt werden. Die Größenordnung orientiert sich an älteren UBA-Untersuchungen zu Einweg-Kaffeebechern, nach denen 58 % über den Restmüll entsorgt wurden; auch ein Teil der getrennt

erfassten Becher wurde nicht stofflich verwertet, sodass der tatsächliche Anteil, der einer stofflichen Verwertung zugeführten Verpackungen, unterhalb der ausgewiesenen 35 % „Wertstoffsammlung“ lag. Da der Wert maßgeblich vom Nutzerverhalten abhängt, wurde hierfür bewusst ein konservativer Wert gewählt.

Recyclingzuführungsquote: $96 \% \times 83 \% + 4 \% \times 30 \% = 80,9 \%$

Einwegverpackungen, die für den In-Haus-Verzehr ausgegeben werden, fallen überwiegend in der Systemgastronomie und in Kinos an. Dabei ist zu berücksichtigen, dass einzelne Verpackungen den Verzehrort auch verlassen können. So werden beispielsweise Getränkebecher, insbesondere mit größerem Füllvolumen, möglicherweise häufiger mitgenommen als kleinere, etwa wenn sie noch Restgetränke enthalten. Verpackungen, die den Betrieb verlassen, können immer noch stofflich verwertet werden. Dies kann entweder zu Hause oder in getrennten Müllbehältern wie beispielsweise in Innenstädten oder Bahnhöfen erfolgen. Es ist jedoch damit zu rechnen, dass ein Großteil der mitgenommenen Verpackungen im Restmüll landen. Der Anteil, der von den mitgenommenen Einwegverpackungen einer stofflichen Verwertung zugeführt wird, ist in der oben angegebenen Quote berücksichtigt, macht aber nur einen geringen Anteil aus.

Bei der Popcorn-Faltschachtel ist die niedrige Recyclingzuführungsquote von 0,3 % darauf zurückzuführen, dass bei der Sammlung in dem Betrieb nicht getrennt wird und alle Einwegverpackungen, teilweise mit Restinhalten, im Restmüll entsorgt werden. Dies trifft auf den Freiburger Standort einer deutschlandweit vertretenen Kinokette zu. Dadurch können die Einwegverpackungen nicht mehr in das Altpapierrecycling eingehen. Dass der Wert nicht bei 0 % liegt, erklärt sich dadurch, dass in der Erarbeitung der Recyclingzuführungsquote berücksichtigt ist, dass ein sehr kleiner Teil der ausgegebenen Faltschachteln nach der Vorstellung mitgenommen wird und zu Hause oder an anderen Orten in der Altpapierfraktion entsorgt wird.

Wie eine Vorsortierung, Restentleerung und Trennung der Einwegverpackungen die Recyclingzuführungsquote positiv beeinflusst, zeigt sich im Vergleich zur Popcorn-Tüte. Durch die Sammlung nach jeder Vorstellung und Entleerung der Restinhalte am Folgetag, kann der Großteil der ausgegebenen Verpackungen der stofflichen Verwertung zugeführt werden.

2.2.3 Rezyklierbarkeit

Dieses Kapitel beschreibt den Leistungsindikator **Rezyklierbarkeit**, also die Fähigkeit einer Einwegverpackung, nach seiner Nutzung technisch so aufbereitet zu werden, dass die enthaltenden Rohstoffe einer stofflichen Verwertung zugeführt werden können. Dabei gibt es mehrere Faktoren, die den Aufbereitungs- und Verwertungsprozess negativ beeinflussen können. In diesem Kapitel gilt zu klären, ob die Einwegverpackungen durch ihre Materialzusammensetzungen, Barrierebeschichtungen, Druckfarben, Schutzlacke, Klebstoffe und Lebensmittelanhaftungen überhaupt einer stofflichen Verwertung zugeführt werden können.

Aufgrund ähnlicher Voraussetzungen gelten die Verpackungen für Speisen als PPK-Monoverpackungen. Die Getränkebecher fallen aufgrund der Barriere aus Kunststoff in die Fraktion der PPK-Verbundverpackungen.

Die Rezyklierbarkeit der untersuchten Einwegverpackungen wird anhand derjenigen Bestandteile und Verunreinigungen bewertet, die den Aufbereitungs- und Verwertungsprozess beeinflussen können. Betrachtet werden funktionelle Barrierebeschichtungen, Druckfarben, Schutzlacke, Klebstoffe sowie Lebensmittelanhaftungen. Die Lebensmittelanhaftungen werden zusätzlich in drei Verschmutzungsgrade eingeteilt. Die abschließende Bewertung erfolgt in den Kategorien geringes, mittleres und hohes Störpotenzial bzw. Rezyklierbarkeit.

Die Bewertung der Rezyklierbarkeit papierbasierter Einwegverpackungen unterliegt derzeit keiner einheitlichen Norm. Grundsätzlich wird der Ertrag an Faserstoff aus der Zerfaserung bewertet. Rejekte sind

hingegen die Bestandteile einer Verpackung, die im Aufbereitungsprozess nicht zu einem verwertbaren Faserstoff aufbereitet werden können und daher aus dem Prozess ausgeschleust werden.

Dabei wird zwischen folgenden Rejektarten unterschieden:

- Grobrejekte bestehen aus größeren, nicht zerfaserten oder nicht dispergierbaren Bestandteilen wie Kunststofffolien, Aluminium, groben Beschichtungen oder größeren Verpackungsbestandteilen.
- Feinrejekte umfassen kleinere Partikel und Faserstoffverluste, die während der Sortierung und Reinigung zusammen mit feinen Störstoffen ausgeschieden werden.
- DCS (Dissolved and Colloidal Substances) sind gelöste und kolloidal vorliegende organische Stoffe, beispielsweise Klebstoffbestandteile, Beschichtungen, Druckfarbenbestandteile oder Bindemittel. Sie können sich im Prozesswasser anreichern und zu Ablagerungen, Schaum oder klebrigen Störstoffen (Stickies) führen.

Zusätzlich können Abschlüsse aufgrund einer negativen Faserqualität erfolgen. Ebenso fließen Verunreinigungen, beispielsweise Schmutzpunkte, sowie klebrige Bestandteile als potenzielle Störstoffe für die erneute Papierherstellung in die Bewertung ein.

Für die Bewertung der Rezyklierbarkeit anhand der Barriereigenschaften muss zunächst der Materialaufbau der Einwegverpackungen definiert sein. Entscheidend ist, ob die erforderliche Fett- bzw. Feuchtigkeitsbeständigkeit durch das Fasermaterial selbst oder durch eine zusätzliche Barrierschicht aus einem anderen Material erreicht wird.

Die untersuchten Burger- und Pommesverpackungen, Einwickelpapiere und Popcornverpackungen werden nach den vorliegenden Hersteller- und Unternehmensangaben als faserbasierte Monomaterialverpackungen ohne Kunststoffbeschichtungen eingeordnet. Bei den untersuchten Verpackungen ist davon auszugehen, dass die Barrierewirkung durch den Papier- bzw. Kartonaufbau oder eine fettbeständige Faserlage erreicht wird.

Da keine abgrenzbare Kunststoffschicht, Kunststoffkaschierung oder sonstige Barrierekonstruktion erkennbar bzw. angegeben ist, sind diese Verpackung den PPK-Monoverpackungen zuzuordnen. Im Altpapierprozess ist daher keine gesonderte Aufbereitung erforderlich. Auf Grundlage des reinen Materialaufbaus der Barriere ist eine weitgehende Zerfaserung und Rückgewinnung der Papierfasern zu erwarten.

Das von den Barriereigenschaften ausgehende Störpotenzial wird für diese Verpackungen als gering eingestuft. Bei einer Bewertung ausschließlich auf Basis des Materialaufbaus ist die Rezyklierbarkeit dementsprechend hoch.

Neben dem Papierstofftertrag beeinflusst insbesondere der Verbundaufbau die Rezyklierbarkeit einer Verpackung. Je komplexer die Materialkombinationen und je stärker Papier mit anderen Werkstoffen verbunden ist, desto schwieriger ist die Trennung der einzelnen Komponenten während der Faserstoffaufbereitung.

Folgende Verbundaufbauten gelten als stark eingeschränkt beziehungsweise nicht recyclingfähig:

- a. beidseitig hochnassfeste Papiere,
- b. einseitig hochnassfeste Papiere,
- c. beidseitig beschichtete Papiere,
- d. Papiere mit Aluminiumanteil (in der Regel ist lediglich der Aluminiumanteil recyclingfähig),
- e. einseitig kunststoffbeschichtete Papiere.

Kann eine Papierverbundverpackung nicht über den konventionellen Altpapierkreislauf stofflich verwertet werden, bestehen besondere Anforderungen an die Trennung der einzelnen Wertstoffe. Für eine hochwertige stoffliche Verwertung der enthaltenen Rohstoffe müssen Spezialprozesse den konventionellen Recyclingprozess ergänzen.

Eine Untersuchung zur Recyclingfähigkeit von Faltschachteln und Materialkombinationen vom *Fachverband Faltschachtel-Industrie e.V.* und *PTS – Institut für Fasern & Papier gGmbH* kam zu dem Ergebnis, dass papierbasierte Getränkebecher mit PE-Beschichtung grundsätzlich in spezialisierten Anlagen

verwertet werden können. Ihre Aufbereitung ist jedoch aufwendiger als die von unbeschichteten Papierverpackungen. Bei beidseitig beschichteten Papieren ist eine schlechtere Auflösung des Faserstoffanteils zu erkennen als bei einseitig beschichteten Materialien. Die beidseitige Barriere behindert das Eindringen des Prozesswassers in die Papierstruktur. Auch die Dauer der Zerfaserung hat einen wesentlichen Einfluss auf die Faserausbeute. Mit zunehmender Dauer kann grundsätzlich ein größerer Anteil der Papierfasern zurückgewonnen werden. Ein Teil des Faserstoffs verbleibt während der Aufbereitung an der PE-Barriere und wird gemeinsam mit dieser als Rejekt aus dem Prozess entfernt. Dadurch fällt der Faserstofftrag geringer aus als bei einer Verpackung ohne Kunststoffbeschichtung.

Kunststoffbeschichtete oder hochnassfeste Papierverbunde sind aufgrund der erschwerten Zerfaserung, geringerer Fasererträge und höherer Rejektmengen nur eingeschränkt beziehungsweise in Spezialanlagen stofflich verwertbar.

Druckfarben werden im Standardrecycling nicht durch die Flotation entfernt, wodurch sie farbige Partikel (Schmutzpunkte) im Rezyklat bilden, d. h. diese grundsätzlich im Faserstoff bleiben. Diese Schmutzpunkte können in einem weiteren Schritt aufbereitet werden, sodass diese nicht mehr als störend empfunden werden. Nahezu alle Druckfarben werden als rezyklierbar eingestuft. Auch **Schutzlacke** sind über den Standardprozess im Altpapierrecycling rezyklierbar. Wie Drucke, verursachen sie aber auch Schmutzpunkte im Rezyklat. Die Untersuchung zur Recyclingfähigkeit von Faltschachteln und Materialkombinationen vom FFI und PTS kam zu dem Ergebnis, dass der recyclingfähige Anteil von bedruckten und lackierten Verpackungen bei annähernd 100 % lag. Auch *4evergreen* hat in einem Design-Leitfaden von papierbasierten Verpackungen diese Einschätzungen geteilt. Grundlage für die Einordnung waren Expertenmeinungen. Die Empfehlungen beziehen sich auf das Recycling in Papierfabriken mit konventionellen Recyclingverfahren.

Bei **Klebstoffen**, beispielsweise an der Bodennaht der Popcornrüte oder der Seitennaht der Burgerverpackung, wurde in der Untersuchung vom FFI und PTS eine vergleichbare Einschätzung getroffen: Die Faserausbeute war nahezu maximal, und der Eintrag klebender Bestandteile durch Klebstoffreste in das Rezyklat wurde als unkritisch bewertet. Dies entspricht der Leitlinie von *4evergreen*, die stärkebasierte Klebstoffe für Seitennähte sowie Stärke- und PVA-Klebstoffe für Bodenverklebungen als vollständig kompatibel mit dem konventionellen Recyclingprozess einstuft.

Das größte Problem bezüglich der Rezyklierbarkeit von Einwegverpackungen sind Restanhaftungen von Speisen und Flüssigkeiten.

Restanhaftungen auf papierbasierten Verpackungen können die stoffliche Verwertung erheblich beeinträchtigen. Nach DIN EN 643 gehören Lebensmittelreste und andere organische Abfälle grundsätzlich nicht in das Altpapier. Fette, Eiweiße, Kohlenhydrate und Feuchtigkeit bieten günstige Bedingungen für die Vermehrung von Mikroorganismen. Dies ist insbesondere deshalb problematisch, weil gebrauchte Verpackungen häufig über einen längeren Zeitraum gelagert werden, bevor sie dem Recyclingprozess zugeführt werden. Infolgedessen können Gerüche, Schimmelbildung und Schädlingsbefall entstehen.

Auch im Recyclingprozess selbst können Lebensmittelanhaftungen zu Schwierigkeiten führen. Mit dem verunreinigten Material gelangen Mikroorganismen und organische Bestandteile in die Anlagen, wo sie Ablagerungen, Korrosion und Prozessstörungen verursachen können. Gleichzeitig können der Bedarf an Chemikalien sowie die Kosten für die Aufbereitung und Entsorgung von Störstoffen steigen. Darüber hinaus kann die Qualität des stofflich verwerteten Endprodukts beeinträchtigt werden, beispielsweise durch Gerüche oder mikrobiologische Verunreinigungen. Dadurch kann das gewonnene Material für den ursprünglich vorgesehenen Verwendungszweck ungeeignet werden. (Bleichschmidt et al., *Papierverarbeitungstechnik*, 2. Aufl.)

Die *Confederation of European Paper Industries* (CEPI) weist jedoch darauf hin, dass die stoffliche Verwertung faserbasierter Produkte mit Lebensmittelanhaftungen nicht grundsätzlich ausgeschlossen ist. Entscheidend sind vielmehr Art und Umfang der Verunreinigungen. Lebensmittel, Flüssigkeiten und andere Verunreinigungen sollten daher möglichst bereits am Entstehungsort aus den Verpackungen entfernt werden. Im Sortierbereich sind organische Abfälle und papierbasierte Verpackungen so weit wie möglich voneinander zu trennen. Geringfügige Spuren und Flecken können dabei noch tolerierbar sein. Größere, klar erkennbare Speisereste, beispielsweise Pommes oder Saucenrückstände, stellen

hingegen ein erhebliches Störpotenzial dar. Zudem dürfen die papierbasierten Verpackungen nicht vollständig durchweicht sein, da dies die Eignung für die stoffliche Verwertung beeinträchtigen kann (4evergreen, *Guidance on Collection and Sorting*, 2026).

Auch Fehlwürfe, etwa nicht entleerte Ketchup-Sachets in der Papierfraktion, können die Qualität des gesamten Sammelmaterials beeinträchtigen. Bereits ein geringer Verschmutzungsanteil kann dazu führen, dass das Material nicht mehr stofflich verwertet werden kann und stattdessen energetisch verwertet wird.

Nachfolgend werden **drei Verschmutzungsgrade** berücksichtigt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine Restentleerung so gut es geht, ausgeübt wird:

Minimale Verschmutzung: Die Verpackung ist nach der Restentleerung weitgehend sauber, trocken und formstabil. Zulässig sind nur einzelne Krümel, Salzreste oder kleine Fettflecken.

Durchschnittliche Verschmutzung: Die Verpackung weist deutlich sichtbare Fett-, Öl- oder leichte Sauceflecken auf, bleibt aber überwiegend trocken und gut handhabbar. Es sind weder größere Speisereste noch übertragbare oder großflächig durchweichende Rückstände vorhanden.

Starke Verschmutzung: Die Verpackung ist großflächig fettgesättigt, feucht, weich oder durchweicht und enthält noch anhaftende Speisereste. Sie kann kleben, stark riechen oder sich bereits strukturell auflösen und dadurch die gesamte PPK-Fraktion verunreinigen.

Papierbasierte Getränkebecher mit PE-Beschichtung gelten grundsätzlich als technisch rezyklierbar, sofern sie in geeigneten Faseraufbereitungsanlagen verarbeitet werden. Im Rahmen der Faseraufbereitung werden die Papierfasern durch Zerkleinerung zurückgewonnen, während die PE-Beschichtung als Rejekt vom Faserstoff getrennt und in der Regel energetisch verwertet wird. Die technische Rezyklierbarkeit wird insbesondere anhand der Faserstoffausbeute sowie weiterer Qualitätsparameter wie der Rejektmenge, dem Stickies-Gehalt, optischen Verunreinigungen und der Prozesswasserqualität bewertet.

In einer Untersuchung von PROPAKMA aus dem Jahr 2025 wurden bei PE-beschichteten Getränkebechern Rejektverluste von über 5 % festgestellt. Darüber hinaus können Klebstoffe und Druckfarben die Faseraufbereitung beeinträchtigen, indem sie Stickies oder optische Verunreinigungen verursachen.

Die Ergebnisse beziehen sich auf standardisierte Laboruntersuchungen. Unter Praxisbedingungen können zusätzlich anhaftende Getränke- und Lebensmittelreste den Aufbereitungsaufwand erhöhen. Geringfügige oberflächliche Verunreinigungen lassen sich im Rahmen der Faseraufbereitung in der Regel entfernen, während stärkere Verschmutzungen die Qualität des zurückgewonnenen Faserstoffs sowie die Faserausbeute beeinträchtigen können.

Die Studie kam zu dem Ergebnis, dass papierbasierte Verpackungen für feuchte oder flüssige Lebensmittel, wie beispielsweise Getränkebecher, für die Verwertung im konventionellen Altpapierkreislauf in der Regel nur eingeschränkt geeignet sind. Die für diese Anwendungen erforderlichen Barrierschichten führen in der Standard-Altpapieraufbereitung zu Problemen, da sie sich nicht ausreichend von den Papierfasern trennen lassen. Insbesondere Siegelschichten können während der Aufbereitung klebrige Bestandteile bilden und dadurch den Papierherstellungsprozess erheblich stören.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Rezyklierbarkeit der PPK-Monoverpackungen im Wesentlichen durch Lebensmittelanhaftungen beeinträchtigt werden kann. Andere Faktoren wie Drucke, Schutzlacke und Klebstoffe stufen wir auf Grundlage der Literaturrecherche und den geführten Hintergrundgesprächen als unkritisch ein.

PPK-Verbundverpackungen, wie beispielsweise Getränkebecher, sind hingegen über die Standard-Altpapieraufbereitung nur eingeschränkt rezyklierbar, da ihre Aufbereitung im Vergleich zu PPK-Monoverpackungen deutlich aufwendiger ist. In speziellen Anlagen ist aber auch hier eine stoffliche Verwertung des Faseranteils möglich, vorausgesetzt natürlich, die Becher werden diesen Anlagen auch zugeführt.

Geschlossene Sammlung- und Recyclingkreisläufe können die tatsächliche Rezyklierbarkeit zusätzlich verbessern. Dies zeigt das Beispiel einer Systemgastronomiekette, bei der beschichtete Getränkebecher getrennt erfasst und einem speziell darauf abgestimmten Faseraufbereitungsprozess zugeführt

werden. Durch den weitgehend homogenen Stoffstrom und den geringen Fremdstoffanteil können auch beschichtete Getränkebecher stofflich verwertet werden. Das Beispiel verdeutlicht, dass neben der Rezyklierbarkeit der Verpackung insbesondere die Organisation der Sammlung sowie die Qualität der Trennung wesentliche Voraussetzungen für eine hochwertige stoffliche Verwertung darstellen.

2.2.4 Sekundärfaser-Einsatzquoten

Bei Einwegverpackungen für Lebensmittel ist der Einsatz von Sekundärfasern nur eingeschränkt möglich, da die Verpackungen häufig in direkten Kontakt mit Lebensmitteln kommen. Sekundärfasern können aufgrund ihrer vorherigen Nutzung unerwünschte Reststoffe enthalten, etwa Partikel aus Drucke, Klebstoffen oder Mineralölen. Bei Recyclingpapier können solche Stoffe aus dem Altpapierkreislauf in das neu hergestellte Verpackungsmaterial gelangen.

Rechtlich maßgeblich ist insbesondere Art. 3 Abs. 1 der Verordnung (EG) Nr. 1935/2004 über Lebensmittelkontaktmaterialien. Danach müssen Materialien so hergestellt sein, dass sie unter normalen oder vorhersehbaren Verwendungsbedingungen keine Stoffe in Mengen auf Lebensmittel übertragen, die die menschliche Gesundheit gefährden, die Zusammensetzung des Lebensmittels unvertretbar verändern oder dessen organoleptische Eigenschaften beeinträchtigen.

Für die Rezyklateinsatzquoten bedeutet dies, dass Sekundärfasern nicht grundsätzlich ausgeschlossen sind. Ihr möglicher Anteil hängt jedoch davon ab, wie die Verpackung aufgebaut ist.

Nach unserem derzeitigen Kenntnisstand und auf Basis von Hintergrundgesprächen kommen wir zu der Bewertung, dass Sekundärfasern inzwischen in begrenztem Umfang in lebensmittelfernen Bestandteilen von Einwegverpackungen für Speisen eingesetzt werden. Dies betrifft insbesondere mehrschichtige Kartonverpackungen, bei denen verschiedene Faserlagen kombiniert werden. Bei Papierverpackungen (Popcorn-Tüte, Einwickelpapier) und Getränkebechern gehen wir hingegen davon aus, dass keine Sekundärfasern eingesetzt werden.

Tabelle 5: Rezyklateinsatzquoten

Burgerbox	Pommesschale	Wickelpapier	Getränkebecher	Faltschachtel	Papiertüte
Karton	Karton	Papier	Karton + PE	Karton	Papier
7,5 %	7,5 %	0 %	0 %	7,5 %	0 %

2.3 Beschreibung der Mehrwegverpackungssysteme

2.3.1 Spezifikationen der betrachteten Mehrwegverpackungssysteme

Um die untersuchten Einwegverpackungen hinsichtlich der ökologischen Auswirkungen ihrer stofflichen Verwertung mit Mehrwegverpackungen zu vergleichen, werden in diesem Kapitel entsprechende Mehrwegverpackungen ausgewählt, die als Substitutionsmöglichkeiten in Frage kommen könnten. Da Ausführung, Abmessungen und Gewicht variieren können, wurden für jede Verpackungsart Standardgrößen und typische Gewichte auf Grundlage von eigener Messung und Herstellerangaben aus Produktkatalogen herangezogen.

PP-Mehrwegbecher für Getränke werden aus Polypropylen (PP) hergestellt. Für die Untersuchung werden Becher mit Füllgrößen von 0,3 und 0,5 l betrachtet. Diese Füllgrößen decken die angebotenen Größen in den Systemgastronomiebetrieben ab und sind sowohl als Poolsysteme als auch als Individuallösungen verfügbar. Die für die Untersuchung angesetzten Gewichte liegen je nach Füllgröße zwischen

32 und 46 g. Für die Kinobetriebe sind diese Lösungen weniger relevant, da in den Freiburger Betrieben bereits entweder auf eine Mehrweglösung von einem Systembetreiber speziell für Kinos umgestellt wurde bzw. seit Jahren auf Mehrweg-Glasflaschen gesetzt wird.

PP-Mehrweg-Burgerboxen werden aus PP hergestellt. Sie sind sowohl als Poolssysteme als auch als Individuallösungen erhältlich. Diese können die klassische Burgerbox sowie die immer beliebter werden den Einwickelpapiere ersetzen. Für die Untersuchung wird ein Gewicht von 172 g angesetzt, was dem Gewicht einer Mehrweg-Burgerbox eines Systembetreibers entspricht.

PP-Mehrweg-Pommesschalen werden aus PP hergestellt. Diese Verpackungsart wird tendenziell eher als Individuallösung angeboten. Für die Untersuchung wird ein Gewicht von 40 g angesetzt. Tendenziell kann hier eine Vielzahl an Lösungen genutzt werden, für die Auswahl dieser Alternative mit dem Gewicht war das Volumen ausschlaggebend.

PP-Mehrwegbecher für Popcorn werden ebenfalls aus PP hergestellt. Sie sind als Individuallösungen sowie als Poolssystem erhältlich. Das Volumen beträgt in etwa 1,5 bzw. 3,0 Liter. Daher ist eine gemeinsame Lösung mit Mehrwegbechern für Getränke nicht möglich.

Tabelle 6 gibt einen Überblick über die Mehrwegverpackungssysteme und die verwendeten Gewichte. Die festgelegten Mehrwegalternativen werden ebenfalls mit einer eindeutigen Kennung versehen.

Tabelle 6: Mehrwegverpackungssysteme

Kürzel	Kurzbeschreibung	Gewicht
01_MWBecher_a	PP-Mehrwegbecher 0,3 l	32 g
01_MWBecher_b	PP-Mehrwegbecher 0,5 l	46 g
02_MWburger	PP-Mehrweg-Burgerbox	172 g
03_MWPommes	PP-Mehrweg-Pommesschale	40 g
04_MWPopcorn_a	PP-Mehrwegbecher 1,5 l	78 g
04_MWPopcorn_b	PP-Mehrwegbecher 3,0 l	157 g

In einem weiteren Schritt werden diese den funktional entsprechenden Einwegverpackungen zugeordnet.

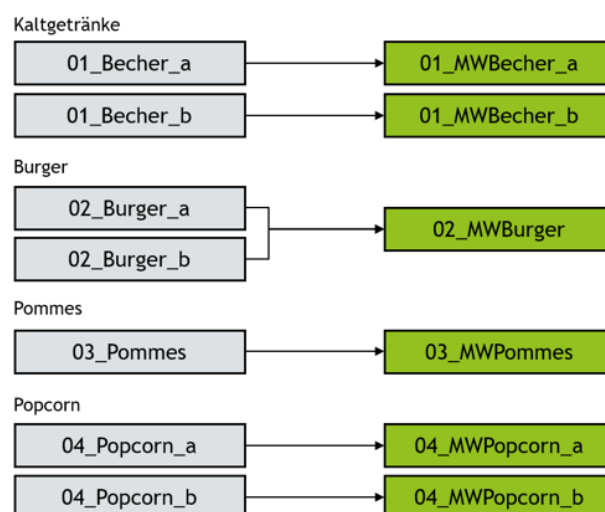


Abbildung 3: Zuordnung Mehrwegverpackungssysteme

2.3.2 Untersuchte Mehrwegszenarien

In diesem Fachgutachten werden drei unterschiedliche Mehrwegszenarien betrachtet, die sich hinsichtlich der Bereitstellung, Nutzung, Rückgabe, Reinigung und Logistik der Mehrwegbehälter unterscheiden.

In **Szenario 1** nutzen die Betriebe ein individuelles Mehrwegsystem. Die Mehrwegbehälter werden von den Betrieben selbst beschafft und können ausschließlich in dem Betrieb zurückgegeben werden, in dem sie ausgegeben wurden. Die Reinigung der Behälter erfolgt im jeweiligen Betrieb. Ein systembedingter Transport der Behälter findet nicht statt.

In **Szenario 2a** wird ein Poolsystem mit dezentraler Spülung eingesetzt. Die Mehrwegbehälter werden von einem externen Dienstleister bereitgestellt und können bei allen teilnehmenden Betrieben zurückgegeben werden. Die Reinigung erfolgt dezentral in den jeweiligen Betrieben. Ein systembedingter Transport der Behälter findet nicht statt.

In **Szenario 2b** wird ebenfalls ein Poolsystem mit zentraler Spülung eingesetzt. Die Mehrwegbehälter werden von einem externen Systembetreiber oder vom Mehrwegverbund Freiburg bereitgestellt und können bei allen teilnehmenden Betrieben zurückgegeben werden. Die Reinigung und Lagerung erfolgen in einem zentralen Spülzentrum im Raum Freiburg. Hierfür ist ein regelmäßiger Transport der Behälter zwischen den Betrieben und dem Spülzentrum erforderlich. Für die Transportvorgänge wird eine maximale Transportentfernung von 20 km (einfache Fahrt) angenommen.

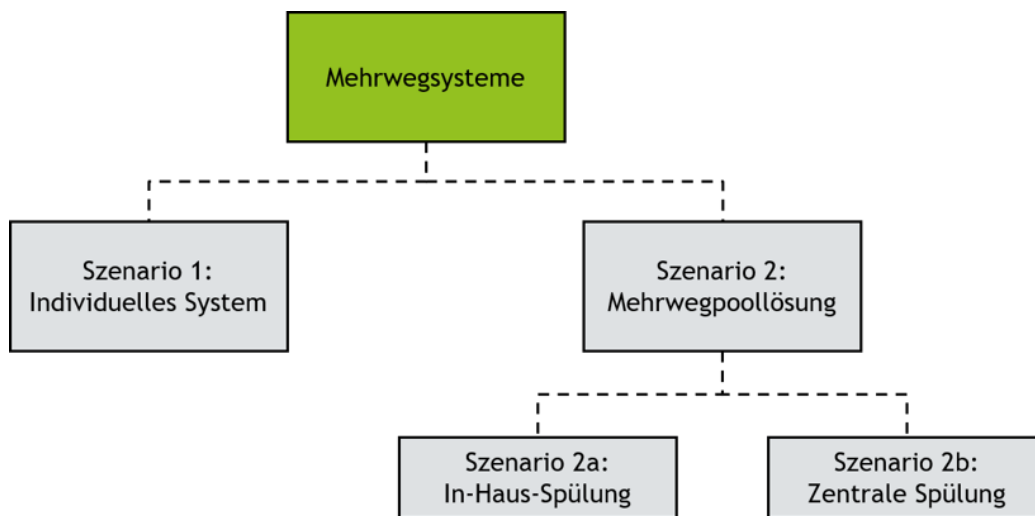


Abbildung 4: Untersuchte Mehrwegszenarien

Tabelle 7: Übersicht der Mehrwegszenarien

Merkmal	Szenario 1 Individuelles Mehrwegsystem	Szenario 2a Poolsystem (dezentrale Spülung)	Szenario 2b Poolsystem (zentrale Spülung)
Behälterbereitstellung	Betrieb beschafft Behälter selbst	Dienstleister stellt Behälter bereit	Dienstleister stellt Behälter bereit
Rückgabe	Nur im Ausgabebetrieb	Bei allen teilnehmenden Betrieben	Bei allen teilnehmenden Betrieben
Reinigung	Im Betrieb	Im Betrieb	Zentrales Spülzentrum
Transport	Kein regelmäßiger Transport	Kein regelmäßiger Transport	Transport zwischen Betrieb und Spülzentrum/Lager; maximale Transportentfernung je Fahrt 20 km (einfach)

2.3.3 Umlaufzahlen

Die erarbeiteten Umlaufzahlen unterscheiden sich deutlich zwischen den Mehrwegszenarien. Das geschlossene System weist dabei deutliche höhere Umlaufzahlen auf als die Szenarien mit einem Pooldienstleister, wo die Mehrwegverpackungen auch für den Außer-Haus-Verzehr genutzt werden. Grund hierfür ist, dass mit zunehmender Öffnung und logistischer Komplexität des Systems mehr Zeit für einen vollständigen Umlauf benötigt wird.

In Szenario 1 verlassen die Mehrwegverpackungen das Haus nicht und können nach der Spülung im Betrieb zeitnah wieder eingesetzt werden. In Szenario 2a werden die Verpackungen zusätzlich für den Außer-Haus-Verzehr genutzt, wodurch sich die Rücklaufzeiten verlängern und Verluste, beispielsweise durch Zweckentfremdung oder ausbleibende Rückgabe, auftreten können. Im dritten Szenario kommen zusätzlich der Transport zum externen Spülzentrum, die dortige Reinigung sowie die anschließende Rückverteilung der Verpackungen hinzu. Gleichzeitig können auch hier Verluste durch ausbleibende Rückgaben, Fehlwürfe oder Zweckentfremdung auftreten. Insgesamt verlängert sich dadurch die Dauer eines Umlaufs weiter, während sich zugleich die Zahl der tatsächlich im System verbleibenden Verpackungen verringern kann. Die erreichbare Umlaufzahl fällt daher entsprechend geringer aus.

Auch zwischen den einzelnen Mehrwegverpackungssystemen können Unterschiede in den erreichbaren Umlaufzahlen bestehen. Dies kann u. a. auf folgende Faktoren zurückgeführt werden:

- verpackungsspezifische Unterschiede hinsichtlich Konstruktion
- mechanische Beanspruchung,
- Nutzungsverhalten
- Verlust- und Beschädigungsrisiken

Schließbare Verpackungen, wie beispielsweise der Burgerbox mit Klappmechanismus, können infolge wiederholten Öffnens und Schließens einem erhöhten Verschleiß unterliegen. Darüber hinaus beeinflussen Größe und Form die Anfälligkeit gegenüber Beschädigungen. Auch der Einsatz von Besteck kann zu Kratzern und Beschädigungen der Verpackungsoberfläche führen.

Weitere Unterschiede ergeben sich aus dem Rückgabeverhalten der Endverbraucher. Verpackungen, die optisch oder funktional Einwegverpackungen ähneln, können leichter versehentlich entsorgt werden. Dabei weisen kleinere Verpackungen tendenziell ein höheres Risiko einer unbeabsichtigten Entsorgung im Restmüll auf. Bei Mehrwegverpackungen, insb. bei Getränkebechern können zudem hygienische Vorbehalte, etwa aufgrund des direkten Kontakts mit dem Trinkrand, das Nutzungsverhalten beeinflussen. Auch wird besonders hier seitens Gastronomie- oder Kinobetrieb auf Hygiene geachtet.

Zudem kann die Zweckentfremdung einzelner Verpackungstypen zu einem dauerhaften Entzug aus dem Mehrwegsystem führen. So können Burgerboxen aufgrund ihrer Eignung als private Aufbewahrungsbehälter außerhalb des vorgesehenen Kreislaufs weiterverwendet werden. Insgesamt beeinflussen somit sowohl die technische Lebensdauer als auch nutzungsbedingte Verluste und das Rückgabeverhalten die tatsächlich erreichbare Umlaufzahl eines Verpackungstyps.

Die in Tabelle 8 aufgelisteten Umlaufzahlen unter Angabe eines wahrscheinlichsten Wertes sowie unterer und oberer Bandbreiten wurden mit Bezug auf einen potentiellen gastronomischen Einsatz unter den gegebenen Randbedingungen in Freiburg abgeleitet.

Tabelle 8: Übersicht zu Umlaufzahlen, Recyclingzuführung und Rezyklateinsatz bei den MW-Verpackungen

	Burgerbox	Pommesschale	Getränke- becher 0,3 L	Getränke- becher 0,5 L	Popcorn- verpackung (groß)	Popcorn- verpackung (klein)
Umlaufzahlen						
Szenario 1	35 (19 – 60)	42 (24 – 75)	34 (16 – 57)	35 (18 – 60)	55 (30 – 80)	50 (26 – 75)
Szenario 2a	22 (9 – 40)	17 (7 – 32)	24 (10 – 43)	25 (11 – 45)	50 (27 – 75)	45 (23 – 70)
Szenario 2b	20 (8 – 35)	15 (6 – 28)	22 (8 – 37)	23 (9 – 40)	45 (23 – 65)	40 (20 – 60)
Rezyklat- einsatzquote	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Recycling- zuführungsquote						
Szenario 1	93 %	93 %	93 %	93 %	97 %	97 %
Szenario 2a	85 %	83 %	85 %	85 %	92 %	92 %
Szenario 2b	89 %	88 %	89 %	89 %	94 %	94 %

Umlaufzahlen: Fett dargestellt ist der wahrscheinliche Wert, der als Basisannahme für die Bilanzierung verwendet wird. Die Werte in Klammern geben den Sensitivitätsbereich an (geringe Systemqualität – gut kontrolliertes System).

2.3.4 Recyclingzuführungsquote

Hinsichtlich der Recyclingzuführungsquoten von Mehrwegverpackungen zeigen sich Unterschiede zwischen den Mehrwegszenarien (s. Tabelle 8). Bei einem geschlossenen System wie in Szenario 1 sind hohe Recyclingzuführungsquoten zu erwarten. Die Verpackungen verbleiben überwiegend innerhalb des Betriebs, sodass die Rückgabe vor Ort sowie eine geschulte (Aus)Sortierung durch das Personal hohe Recyclingzuführungsquoten ermöglicht. Verpackungen, die nicht mehr weiterverwendet werden können, lassen sich somit einem klaren Verwertungsweg zuführen.

In Szenario 2a werden Mehrwegverpackungen auch für den Take-Away-Verzehr ausgegeben. Damit verlässt ein Teil der Verpackungen den direkten Einflussbereich des Betriebs. In der Folge können Verpackungen verloren gehen, außerhalb des Betriebs beschädigt oder nicht über die vorgesehenen Rückgabe- und Entsorgungswege geführt werden. Gleichzeitig erfolgt die Spülung dezentral in den einzelnen Betrieben. Auch die Aussortierung beschädigter oder nicht mehr nutzbarer Verpackungen findet dort

statt und ist entsprechend von den jeweiligen betrieblichen Abläufen und Entsorgungsstrukturen abhängig.

Die Recyclingzuführungsquoten von Szenario 2b liegen zwischen denen aus Szenario 1 und Szenario 2a. Wie in Szenario 2a können durch die Take-Away-Nutzung Verpackungen dem kontrollierten System entzogen werden. Durch die zentrale Spülung werden die zurückgegebenen Verpackungen jedoch gebündelt erfasst und unter stärker standardisierten Bedingungen gereinigt und kontrolliert. Beschädigte oder nicht mehr nutzbare Verpackungen können dabei gezielt aussortiert und gemeinsam geeigneten Verwertungswegen zugeführt werden. Dadurch ergeben sich günstigere Voraussetzungen für die stoffliche Verwertung als bei einer dezentralen Spülung in den einzelnen Betrieben, während die Verluste außerhalb des Rücknahmesystems weiterhin bestehen bleiben.

Aufgrund der geringen Mitnahmequote von eigentlich für den In-Haus-Verzehr vorgesehenen Produkten und einem geringen Take-Away-Verzehr in Kinobetrieben, liegen die Recyclingzuführungsquoten der Popcornverpackungen über denen der Verpackungen für die Systemgastronomie.

2.3.5 Rezyklateinsatzquote

Obwohl Verpackungen aus PP recycelbar sind, wird mechanisch recyceltes PP (rPP) in der EU für den Lebensmittelkontakt in der Regel nicht zugelassen und unterliegt strengen Vorschriften. Nach der Verordnung (EU) 2022/1616 sind für Lebensmittelbedarfsgegenstände nur zugelassene Recyclingverfahren erlaubt, die derzeit jedoch überwiegend für PET gelten. Im Ergebnis hat die *Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit* (EFSA) die Zulassung von rPP für den Einsatz in Lebensmittelverpackungen („Food grade“) bislang nicht bzw. nur extrem restriktiv zugelassen, wodurch derzeit kein entsprechendes Marktangebot besteht.

Die strenge Haltung gegenüber rPP liegt an der mangelnden Datenlage und schwierigen Dekontaminationsprozessen. Im Gegensatz zu PET nimmt PP Gerüche, Additive und Abbauprodukte viel stärker auf, die sich mit herkömmlichen Methoden kaum entfernen lassen. Daher benötigt rPP ein strenges Zulassungsverfahren und muss höchste Sicherheitsstandards erfüllen. Der Einsatz von rPP für Lebensmittelverpackungen ist zwar grundsätzlich nicht verboten, aber stark eingeschränkt und von zukünftigen Freigaben abhängig (Jameson et al. 2026).

Die Rezyklateinsatzquoten für die betrachteten Mehrwegverpackungssysteme liegen daher bei 0 %.

2.3.6 Einordnung der angesetzten Umlaufzahlen

Die in der Studie verwendeten Umlaufzahlen wurden durch die GVM auf Grundlage von Marktdaten und Praxiserfahrungen abgeleitet. Die angesetzten Werte differenzieren zwischen geschlossenen Systemen und Poolsystemen und berücksichtigen darüber hinaus Unterschiede in der Organisation der Rücknahme- und Spülprozesse. Eine rechnerische Herleitung der Umlaufzahlen liegt nicht vor.

Im Folgenden werden die angesetzten Werte daher anhand des Berechnungsansatzes von Bick et al. (2024) fachlich eingeordnet. Ziel ist nicht die Neuberechnung der GVM-Werte, sondern die Plausibilisierung der Rahmenbedingungen, unter denen die jeweiligen Umlaufzahlen erreicht werden können. Hierzu werden insbesondere die Einflussgrößen Verlustquote, Wiedereinsatzgeschwindigkeit, Poolalter und Pooldimensionierung betrachtet. Die Bedeutung dieser Parameter für die erreichbare Umlaufzahl wurde von Bick et al. anhand verschiedener Szenarien untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass hohe Umlaufzahlen nur dann erreicht werden können, wenn sowohl die Verluste gering sind als auch ein schneller Wiedereinsatz der Behälter erfolgt.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass geschlossene Systeme höhere Umlaufzahlen erreichen können als Poolsysteme mit Take-away-Nutzung. Der wesentliche Grund hierfür liegt in den geringeren externen Verlusten. Während Behälter in geschlossenen Systemen die Betriebsstätte nicht oder nur in

Ausnahmefällen verlassen, besteht in Poolsystemen grundsätzlich die Möglichkeit, dass Behälter verspätet, beschädigt oder überhaupt nicht zurückgegeben werden. Die von der GVM für Poolsysteme angesetzten niedrigeren Umlaufzahlen erscheinen daher grundsätzlich plausibel.

Ein weiterer Einflussfaktor ist die Geschwindigkeit des Wiedereinsatzes. Ein Behälter kann hohe Umlaufzahlen nur erreichen, wenn zwischen Rückgabe und erneuter Ausgabe möglichst wenig Zeit vergeht. In geschlossenen Systemen mit hoher Auslastung kann ein Wiedereinsatz bereits nach wenigen Tagen erfolgen. In Poolsystemen verlängern sich die Umlaufzeiten durch Transport-, Lager- und Spülprozesse sowie durch die Verweildauer bei den Nutzenden. Entsprechend sinkt die Anzahl der jährlich erreichbaren Nutzungen je Behälter. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Behälterbestände deutlich größer dimensioniert sind als für die tatsächlich realisierte Nachfrage erforderlich wäre.

Neben Verlusten und Wiedereinsatzgeschwindigkeit beeinflusst auch die Poolgröße die erreichbare Umlaufzahl. Ein überdimensionierter Behälterpool führt dazu, dass ein Teil der Behälter über längere Zeiträume ungenutzt im Lager verbleibt. Dadurch sinkt die durchschnittliche Nutzungshäufigkeit je Behälter und damit auch die beobachtbare Umlaufzahl. Umgekehrt ist jedoch auch ein zu klein dimensionierter Pool nicht zwangsläufig vorteilhaft. Fehlende Reserven können zu erhöhtem Logistikaufwand, längeren Umlaufzeiten und einer stärkeren Beanspruchung der Behälter führen. Zudem steigt die Wahrscheinlichkeit, dass Behälter aufgrund von Qualitätsmängeln ausgesondert werden müssen. Hohe Umlaufzahlen setzen daher nicht nur geringe Verluste voraus, sondern auch eine zum Nutzungsprofil passende Pooldimensionierung.

Die von der GVM angesetzten Werte lassen sich vor diesem Hintergrund in unterschiedliche Anspruchsniveaus einordnen:

- Umlaufzahlen von etwa 15 bis 25 Umläufen erscheinen bereits bei moderaten Verlustquoten und durchschnittlichen Wiedereinsatzgeschwindigkeiten erreichbar. Sie können als realistische Größenordnung für Poolsysteme mit Take-away-Nutzung angesehen werden.
- Umlaufzahlen von etwa 25 bis 40 Umläufen setzen bereits eine gute Systemperformance voraus. Hierfür sind geringe Verluste, kurze Verweilzeiten sowie ein gut ausgelasteter Pool erforderlich.
- Umlaufzahlen oberhalb von 40 bis 50 Umläufen stellen hohe Anforderungen an die Funktionsfähigkeit des Systems. Solche Werte sind vor allem in gut organisierten und verlustarmen Systemen plausibel. Neben einer hohen Rückführungsquote ist hierfür auch ein schneller Wiedereinsatz der Behälter erforderlich.
- Umlaufzahlen oberhalb von 50 Umläufen sind grundsätzlich erreichbar, erfordern jedoch sehr günstige Rahmenbedingungen hinsichtlich der Verluste, Behältermanagement und Auslastung. Bereits kleine Verschlechterungen einzelner Parameter können zu deutlich niedrigeren Umlaufzahlen führen. Bick et al. zeigen, dass insbesondere im Bereich geringer Verlustquoten bereits kleine Veränderungen einen starken Einfluss auf die resultierende Umlaufzahl haben.

Vor diesem Hintergrund erscheinen die von der GVM angesetzten Umlaufzahlen insgesamt plausibel. Die niedrigeren Werte für Poolsysteme spiegeln die zusätzlichen Herausforderungen durch externe Verluste und längere Umlaufzeiten wider. Die höheren Werte geschlossener Systeme setzen demgegenüber eine hohe Auslastung sowie geringe Verluste voraus. Besonders hohe Umlaufzahlen, wie sie teilweise für Popcornverpackungen in geschlossenen Nutzungssituationen angesetzt werden, sind als ambitionierte, aber unter günstigen Rahmenbedingungen grundsätzlich erreichbare Annahmen zu bewerten.

Für die Interpretation der Break-even-Analysen (Kap. 4.1 bis 4.3) ist dabei von Bedeutung, dass hohe erforderliche Umlaufzahlen stets mit entsprechend hohen Anforderungen an die Funktionsfähigkeit des zugrunde liegenden Mehrwegsystems verbunden sind. Die ökologische Vorteilhaftigkeit eines Mehrwegsystems hängt daher nicht allein von der technischen Ausgestaltung der Verpackung ab, sondern

maßgeblich davon, ob die für die jeweilige Umlaufzahl notwendigen Bedingungen im praktischen Betrieb tatsächlich erreicht werden können.

2.3.7 Modellierung der Waschprozesse von Mehrwegverpackungssystemen

Für die Modellierung der Mehrwegsysteme werden drei Szenarien betrachtet: ein geschlossenes System, ein Poolsystem mit Rücknahme innerhalb der Gastronomie sowie ein Poolsystem mit zentraler Spülung im Raum Freiburg. Für das geschlossene System und das Poolsystem mit dezentraler Reinigung werden die Waschprozesse anhand von Boyano Larriba et al. (2017) abgebildet. In beiden Fällen erfolgt die Reinigung unmittelbar am Standort der teilnehmenden Gastronomiebetriebe. Zusätzliche Transporte zur Reinigung werden nicht berücksichtigt.

Für das Freiburger Poolsystem wird dagegen eine zentrale Reinigung der Mehrwegverpackungen angenommen. Die Waschprozesse basieren auf Pladerer et al. (2008), die im Rahmen der EURO-2008-Studie für zentrale Spülsysteme erhoben wurden. Zusätzlich werden Transporte zwischen den teilnehmenden Betrieben und dem Spülzentrum berücksichtigt. Hierfür wird eine mittlere Entfernung von 20 km je Fahrtrichtung angesetzt.

Die Unterscheidung der Waschprozesse ergibt sich damit unmittelbar aus den betrachteten Rücknahme- und Reinigungskonzepten. Während beim geschlossenen System und beim Poolsystem mit dezentraler Spülung Rücknahme, Reinigung und Wiedereinsatz am selben Standort erfolgen, umfasst das Freiburger Poolsystem zusätzliche Schritte für Sammlung, Transport, zentrale Reinigung und Rückverteilung der Behälter. Bereits die UBA-Studie zu Mehrwegbechersystemen (Kauertz et al. 2019) weist darauf hin, dass sich Mehrwegsysteme insbesondere hinsichtlich ihrer Rückführungslogistik und Reinigungsstrukturen unterscheiden und diese Unterschiede für die ökobilanzielle Bewertung relevant sind.

Die gewählten Datensätze bilden somit die für die jeweiligen Szenarien typischen Rahmenbedingungen der Reinigung ab. Unterschiede in den Ergebnissen ergeben sich nicht allein aus dem Waschprozess selbst, sondern aus dem Zusammenwirken von Reinigung, Transport und Rückführung innerhalb des jeweiligen Mehrwegsystems.

2.4 Szenarien und Ergebnisdarstellung

Szenarien

Für jede der sieben betrachteten Einwegverpackungssysteme wird ein Ökobilanzszenario auf Basis der in Tabelle 9 gelisteten Spezifikationen modelliert. Ebenso wird für jedes der sechs Mehrwegsysteme ein Ökobilanzszenario auf Basis der in Tabelle 10 Spezifikationen gelisteten modelliert. Da jedes Mehrwegsystem in drei Poolvarianten vorkommt und jede Poolvariante mit drei Umlaufzahlwerten hinterlegt ist, ergeben sich für die Mehrwegsysteme insgesamt 54 Szenarien.

Anmerkung: Sofern die spezifizierten Mehrweg-Verpackungen bzgl. der Größe (wie z.B. bei den kleinen Popcorn-Verpackungen und Getränkebechern der Fall) von den Einwegverpackungen abweichen oder aufgrund der Form theoretisch eine andere Füllmenge möglich wäre, wird dennoch eine grundsätzlich gleiche Befüllung angenommen. Die Stückzahl ist daher in allen Szenarien mit 1000 Portionsausgaben immer die gleiche.

Break-Even Grafiken

Die Ökobilanzergebnisse der zuvor genannten Szenarien werden in Kapitel 4 anhand von Break-Even Grafiken dargestellt. Anhand dieser kann abgelesen werden, wie die Mehrwegverpackungen in den

untersuchten Kategorien im Vergleich zu den Einwegverpackungen abschneiden und welche Rolle die mit den einzelnen Poolvarianten verknüpften Umlaufzahlen dabei spielen.

In den Break-Even Grafiken ist das Ökobilanzergebnis der jeweiligen Einwegverpackung als waagrechte Linie abgebildet. Die Ergebnisse der zugeordneten Mehrwegverpackung sind dagegen als Ergebnispunkte aufgetragen, die sich jeweils aus einer Kombination der folgenden Faktoren ergeben:

1. Umlaufzahl
2. Typologie Mehrwegsystem (individuelle Lösung vs. Poollösung)
3. Lokalität und Effizienz des Spülprozesses (dezentrale inhouse Spülung vs. zentrale Spülung per Dienstleister)

Zusätzlich zu den 9 berechneten Ergebnispunkten wurde für die Break Even Grafik eine Kurve abgeleitet, die durch die Punkte des geschlossenen MW-Systems und des dezentralen Poolsystems führt. Die Ergebnisse des zentralen Poolsystems sind aufgrund des anderen (hier auch effizienteren) Spülprozesses und dem Transport zur Spülung beim Dienstleister leicht außerhalb der Kurve platziert.

Sektoralgrafiken

Kapitel 4.4 zeigt beispielhaft Sektoralgrafiken zur Beitragsanalyse. Die Ergebnisse der Einwegverpackungen beruhen auf den für die Break-Even verwendeten Verpackungsspezifikationen (vgl. Tabelle 9). Für die Mehrwegverpackungen werden die Ergebnisse für das dezentrale Poolssystem mit der wahrscheinlichen Umlaufzahl, also dem mittleren Wert, herangezogen.

Tabelle 9: Spezifikationen und Recyclingzuführungsquoten der untersuchten Einwegverpackungen für die Ökobilanzmodellierung

	Pappschachtel für Burger	Einwickelpapier für Burger	Verpackung für Pommes	Getränkebecher	Popcorn-Faltschachtel (Kino)	Popcorntüte (Kino)
Betrieb	McDonald's, KFC	Burger King, McDonald's	McDonald's, KFC	alle Systemgastronomiebetriebe	CinemaxX	Friedrichsbau, Harmonie, Kandelhof
Verpackungsspezifikation						
Material	Karton, unbeschichtet	unbeschichtetes Monopapier	Karton, unbeschichtet	papierbasierter Becher mit PE-Beschichtung (Heißsiegelschicht)	Karton, unbeschichtet	unbeschichtetes Kraftpapier
Zusammensetzung ¹	98 Gew.-% papierbasiertes Material 2 Gew.-% Druckfarben, La- cke, Klebstoffe	99 Gew.-% papierbasiertes Material 1 Gew.-% Druckfarben	98 Gew.-% papierbasiertes Material 2 Gew.-% Druckfarben, La- cke, Klebstoffe	94 Gew.-% Papierfasern 5 Gew.-% PE 1 Gew.-% Druckfarbe	98 Gew.-% papierbasiertes Material 2 Gew.-% Druckfarben, La- cke, Klebstoffe	98 Gew.-% Kraftpapier 2 Gew.-% Druckfarben, La- cke, Klebstoffe
Gewicht	12,95 g	2,95 g	7,60 g	12,98 g (0,5 l) 7,60 g (0,25 l)	21,60 g	9,97 g
Recyclingzuführungsquote						
Recyclingzuführungsquote	80,9 %	71,6 %	76,6 %	72,5 % (0,5 l) 74,9 % (0,25 l)	0,3 % ²	87,4 %

1) Schätzung

2) Betriebsangabe CinemaxX: Einwegverpackungen werden vollständig als Restmüll entsorgt (keine Trennung von Pappe und Speiseresten). Materialeitig wäre die Faltschachtel für die PPK-Fraktion geeignet; bei getrennter Erfassung ergäbe sich ein deutlich höherer Wert.

Tabelle 10: Spezifikationen, Umlaufzahlen und Recyclingzuführungsquoten der untersuchten Mehrwegverpackungen für die Ökobilanzmodellierung

Mehrwegbox für Burger		Schale für Pommes	Getränkebecher		Popcorn-Verpackung groß (Kino)	Popcorn-Verpackung klein (Kino)
Verpackungsspezifikation						
Material	Polypropylen (PP)	Polypropylen (PP)	Polypropylen (PP)		Polypropylen (PP)	Polypropylen (PP)
Zusammensetzung	100 % PP	100 % PP	100 % PP		100 % PP	100 % PP
Gewicht	172 g	40 g	46 g (0,5 l) 32 g (0,3 l)		157 g (ca. 3 l Volumen)	78 g (ca. 1,5 l Volumen)
Umlaufzahlen ¹			0,3 l 0,5 l			
(1) Geschlossenes System	35 (19–60)	42 (24–75)	34 (16–57)	35 (18–60)	55 (30–80)	50 (26–75)
(2a) Poolsystem, dezentral	22 (9–40)	17 (7–32)	24 (10–43)	25 (11–45)	50 (27–75)	45 (23–70)
(2b) Poolsystem (zentrale Spülung)	20 (8–35)	15 (6–28)	22 (8–37)	23 (9–40)	45 (23–65)	40 (20–60)
Recyclingzuführungsquoten						
(1) Geschlossenes System	93 %	93 %	93 %		97 %	97 %
(2a) Poolsystem, dezentral	85 %	83 %	85 %		92 %	92 %
(2b) Poolsystem (zentrale Spülung)	89 %	88 %	89 %		94 %	94 %

1) Umlaufzahlen: Fett dargestellt ist der wahrscheinliche Wert, der als Basisannahme für die Bilanzierung verwendet wird. Die Werte in Klammern geben den Sensitivitätsbereich an (geringe Systemqualität – gut kontrolliertes System).

3 Verpackungs- und Abfallaufkommen

Das Verpackungsaufkommen beschreibt die Summe des Verpackungsmaterials, das für die Bereitstellung einer bestimmten Produktmenge (funktionelle Einheit) benötigt wird. Als funktionelle Einheit dient hier, wie auch bei der Ökobilanzierung, die Bereitstellung von 1000 Portionen des jeweiligen Produkts.

Die Berechnungen berücksichtigen die Mehrfachnutzungen der Mehrwegverpackungen. Es sind drei Szenarien ausgewiesen:

- minimale Umlaufzahl – basiert auf dem zentralen Poolsystem (Szenario 2b)
- Basisfall (hervorgehoben) – basiert auf dem dezentralen Poolsystem (Szenario 2a) und
- maximale Umlaufzahl – basiert auf dem individuellen Mehrwegsystem (Szenario 1).

Ebenso bezieht sich die Berechnung des Restmüllaufkommens auf die Bereitstellung von 1000 Portionen des jeweiligen Produkts. Recyclingzuführungsquote und Restmüllaufkommen sind für Mehrwegverpackungen als Bandbreiten dargestellt. Die Recyclingzuführungsquoten unterscheiden sich je nach MW-Verpackung in Kombination mit der jeweiligen Pool-Variante (vgl. Tabelle 8). Die Bandbreite des Restmüllaufkommens zeigt die minimalen und maximalen Werte, die sich aus den Kombinationen Umlaufzahl und Recyclingzuführungsquote ergeben.

Tabelle 10: Verpackungsaufkommen und Restmüllaufkommen von Verpackungen für Burger, Pommes und Popcorn

Verpackung	Umlaufzahl	Verpackungs- gewicht (g)	Verpackungs- aufkommen (kg/FE)	Recycling- zuführungsquote	Restmüll- aufkommen (kg/FE)
Burger — Funktionelle Einheit: 1000 Burger					
Pappschachtel	Einweg	12,95	12,95	80,9 %	2,48
Einwickelpapier	Einweg	2,95	2,95	71,6 %	0,84
Mehrwegbox (PP)	min.: 8	172	21,5	85 % – 93 %	0,22 – 2,87
	Basisfall: 22		7,8		
	max.: 60		2,9		
Pommes — Funktionelle Einheit: 1000 Portionen Pommes					
Papierverpackung (Pommes- schütte)	Einweg	7,6	7,6	76,6 %	1,78
Mehrwegschaale (PP)	min.: 6	40	6,7	83 % – 93 %	0,04 – 0,97
	Basisfall: 17		2,4		
	max.: 75		0,5		
Popcorn — Funktionelle Einheit: 1000 Portionen Popcorn (unabhängig von Füllgröße)					
Faltschachtel Papier	Einweg	21,6	21,6	0,3 %	21,54
Mehrwegverpackung 3 Liter	min.: 23	157	6,8	92 % – 97 %	0,06 – 0,47
	Basisfall: 50		3,1		
	max.: 80		2,0		
Popcorntüte Papier	Einweg	9,97	9,97	87,4 %	1,25
Mehrwegverpackung 1,5 Li- ter	min.: 20	78	3,9	92 % – 97 %	0,03 – 0,27
	Basisfall: 45		1,7		
	max.: 75		1,0		

FE = funktionelle Einheit

Tabelle 11: Verpackungsaufkommen und Restmüllaufkommen von Getränkebechern

Verpackung	Umlaufzahl	Verpackungs- gewicht (g)	Verpackungs- aufkommen (kg/FE)	Recycling- zuführungsquote	Restmüll- aufkommen (kg/FE)
Getränkebecher 0,3/0,25 L — Funktionelle Einheit: 1000 kleine Getränken					
Einwegbecher	Einweg	7,6	15,2	84,6 %	2,34
Mehrwegbecher (PP)	min.: 9	32	3,6	85 % – 93 %	0,07 – 0,48
	Basisfall: 24		1,3		
	max.: 60		0,5		
Getränkebecher 0,5 L — Funktionelle Einheit: 1000 große Getränken					
Einwegbecher	Einweg	12,98	25,96	84,6 %	4,00
Mehrwegbecher (PP)	min.: 9	46	5,1	85 % – 93 %	0,06 – 0,63
	Basisfall: 25		1,8		
	max.: 60		0,8		

FE = funktionelle Einheit

Wesentliche Beobachtungen:

- Mit Ausnahme der Burgerverpackungen zeigen alle Mehrwegverpackungen für Speisen und Getränke bereits bei der minimalen Umlaufzahl ein geringeres Verpackungsaufkommen als die Einwegverpackungen.
- Das Verpackungsaufkommen des Einwickelpapiers ist sehr gering und wird durch die Mehrwegverpackung nur durch die höchste Umlaufzahl unterboten. Die Pappschachtel ist deutlich schwerer – hier führt der Basisfall der Mehrwegverpackung mit einer Umlaufzahl von 22 zu einem deutlich geringeren Verpackungsaufkommen als die Einwegbox.
- Die Ergebnisse des Restmüllaufkommens passen gut zu den Ergebnissen des Verpackungsaufkommens, da die Recyclingzuführungsquoten bei fast allen Verpackungen in einer vergleichbaren Größenordnung sind. Lediglich die Popcorn Faltschachtel hat eine sehr geringe Recyclingzuführungsquote und führt damit zu einem hohen Restmüllaufkommen.

4 Ökobilanzergebnisse

Dieses Kapitel stellt die Ökobilanzergebnisse anhand von Break-Even Grafiken dar. Die Grafiken stellen die Einwegverpackungen mit den verschiedenen Szenarien der Mehrwegverpackungen gegenüber und ermöglichen die Bestimmung der Umlaufzahl, ab der ein Mehrwegsystem vorteilhaft ist.

Dargestellt sind die Ergebnisse pro 1000 Servings (Portionsausgaben).

Folgende Umweltkategorien werden betrachtet:

1. Treibhausgase fossil – Kapitel 4.1
2. Kumulierter Energiebedarf fossil (KEA fossil) – Kapitel 4.2
3. Kumulierter Energiebedarf gesamt (KEA gesamt) – Kapitel 4.3

Angelehnt an die in Kap. 2.2.1 genannten Produktcluster wie folgt gruppiert:

- Getränkebecher
- Verpackungen für Burger und Pommes
- Verpackungen für Popcorn

Innerhalb der Getränkebecher und Verpackungen für Popcorn werden jeweils zwei Füllgrößen differenziert.

Im Anschluss an die Grafiken findet sich in jedem Unterkapitel eine Erläuterung wesentlicher Beobachtungen.

4.1 Break-Even Grafiken: Treibhausgase

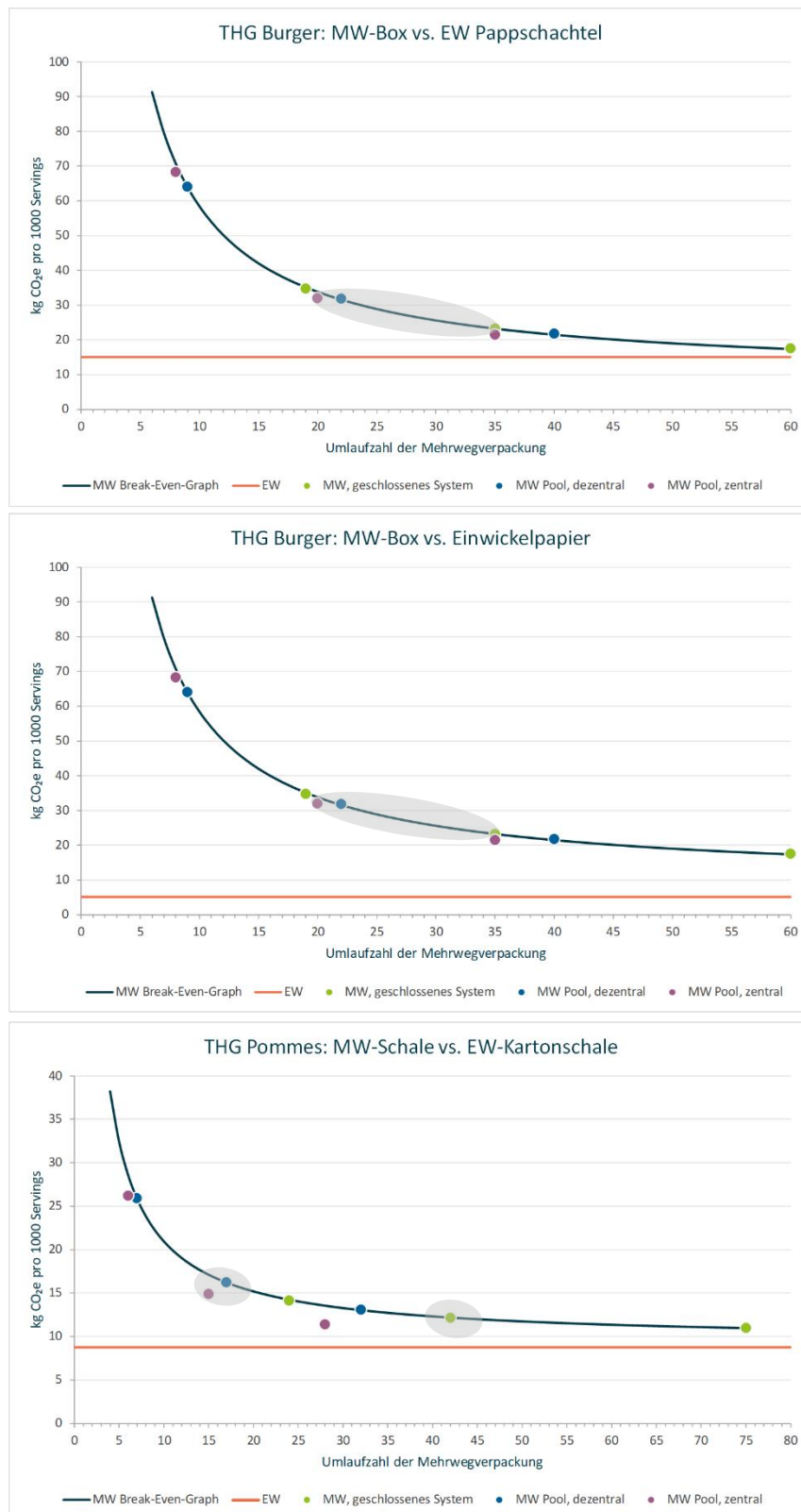


Abbildung 5: : Verpackungen für Burger und Pommes (Break-Even Graph THG)

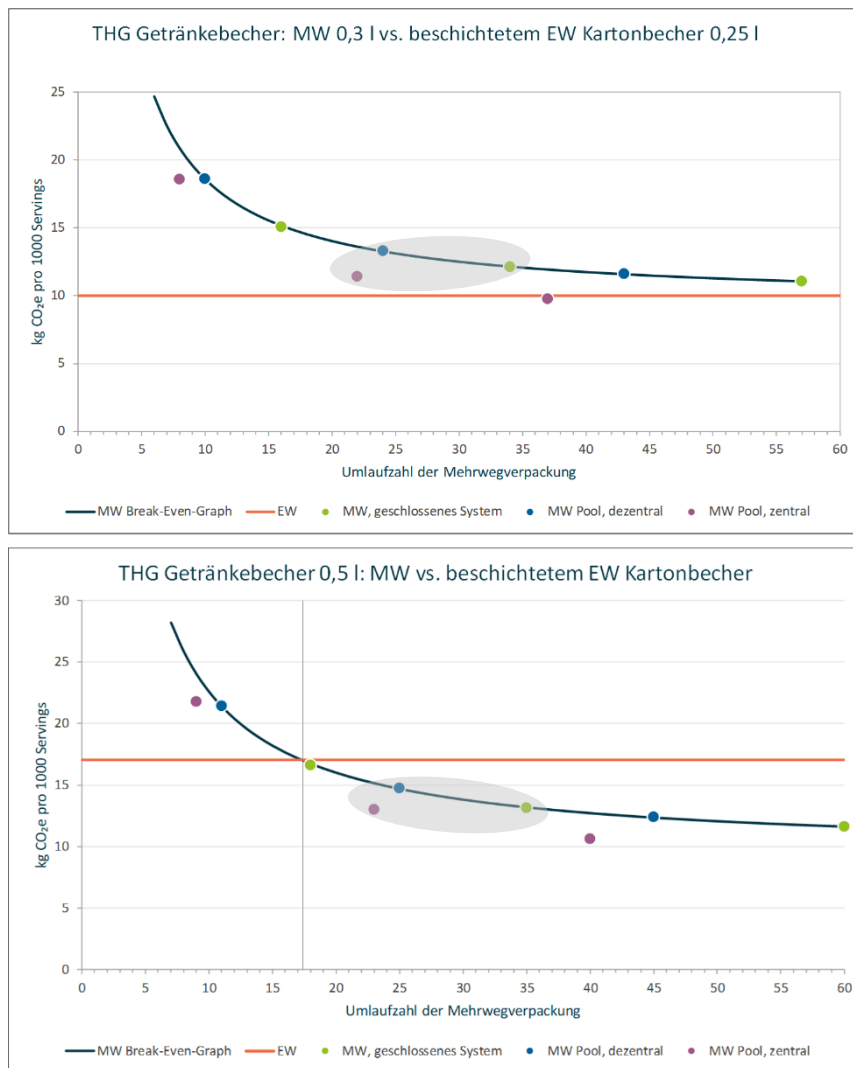


Abbildung 6: Verpackungen für Getränke (Break-Even Graph THG)

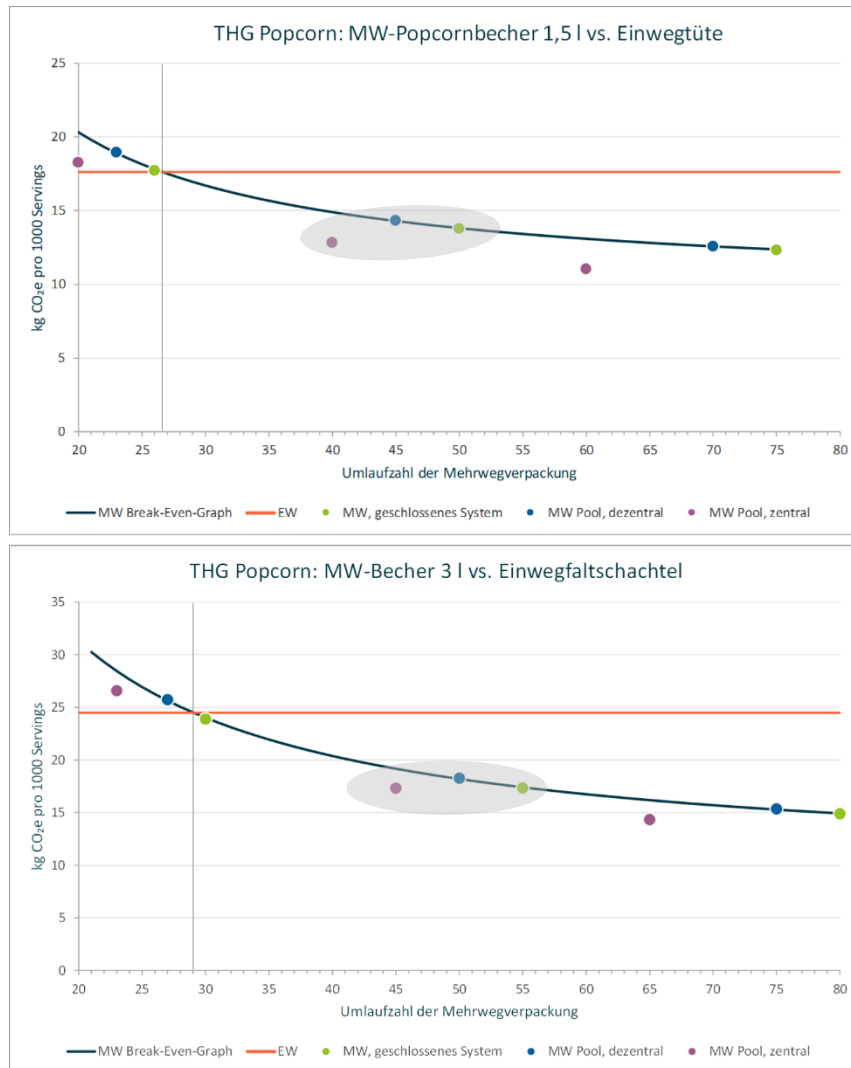


Abbildung 7: Verpackungen für Popcorn (Break-Even Graph THG)

Beobachtungen zu den Break-Even Grafiken bzgl. Treibhausgas-Emissionen

Verpackungen für Burger und Pommes:

- Jede der betrachteten Einwegverpackungen führt zu geringeren potenziellen THG-Emissionen als die alternative Mehrwegverpackung. Es ergibt sich auch bei den höchsten Umlaufzahlen kein Schnittpunkt in der Break-Even Grafik.
- Im direkten Vergleich der Burgerverpackungen untereinander hat das Einwickelpapier aufgrund des sehr geringen Materialeinsatzes eine geringere THG-Last als die Burgerbox aus Karton.
- Innerhalb der MW-Szenarien hat die Variante „MW Pool, zentral“ aufgrund des effizienteren Waschprozess trotz der zusätzlichen Transporte die geringste THG-Last.

Verpackungen für Getränke:

- Die beiden betrachteten Bechergrößen zeigen unterschiedliche Ergebnisse. Bei den kleinen Bechern (0,25 und 0,3L) gibt es keinen Schnittpunkt des Break-Even Graphs der MW-Verpackungen mit dem Ergebniswert der EW-Verpackung. Beim großen Becher erreicht das MW-Produkt im geschlossenen System ab einer Umlaufzahl von 17 den Ergebniswert der EW-Verpackung
- Bei den kleinen Bechern führt der MW-Becher lediglich im zentralen Poolsystem und dort nur ab der höchsten Umlaufzahl (37 Umläufe) zu einem knapp vorteilhaften THG-Ergebnis gegenüber dem EW-Becher.
- Beim großen Getränkebecher im geschlossenen MW-System erreicht der MW-Becher bereits ab einer Umlaufzahl von 18 (entspricht der unteren Umlaufzahl-Bandbreite) einen geringeren THG-Wert als der EW-Becher.

Verpackungen für Popcorn:

- Bei beiden Verpackungsgrößen gibt es Schnittpunkte der Break-Even Graphen mit dem Ergebniswert der Einwegverpackungen. Ab einer Umlaufzahl von 27 Umläufen sind beide MW-Verpackungen in allen Pool-Varianten auf gleicher Höhe und dann zunehmend niedriger hinsichtlich der THG-Ergebnisse.
- Bei den wahrscheinlichen Werten für die Umlaufzahlen der MW-Verpackungen, sind diese bei beiden Füllgrößen deutlich vorteilhaft gegenüber der Einwegverpackung.

4.2 Break-Even Grafiken: KEA fossil

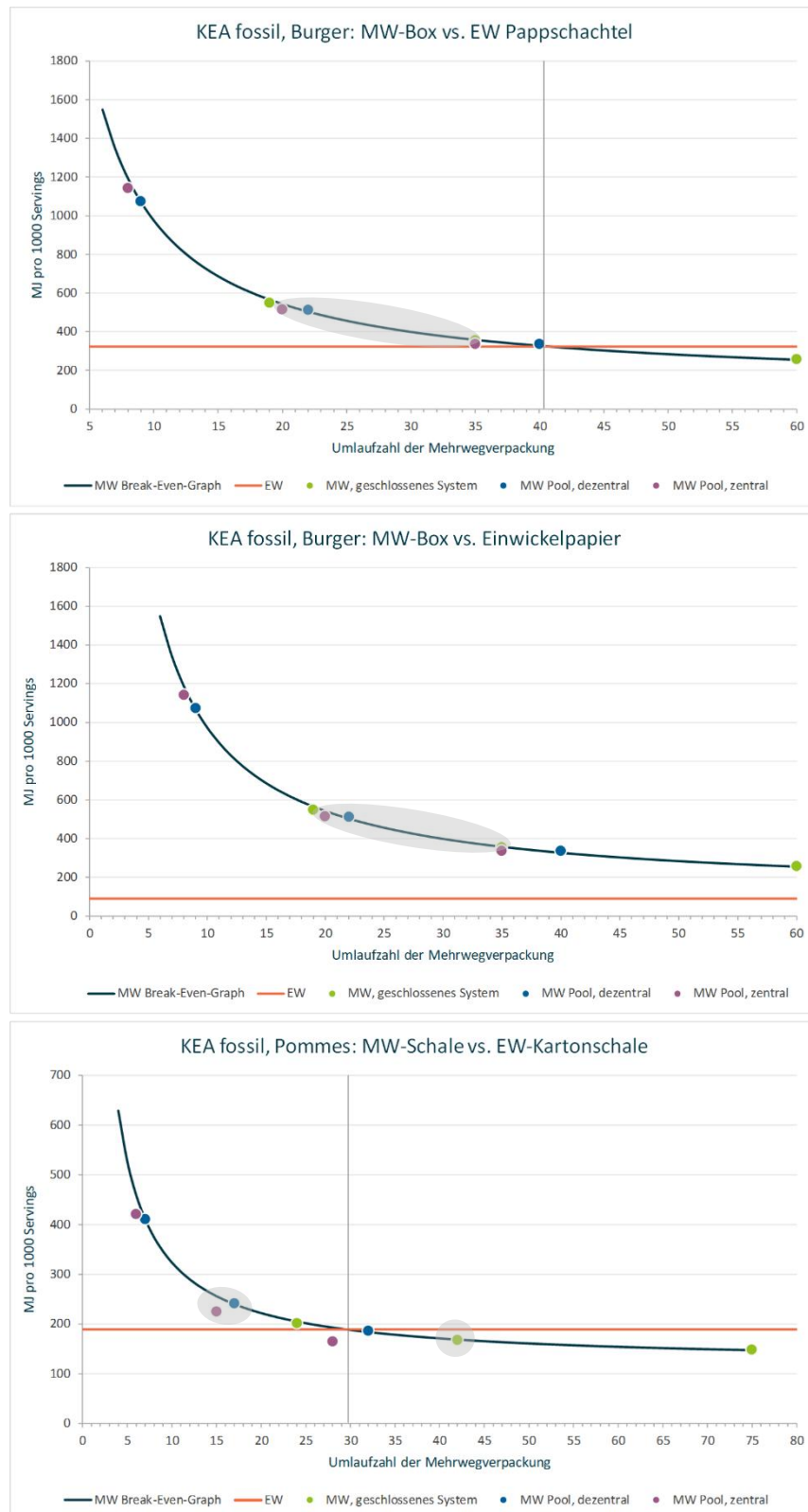


Abbildung 8: Verpackungen für Burger und Pommes (Break-Even Graph KEA fossil)

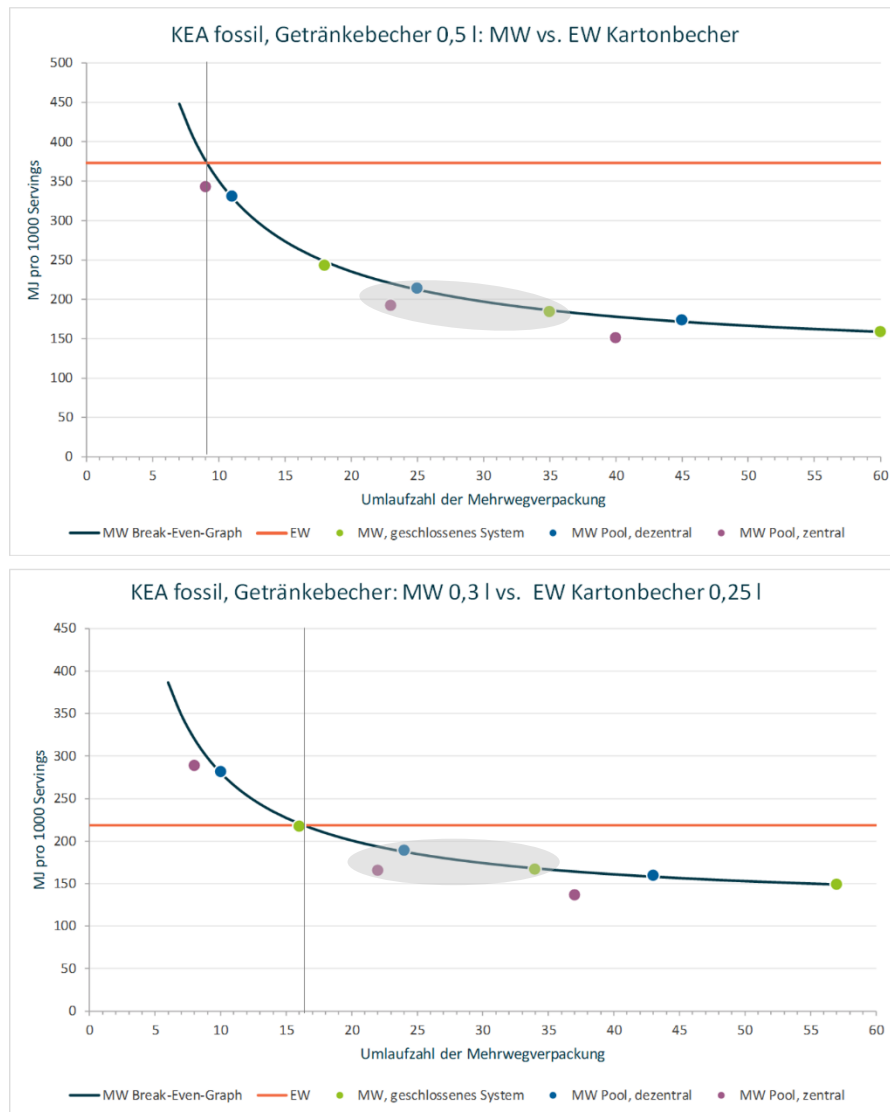


Abbildung 9: Verpackungen für Getränke (Break-Even Graph KEA fossil)

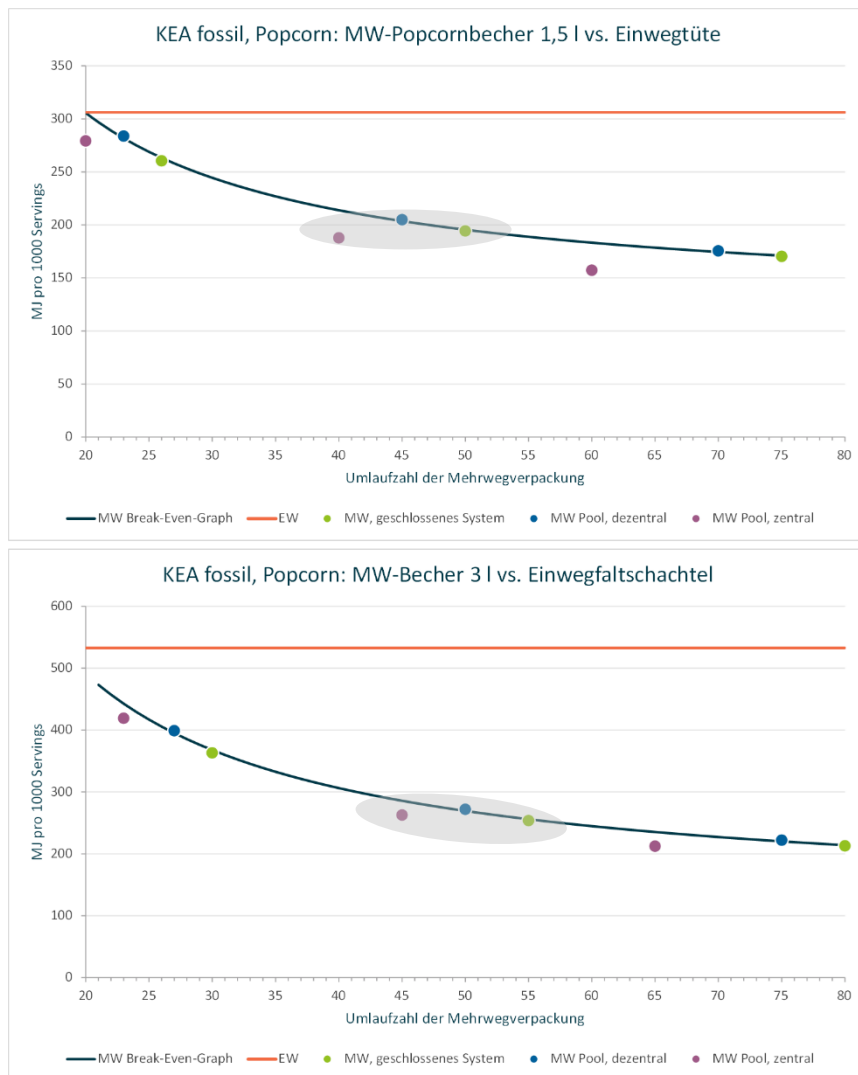


Abbildung 10: Verpackungen für Popcorn (Break-Even Graph KEA fossil)

Beobachtungen zu den Break-Even Grafiken bzgl. KEA fossil

Verpackungen für Burger und Pommes:

- Das Verhältnis zwischen Einweg und Mehrwegverpackungen fällt bei der Betrachtung der KEA fossil Ergebnisse positiver für die Mehrwegverpackungen aus als es bei den THG Ergebnissen der Fall war. Bei der Burger-Pappschachtel und bei der Pommesverpackung gibt es im Break-Even Graph Schnittpunkte mit dem Ergebniswert der Einwegverpackungen, während es diese in der THG-Auswertung nicht gab.
- Vergleich zur EW-Pappschachtel: hier braucht es eine relativ hohe Umlaufzahl der MW-Verpackung, damit diese ein geringeres KEA fossil Ergebnis erreicht als die Einwegverpackung. Von den berechneten Szenarien liegt lediglich das Szenario 1 (geschlossenes MW-System) bei einer optimistischen Umlaufzahl von 60 unter dem Wert der Einwegverpackung.
- Der Ergebniswert des Burger-Einwickelpapiers wird weiterhin innerhalb der Bandbreite aller betrachteten Umlaufzahlen nicht erreicht.

- Der Break-Even Graph der MW-Verpackungen für Pommes schneidet den Ergebniswert der EW-Verpackung bei 29 Umläufen, in der dezentralen Pool-Variante schon bei ca. 21 Umläufen.

Verpackungen für Getränke:

- Auch hier verschieben sich die Break-Even-Graphen beim KEA fossil zum Vorteil der Mehrwegsysteme.
- Der große Getränkebecher weist bei allen berechneten Szenarien einen geringeren KEA fossil auf als die Einwegverpackung. Dies ist bereits ab einer Umlaufzahl von 9 der Fall.
- Während bei der THG-Grafik der Einwegbecher nur bei der höchsten Umlaufzahl des zentralen MW-Systems einen Vorteil gegenüber der Einwegverpackung zeigte, ist dies beim KEA fossil bei allen als wahrscheinlich eingestuften Umlaufzahlen zu beobachten. Ab einer Umlaufzahl von 16 führt der Mehrwegbecher im geschlossenen und dezentralen Mehrwegsystem zu einem geringeren KEA fossil Ergebnis als die Einwegverpackung.

Verpackungen für Popcorn:

- Auch bei den Popcornverpackungen verschieben sich die Graphen zum Vorteil der Mehrwegverpackungen.
- Alle berechneten MW-Szenarien zeigen niedrigere KEA fossil Ergebniswerte als die gegenübergestellte Einwegverpackung.

4.3 Break-Even Grafiken: KEA gesamt

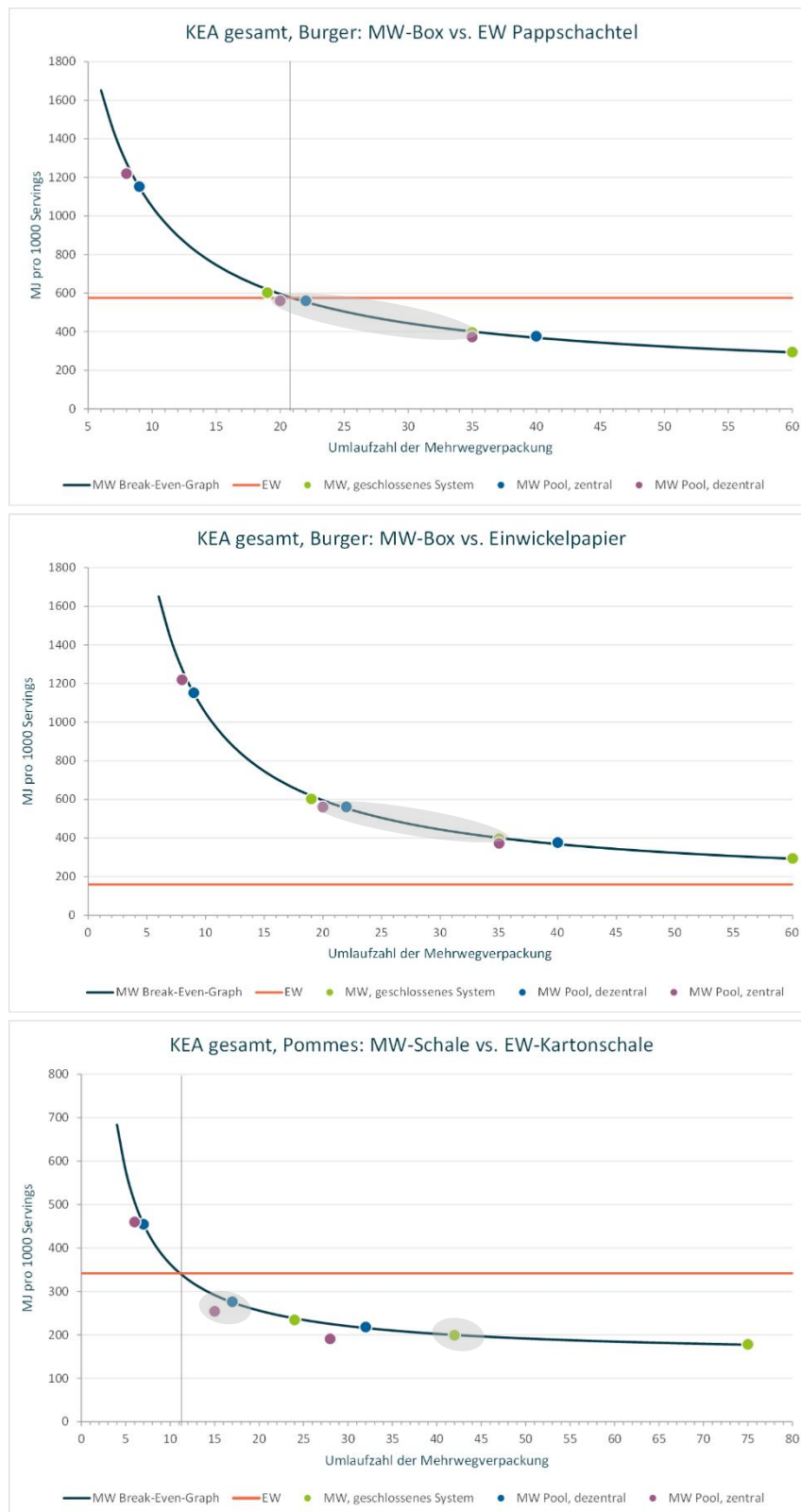


Abbildung 11: Verpackungen für Speisen (Break-Even Graph KEA gesamt)

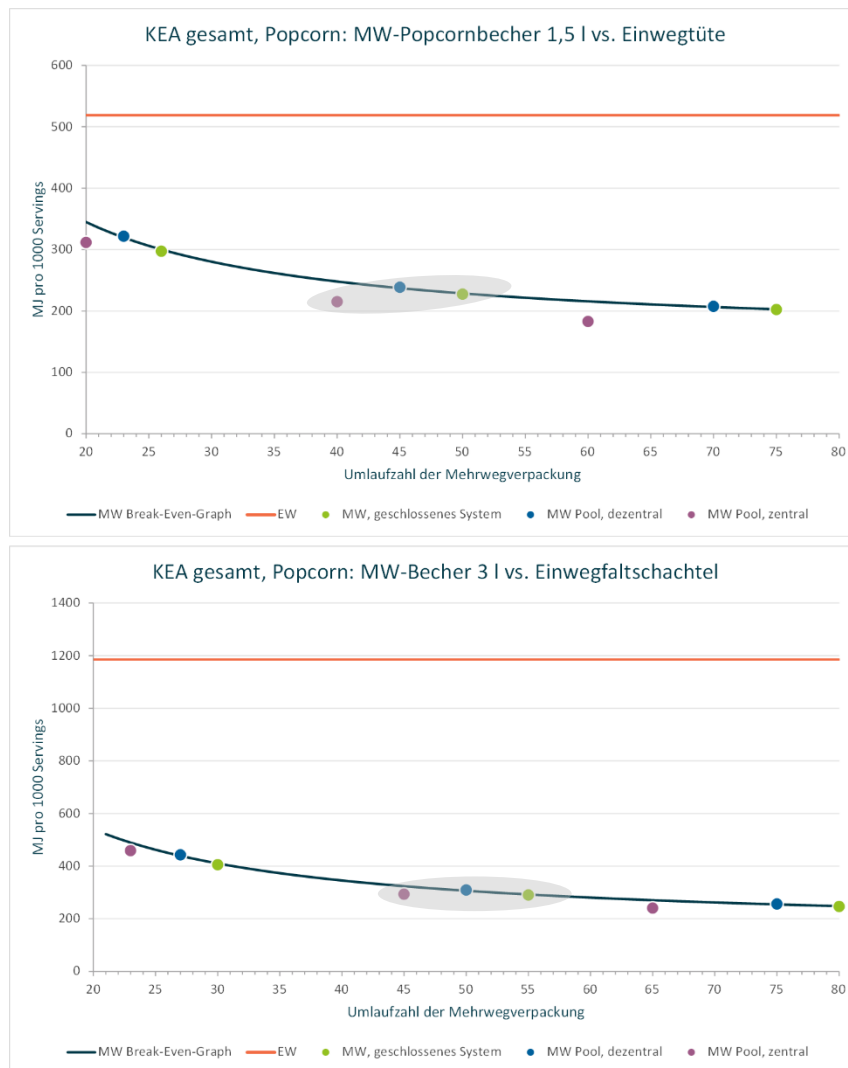


Abbildung 12: Verpackungen für Getränke (Break-Even Graph KEA gesamt)

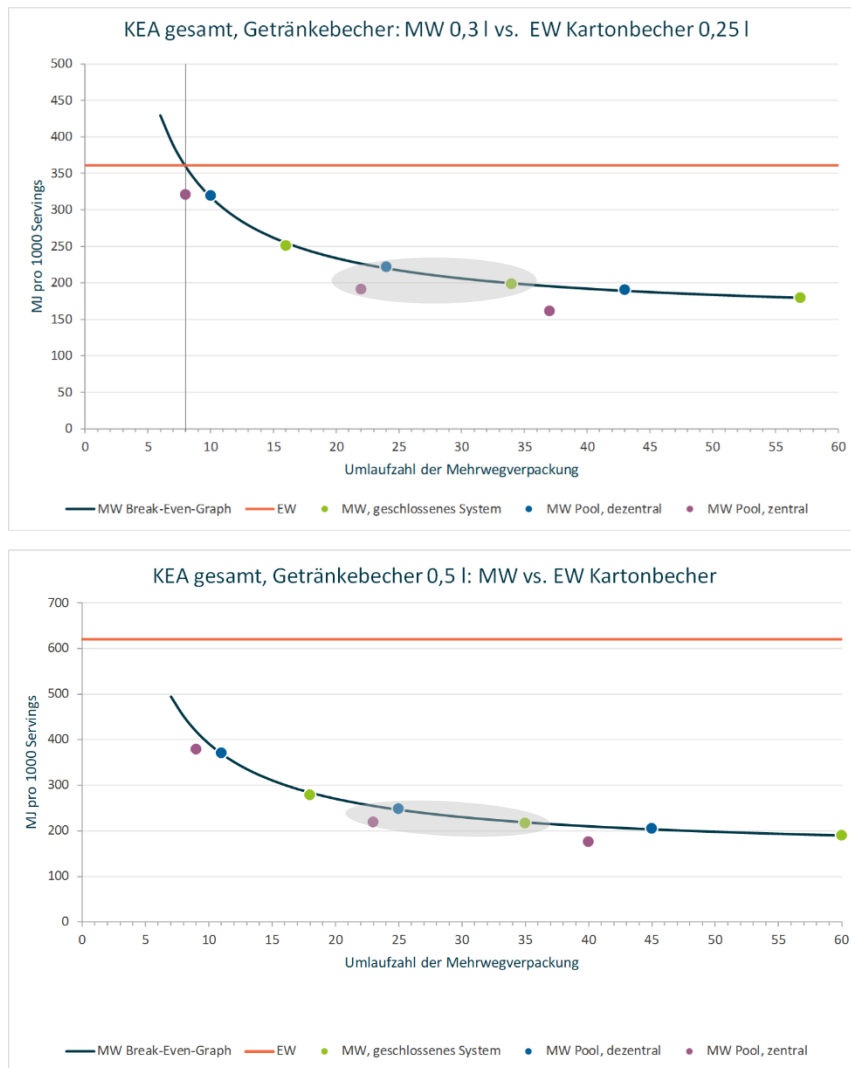


Abbildung 13: Verpackungen für Popcorn (Break-Even Graph KEA gesamt)

Hinweis:

Der KEA gesamt enthält neben dem nicht erneuerbaren, fossilen Energiebedarf auch zusätzlich den erneuerbaren Energiebedarf. Somit ist auch der im Holz für die Papierherstellung enthaltene Energiegehalt in den Ergebnissen enthalten. Dieser Energiegehalt wird zu einem nennenswerten Anteil in den Zellstoff- und Papierfabriken energetisch genutzt.

KEA gesamt spiegelt somit den gesamten energetischen Ressourcenbedarf wider. Erneuerbare Ressourcen sind zwar „erneuerbar“ und damit nicht endlich, aber dennoch begrenzt verfügbar. Daher wäre auch hier eine insgesamt eine Ressourcenschonung anzustreben. Die Berücksichtigung des erneuerbaren Energiebedarfs führt bei den papierbasierten Einwegverpackungen zu höheren Ergebnissen (also einem höheren Energiebedarfswert) als bei alleiniger Betrachtung des KEA fossil. Andererseits kann dies situativ durchaus auch einen Beitrag zur Schonung der endlichen fossilen Ressourcen liefern. Daher wird KEA gesamt in der vorliegenden Studie überwiegend informativ ergänzend jedoch nicht vordergründig in die Bewertung einbezogen.

Beobachtungen zu den KEA gesamt Break-Even Grafiken:Verpackungen für Speisen:

- Bei der EW-Pappschachtel als Burgerverpackung verschiebt sich der Break-Even Punkt weiter nach links. Bereits ab einer ULZ von 20 beim zentralen Poolsystem und ab einer ULZ von 21 beim individuellen MW-System und beim dezentralen Poolsystem führt die Mehrwegverpackung zu einem geringeren KEA gesamt Ergebnis als die Einwegverpackung. Diese Umlaufzahlen sind als wahrscheinliche Werte gekennzeichnet (vgl. Tabelle 8) und sind somit realistisch erreichbar.
- Das Einwickelpapier bleibt aufgrund des geringen Materialgewichts auch beim KEA gesamt vorteilhaft gegenüber allen betrachteten Mehrwegsystemen.
- Bei den Pommesverpackungen ist der Effekt vergleichbar mit der Burgerpappschachtel – die ULZ, ab der die MW-Verpackungen ein besseres Ergebnis zeigen als die EW-Verpackungen reduziert sich beim KEA gesamt im Vergleich zum KEA fossil. Ab einer ULZ von 12 liegt der KEA gesamt der MW-Verpackungen im individuellen MW-System und im dezentralen Poolsystem unterhalb der Einwegverpackung.

Verpackungen für Getränke:

- Beim KEA gesamt zeigen alle berechneten MW-Szenarien ein vorteilhaftes Ergebnis gegenüber den großen und kleinen Einwegbechern.

Verpackungen für Popcorn:

- Das bereits bei den THG- und KEA fossil-Grafiken vorteilhafte Ergebnis für die Mehrwegverpackungen für Popcorn verstärkt sich beim KEA gesamt. Die Einwegverpackungen zeigen deutlich höhere KEA gesamt Ergebnisse als alle dargestellten MW-Szenarien.

4.4 Kursorische Beitragsanalyse

Die kursorische Beitragsanalyse zeigt wesentliche Treiber der in der vorliegenden Studie berechneten THG-Emissionen, die durch die Bereitstellung und Nutzung der betrachteten Einweg- und Mehrwegverpackungen entstehen. Abgebildet sind die Einwegverpackungen sowie die Mehrwegverpackungen im dezentralen Poolsystem und wahrscheinlicher Umlaufzahl. Abbildung 14 zeigt alle für Speisen bilanzierten Verpackungen. Abbildung 15 zeigt die Getränkebecher.

Anmerkung: die Beitragsanalyse dient vor allem Illustrationszwecken zum Verständnis a) der Ergebnistreiber in den Einweg- und Mehrwegsystemen und b) dem Zusammenspiel der relativen Beiträge von Waschen und Umlaufzahl in den Mehrwegsystemen. Für Mehrweg wurde das Pool-Szenario 2a (dezentrales Poolsystem) gewählt, weil es bzgl. der Umlaufzahlen zwischen den Pool-Szenarien 1 und 2b liegt. So bleibt auch der relative Beitrag des Waschens bei niedrigeren Umlaufzahlen (s. MW-Burgerbox) gut ersichtlich.

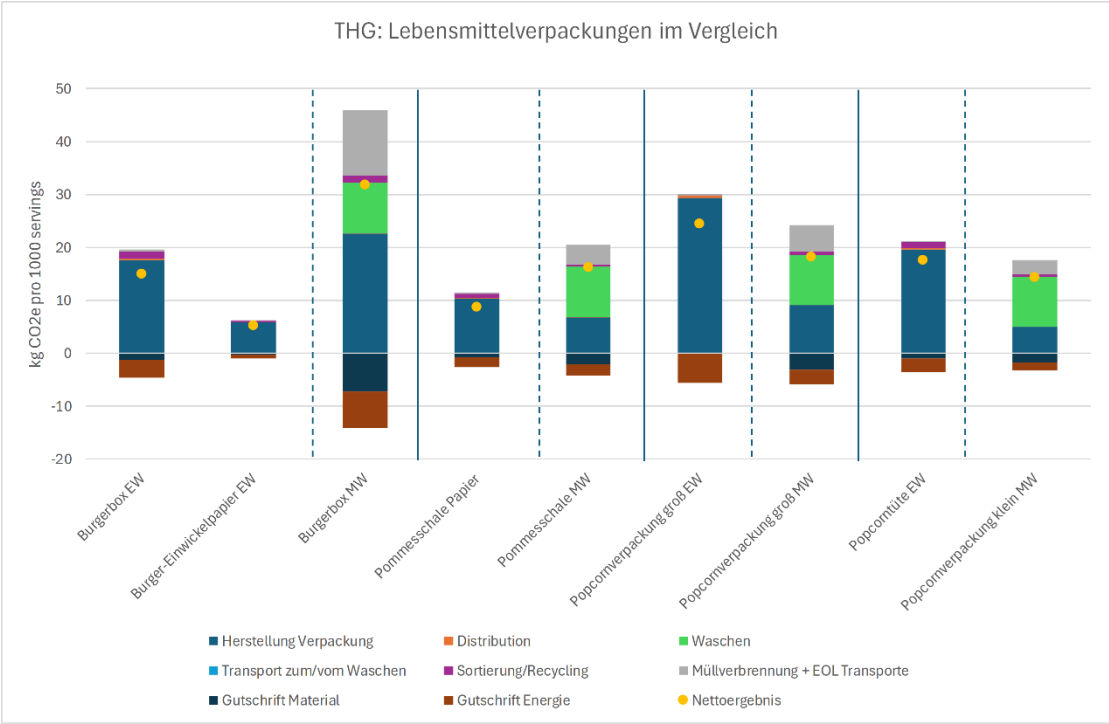


Abbildung 14: Sektoralgrafik - THG: Lebensmittelverpackungen im Vergleich

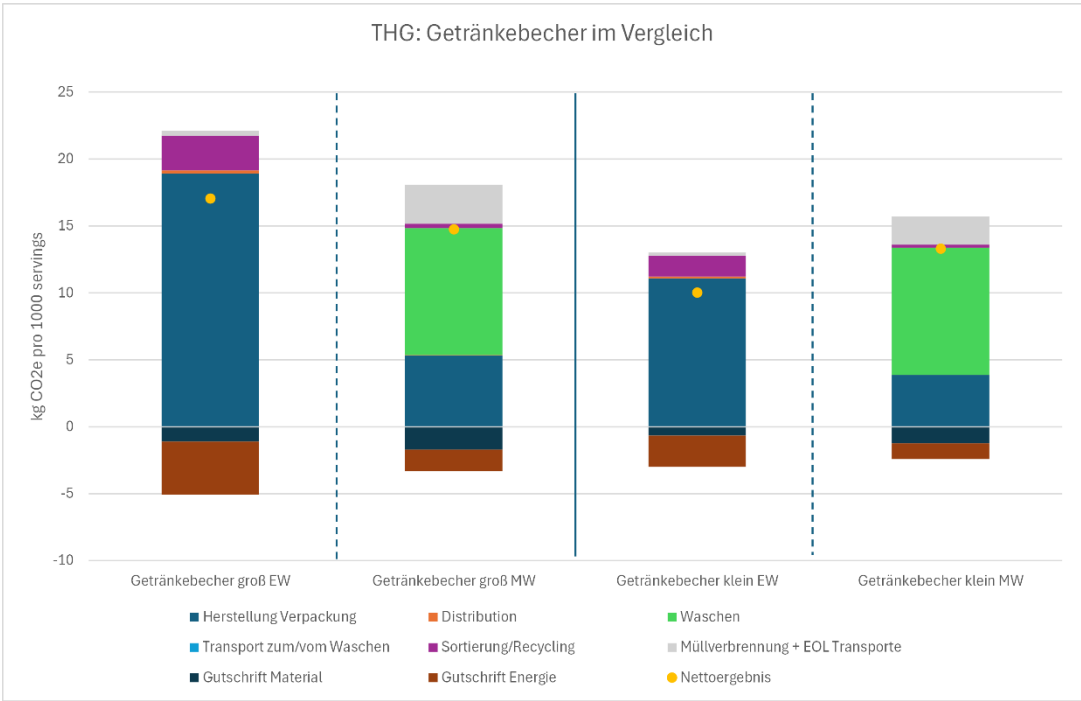


Abbildung 15: Sektoralgrafik - THG: Getränkebecher im Vergleich

Wesentliche Beobachtungen auf Basis der Sektoralgrafiken:

- Bei allen Einwegverpackungen sind die THG-Ergebnisse größtenteils auf die Herstellung der Verpackung zurückzuführen. Diese beinhaltet die Papierherstellung, ggfs. auch die Herstellung der Beschichtung sowie die Verarbeitungsprozesse vom Papier bis zur Verpackung.
- Mit Ausnahme der Burgerbox (hohes Gewicht bei relativ geringer mittlerer Umlaufzahl) hat der Waschprozess bei allen Mehrwegverpackungen den größten Anteil an den THG-Ergebnissen. Die Herstellung der Verpackung (PP-Produktion und Prozessierung) fällt durch die Mehrfachnutzung der Verpackung geringer aus. Je höher die Umlaufzahl, desto stärker ist der Effekt, dass die Verpackungsherstellung zu einem geringeren Anteil der THG-Ergebnisse beiträgt und ein größerer Teil der berechneten THG-Emissionen durch den Waschprozess verursacht wird.
- Die Entsorgung der Verpackungen und die damit zusammenhängenden Lasten und Gutschriften haben bei allen Verpackungen einen relevanten Einfluss auf das THG-Nettoergebnis. Emissionen entstehen durch die Sortierung, das Recycling sowie durch die Müllverbrennung und die damit verbundenen Transporte. Gutschriften werden für die in der Müllverbrennung gewonnene Energie und für die durch das Recycling gewonnenen Rohstoffe vergeben.
- Die Höhe der entsorgungsbedingten Lasten und Gutschriften ist abhängig von der Materialbeschaffenheit (papierbasiert vs. PP-basiert) und von der Recyclingquote. Ein Beispiel hierfür: Bei den PP-basierten Mehrwegverpackungen fallen die fossilen THG-Emissionen aus der Müllverbrennung höher aus als bei den papierbasierten Einwegverpackungen. Dies sei ergänzt mit einem Beispiel für den Einfluss der Recyclingquote: Die große EW-Popcornschachtel wird nur zu 0,3% dem Recyclingprozess zugeführt. Die kleine Popcorntüte hingegen zu 87%. Dadurch entstehen bei der kleinen Popcorntüte höhere Lasten aus dem Recyclingprozess und es wird eine höhere Materialgutschrift vergeben. Die berechneten THG-Emissionen aus der Müllverbrennung sind jedoch bei beiden papierbasierten Popcornverpackungen gering.

4.5 Synoptische Einordnung der Ergebnisse

In diesem Kapitel erfolgt eine Zusammenschau verschiedener bis hierher in unterschiedlichen Kapiteln hergeleiteten und besprochenen Kenngrößen mit dem Ziel, Entscheidungsprozesse und Handlungsoptionen im Hinblick auf die Zielstellung der vorliegenden Studie vorzubereiten.

Hierzu wird zwischen den Anfallstellen der betrachteten Einwegverpackungen, also Kinobetriebe und Systemgastronomie sowie bei letzterer zusätzlich zwischen Verpackungen für Getränke und solchen für Speisen unterschieden. Die übergreifende Bewertung erfolgt unter Berücksichtigung des Verpackungs- bzw. Abfallaufkommens, der Umweltbilanz auf Basis der Break-Even-Analysen sowie der Pool-Varianten bzw. der damit verknüpften Umlaufzahlen.

Verpackung von Popcorn in Kinobetrieben

Hier wurden zwei EW-Verpackungsgrößen betrachtet, die 1,5 Liter Tüte und die 3 Liter Faltschachtel. Auffällig war hier, dass die Tüte eine sehr hohe Recyclingzuführungsquote über den gemischten Altpapierstrom erreicht, die Faltschachtel jedoch fast vollständig in die Restmüllsammlung gelangt.

Die als Alternative angesetzten MW-Becher gleichen Volumens können in einem geschlossenen System mit großer Wahrscheinlichkeit sehr hohe Umlaufzahlen (45 kleinerer und 50 größerer Becher) erreichen. Über beide Bechergößen und die drei Poolvarianten hinweg liegt die Gesamtbandbreite der Umlaufzahlen zw. 20 und 80 Umläufen. Die Mehrwegbecher erreichen schon bei der kleinsten Umlaufzahl sowohl ein geringeres Verpackungsaufkommen als auch eine geringere Restmüllmenge als beide EW-

Verpackungen. Auch die THG-Emissionen und KEA fossil sind bei den MW-Bechern bei den wahrscheinlichen Umlaufzahlen in allen Poolvarianten deutlich geringer als bei den EW-Verpackungen.

Aufgrund der hohen, in Kinobetrieben wahrscheinlich erreichbaren Umlaufzahlen von MW-Bechern wären diese somit unter den hier betrachteten Randbedingungen, sowohl aus Sicht der Abfallvermeidung als auch der lebenswegbezogenen Umweltbewertung, die bevorzugte Verpackungslösung für Popcorn.

Verpackung von Getränken in Verkaufsstellen der Systemgastronomie

Hier wurden zwei papierbasierte, kunststoffbeschichtete EW-Becher mit den Volumina 0,25l und 0,5l betrachtet. Es wurde angenommen, dass beide Becher eine hohe Recyclingzuführungsquote (>70% der abgegebenen Becher) erreicht. Die Sammlung der Becher erfolgt teilweise über eine gesonderte Abfallfraktion. Das nachfolgende Recycling findet in spezialisierten Anlagen statt, die in der Lage sind, die Fasern mit hoher Ausbeute vom Kunststoff zu trennen. Entsprechend wurde auch im Ökobilanz-Modell ein gegenüber der Standardpapierrecycling etwas aufwändigerer Recyclingprozess modelliert.

Die alternativen MW-Becher haben ein Volumen zum einen von 0,5 Litern und zum anderen von 0,3 Litern. Diese können in einem geschlossenen System mit großer Wahrscheinlichkeit Umlaufzahlen von 34 (kleinerer Becher) und 35 (größerer Becher) erreichen. Über beide Bechergrößen und die drei Poolvarianten hinweg liegt die Gesamtbandbreite der Umlaufzahlen zw. 9 und 60 Umläufen. Die MW-Getränkebecher sind deutlich leichter als die MW-Popcorn-Becher und erreichen daher auch in einem MW-System mit einer Umlaufzahl an der unteren Bandbreite sowohl ein geringeres Verpackungsaufkommen als auch eine geringere Restmüllmenge im Vergleich zu beiden EW-Verpackungen.

Bezüglich der THG-Emissionen und KEA fossil ist das Bild etwas differenzierter als bei den Popcornverpackungen. So sind die Umweltlasten der großen MW-Becher bei den wahrscheinlichen Umlaufzahlen in allen Poolvarianten sichtbar geringer als bei den EW-Verpackungen. Bei den kleinen Bechern gilt dies zwar auch für die KEA-Ergebnisse, jedoch nicht für die THG-Ergebnisse.

In der Tendenz spräche dies insgesamt, also die Sicht der Abfallvermeidung als auch die der lebenswegbezogenen Umweltbewertung zusammengekommen, für die Verwendung von MW-Bechern; zumal die Ergebnisse bei KEA gesamt einen Vorteil für MW bei allen Poolvarianten und Umlaufzahlen aufzeigen.

Verpackung von Burgern und Pommes in Verkaufsstellen der Systemgastronomie

Burger und Pommes werden als Lebensmittel hier zunächst zusammen betrachtet, um zu sehen, ob sich deren Einwegverpackungen bewertungsseitig in eine Gruppe einordnen lassen. Denn sowohl für Burger als auch Pommes werden Kartonverpackungen verwendet. Für die Burger gibt es daneben auch die Möglichkeit zur Verwendung eines Einwickelpapiers. Dabei fällt besonders der große Gewichtsunterschied zwischen der Pappschachtel (12,95 g) und dem Wickelpapier (2,95 g) auf. Bei letzteren ist die Recyclingzuführungsquote mit 71,6% jedoch niedriger als bei den Kartonverpackungen (80,9% und 76,6%).

Hinsichtlich der Mehrwegalternativen wurde beim Burger eine Kunststoff-Mehrwegbox angesetzt, die als Klappschale formal und funktional der Pappschachtel ähnelt und in einem geschlossenen System eine wahrscheinliche Umlaufzahl von 35 erreicht. Über alle Poolvarianten hinweg liegt die Gesamtbandbreite der Umlaufzahlen zw. 8 und 60 Umläufen.

Für die Pommes wurde eine Kunststoff-Schale ausgewählt mit einer wahrscheinlichen Umlaufzahl von 42 in einem geschlossenen System. Hier liegt die Gesamtbandbreite der Umlaufzahlen über alle Poolvarianten hinweg zw. 6 und 75 Umläufen.

Einwickelpapier

Das Einwickelpapier hat ein geringeres Verpackungsaufkommen als die Mehrwegklappschale und erreicht insgesamt vergleichbar niedrige Restmüllmengen. Die THG-Emissionen und KEA fossil Ergebnisse sind beim Einwickelpapier gegenüber der MW-Klappschale bei allen Umlaufzahlen in allen Poolvarianten deutlich geringer. Das Einwickelpapier stellt sich damit insgesamt gegenüber der MW-Klappschale als vorteilhaft dar.

Einweg-Kartonverpackungen

Obwohl die MW-Klappschachtel mit 172 g deutlich schwerer ist als die MW-Schale mit 40 g zeigt sich beim EW-/MW-Vergleich beim Burger und bei den Pommes dennoch ein recht ähnliches Bild. Sowohl das Verpackungs- als auch das Restmüllaufkommen sind bei den EW-Verpackungen höher als bei den MW-Verpackungen bei Zugrundelegung der wahrscheinlichen Umlaufzahlen.

Umweltseitig sind jedoch in beiden Fällen die THG-Emissionen der EW-Verpackungen bei allen Umlaufzahlen in allen drei Poolvarianten niedriger. Auch beim KEA fossil liegen die Werte der MW-Verpackungen zumindest bei den wahrscheinlichen Umlaufzahlen in allen drei Poolvarianten noch knapp über den Werten der Einwegverpackungen. Beim KEA liegen die Ergebniswerte der MW-Verpackungen knapp (EW-Klappschale) bis deutlich (Pommesschale) unter dem Schnittpunkt der Break-Even-Graphen.

Das Gesamtbild ist hier somit insgesamt heterogen und lässt keinen offensichtlichen Vorteil für EW oder MW ersichtlich werden.

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Mit der Einführung der Verpackungssteuer verfolgt die Stadt Freiburg das Ziel, die Nutzung von Mehrwegverpackungen zu fördern und das Abfallaufkommen im Außer-Haus-Verzehr zu reduzieren.

In diesem Zusammenhang bestehen offene Fragen zur Rezyklierbarkeit, zu den tatsächlich erreichbaren Recyclingquoten sowie zu den Umweltwirkungen entlang des gesamten Lebensweges der Verpackungen. Zusätzlich stellt sich die Frage, ob die stoffliche Verwertung von Einwegverpackungen in einer Lebenszyklusbetrachtung eine ökologisch sinnvolle Alternative zur Nutzung von Mehrwegverpackungen darstellt oder ob Mehrwegsysteme beim Verzehr vor Ort grundsätzlich vorzuziehen sind.

Im Zentrum der Untersuchung stehen dabei Einweg- und Mehrwegverpackungen, wie sie typischerweise in der Systemgastronomie im Freiburger Stadtgebiet anzutreffen sind. Die Anfallstellen der betrachteten Einwegverpackungen sind dabei solche Gastronomie- und Kinobetriebe, in denen Speisen und Getränke zum In-Haus-Verzehr angeboten werden.

Insgesamt wurden sieben Einwegverpackungssysteme als relevant identifiziert und untersucht. Ihnen wurden jeweils anwendungsgleiche Mehrwegverpackungen zugeordnet und hinsichtlich der Bewertungsgrößen **Verpackungsaufkommen**, **Restmüllaufkommen**, **Treibhausbilanz** und **fossiler Primärenergiebedarf** verglichen. Dabei wurde besonders der Einfluss der innerhalb der untersuchten Pool-Varianten erreichbaren Umlaufzahlen auf die Vergleichsergebnisse herausgearbeitet.

In der Folge werden die Erkenntnisse der Studie in der Form von „Fragen und Antworten“ aufbereitet.

Wie gut werden Einwegverpackungen in der Freiburger Systemgastronomie erfasst und verwertet?

Alle betrachteten Einwegverpackungen werden zu einem hohen Anteil an den internen Rücknahmestellen erfasst. Das gilt mit kleinen Einschränkungen auch für die Getränkebecher, da hier von einer Mitnahme von Restgetränken auszugehen ist. In den Rücknahmestellen erfolgt eine Trennung der Abfälle (z.B. separate Bechersammlung), wobei nur stark verschmutzte, für ein Recycling nicht geeignete Behältnisse händisch in den Restmüll sortiert werden. Dadurch werden für praktisch alle betrachteten Einwegverpackungen insgesamt hohe Recyclingzufuhrquoten erreicht. Gemäß den aus der Papierindustrie erhaltenen Rückmeldungen können diese Verpackungen zusammen mit den gemischten Papierstrom rezykliert und die enthaltenen Papierfasern größtenteils als Sekundärfasern zurückgewonnen werden. Dies gilt auch für die beschichteten Papierbecher, wenngleich diese in spezialisierten Anlagen rezykliert werden. Für die betrachteten Einwegverpackungen wurden folgende Recyclingzufuhrquoten ermittelt:

- Pappschachtel für Burger: 81%
- Einwickelpapier für Burger: 72%
- Schale für Pommes: 77%
- Getränkebecher: 73%-75%
- Popcorn-Papiertüte: 87%
- Popcorn-Faltschachtel: 0%

Aus der Reihe fällt hier die Faltschachtel für Popcorn. Dem Wert liegt die empirisch vor Ort ermittelte Beobachtung zugrunde, demzufolge die Faltschachteln im Zuge der Rücknahme direkt dem Restmüll zugeführt werden. Prinzipiell wäre aber auch hier eine getrennte Sammlung denkbar. Denn so zeigt ja gerade das Beispiel der Popcorn-Papiertüte wie eine Vorsortierung, Restentleerung und Trennung der Einwegverpackungen die Recyclingzufuhrquote positiv beeinflusst. Durch die Sammlung nach

jeder Vorstellung und Entleerung der Restinhalte am Folgetag, kann der Großteil der ausgegebenen Verpackungen der stofflichen Verwertung zugeführt werden.

Wie stellt sich die stoffliche Verwertung von EW-Verpackungen im Vergleich zu MW-Alternativen in Kinobetrieben dar?

Es kann davon ausgegangen werden, dass die alternativ verwendbaren Mehrwegbecher im Kino-Kontext besonders hohe Umlaufzahlen erreichen können. Würden diese als geschlossenes System geführt, also auch In-Haus gespült, wären Umlaufzahlen zwischen 50 und 55 durchaus erreichbar. Bereits ab Umlaufzahlen von 30 und größer sind die Ergebnisse der Mehrwegbecher bei allen vier Bewertungsgrößen günstiger als die der Einwegbecher.

Wie stellt sich die stoffliche Verwertung von EW-Getränkeverpackungen im Vergleich zu MW-Alternativen in der Systemgastronomie dar?

Die Mehrweggetränkebecher erreichen hier nicht die sehr hohen Umlaufzahlen der zuvor genannten Popcornbecher. Denn u.a. beeinflussen hygienische Vorbehalte, etwa aufgrund des direkten Kontakts mit dem Trinkrand, das Nutzungsverhalten. Da seitens der Gastronomie- und Kinobetriebe Hygiene eine wichtige Rolle spielt, kommt es hier häufiger zu einer Entnahme der MW-Becher aus dem Pool.

Andererseits sind die MW-Getränkebecher deutlich leichter als die Popcornbecher. Daher ist auch hier das Verpackungs- und Abfallaufkommen geringer als bei den EW-Bechern.

Bezüglich THG-Emissionen und dem primären Energiebedarf (KEA fossil) ist das Bild etwas differenzierter als bei den Popcornverpackungen. So sind die Umweltlasten der großen MW-Getränkebecher bei den wahrscheinlichen Umlaufzahlen in allen Poolvarianten geringer als bei den EW-Verpackungen. Bei den kleinen MW-Getränkebechern gilt dies zwar auch für die KEA-Ergebnisse, jedoch nicht für die THG-Ergebnisse.

Wie stellt sich die stoffliche Verwertung von EW-Lebensmittelverpackungen im Vergleich zu MW-Alternativen in der Systemgastronomie dar?

Hier wurden sehr unterschiedliche Verpackungsvarianten betrachtet. Bei Einweg steht das leichte Burgerpapier den deutlich schwereren Kartonschalen gegenüber, bei Mehrweg kommt sowohl eine Klappschale sowie eine einfache offene Schale zum Ansatz.

In der Bewertung stellt sich das Einwickelpapier gegenüber der MW-Klappschale insgesamt als vorteilhaft dar. Bezieht man die Klappschalen mit ein, ergibt sich jedoch ein heterogenes Gesamtbild, aus dem sich nicht unmittelbar ein offensichtlicher Vorteil für EW oder MW ableiten lässt.

Welche Rolle spielen die Umlaufzahlen für die Ergebnisse der Mehrwegverpackungen?

Die Umlaufzahlen sind die entscheidende Stellgröße für die Vergleichsergebnisse von Mehrweg zu Einweg. In der Studie wurde dabei unterschieden zwischen den drei Poolvarianten:

- Geschlossenes System
- Dezentrales Poolsystem
- Zentrales Poolsystem

Für jede Poolvariante wurde eine wahrscheinliche Umlaufzahl sowie eine untere und obere Bandbreite abgeleitet. Es bietet sich daher an, die Ergebnisse der wahrscheinlichen Umlaufzahlen als Grundlage für weitere Entscheidungsfindungen heranzuziehen. So nehmen auch die zuvor diskutierten EW-/MW-Vergleichsergebnisse hierauf Bezug. Interessanterweise zeigen die Break-Even Grafiken, dass es zum Teil auch gar keine Schnittpunkte der Mehrwegsysteme mit den jeweils verglichenen Einwegsystemen gibt.

Dort jedoch wo solche Schnittpunkte vorhanden sind, wird die Abhängigkeit des Schnittpunkts von der Umlaufzahl deutlich.

Daher gilt es dann auch bei der Umsetzung bzw. Neu-Einführung von Mehrwegverpackungen darauf zu achten (und ggf. zu monitoren), dass die anzustrebenden Umlaufzahlen in der Praxis auch erreicht werden.

Welche Optimierungsmöglichkeiten der betrachteten Systeme bestehen?

Mehrweg

Die Bedeutung möglichst hoher Umlaufzahlen wurde bereits angesprochen. Die erreichbaren Umlaufzahlen unterscheiden sich jedoch von Pool-Variante zu Pool-Variante. Sie nehmen i.d.R. vom geschlossenen Poolsystem hin zum zentralen Poolsystem ab.

Andererseits zeigen die Beitragsanalysen, dass mit zunehmend hohen Umlaufzahlen das Spülen zu einem zunehmend starken Treiber der THG-Ergebnisse der Mehrwegsysteme wird. Dabei ist es so, dass zentrale (industrielle) Spülanlagen geringere Energieverbräuche aufweisen als die In-Haus Spülanlagen. Es besteht somit ein gegenläufiger Effekt zwischen erreichbaren Umlaufzahlen und der Energieeffizienz des Spülvorgangs.

Daher liegen, wie in den Break-Even Grafiken ersichtlich, die Ergebnisse des geschlossenen Systems (höhere Umlaufzahlen) und die des dezentralen Pools (bessere Energieeffizienz) häufig nahe beieinander.

Die in der Studie angesetzten Energiebedarfswerte der Spülanlagen sind aus Sicht der Mehrwegsysteme konservativ gewählt. Es wäre zu erwarten, dass mit modernen, hocheffizienten Anlagen in Kombination mit hohen Umlaufzahlen die Ergebnisse der Mehrwegsysteme noch weiter verbessert werden können.

Einweg

Bei Einwegsystemen sind erfahrungsgemäß besonders die folgenden drei Stellgrößen ausschlaggebend:

- Rohmaterialherstellung
- Recyclingquote (bzw. Rezyklatzuführungsquote)
- Rezyklateinsatzquote

Recyclingquote bzw. Rezyklateinsatzquote sind bei Kunststoffprodukten ein relativ großer Hebel. Bei Papierprodukten gilt dies weniger, insbesondere für die Bewertungsgrößen THG-Emissionen und fossiler Primärenergiebedarf. Das liegt daran, dass bei der Verbrennung von Kunststoffprodukten überwiegend fossile THG-Emissionen, bei der Verbrennung von Papier und Karton jedoch überwiegend biogene THG-Emissionen entstehen.

Für das Verständnis der Bedeutung des Rezyklateinsatzes bzw. der Gutschrift für werkstoffliche Recyclingprodukte gilt es beim Vergleich Kunststoff versus Papier/Karton Folgendes zu beachten. Beim Kunststoff tragen alle Prozessschritte von der Erdöl-/Erdgas-Förderung über die Raffinerie und der Verarbeitung der Raffinerieprodukte zur spezifischen THG-Last des Kunststoffes bei. Beim Ersatz von primärem Kunststoff durch rezyklierten Kunststoff entfallen die Lasten dieser ganzen Rohmaterialherstellungskette. Dem gegenüber steht der deutlich weniger aufwändige Prozess des Recyclings selbst.

Bei einer Papier- bzw. Kartonverpackung besteht die Rohmaterialherstellung aus den Prozessschritten Holzanbau- und gewinnung, Fasergewinnung, Faserverarbeitung auf der Papiermaschine und Konfektionierung zum fertigen Produkt. Beim Recycling wird aber lediglich die Faser rückgewonnen und eben auch nur mit den Prozessen zur primären Fasergewinnung verrechnet. Da in der primären Fasergewinnung überwiegend erneuerbare Energie zum Einsatz kommt, ist die Substitution von Primärfasern

durch Sekundärfasern mit einer deutlich geringeren Substitution von nicht-biogenen THG-Emissionen verbunden, als dies bei Kunststoffen der Fall ist.

Ersichtlich wird dies auch in den Abbildungen 14 und 15 sowie Abbildungen 16 und 17. Die Gutschriften der Einwegsysteme (negative Balkenabschnitte) sind dort im Vergleich zu den Materiallasten (positive Balkenabschnitte) relativ gering.

Welche Empfehlungen lassen sich insgesamt ableiten?

Die Handlungsoptionen der kommunalen Entscheidungsträger in Freiburg hängen zu einem gewissen Maß von den politischen Lenkungszielen und der Gewichtung der angewandten Bewertungsgrößen (Verpackungsaufkommen, Restmüllaufkommen, THG-Bilanz und Primärenergiebedarf) ab.

Zunächst wäre hervorzuheben, dass der In-Haus-Verzehr gegenüber dem Außer-Haus-Verzehr günstigere Voraussetzungen für eine stoffliche Verwertung papierbasierter Verpackungen bietet, da die Verpackungen innerhalb einer kontrollierten Umgebung anfallen und gezielt gesammelt werden können. Bei einer konsequenten, getrennten Sammlung können papierbasierte Verpackungen aus der Systemgastronomie grundsätzlich in einer für das Recycling geeigneten Qualität erfasst werden. Entscheidend sind dabei insbesondere die Trennung unterschiedlicher Verpackungsmaterialien, die Entfernung von Speise- und Getränke- sowie eine sorgfältige Kontrolle des gesammelten Materials. Eine mitarbeitergeführte Sortierung im rückwärtigen Bereich des Restaurants kann dazu beitragen, Fehlwürfe und verbliebene Inhalte zu entfernen und damit die Qualität des Sammelmaterials zu erhöhen.

Andererseits bieten genau diese Randbedingungen auch eine gute Voraussetzung, um hohe Wiederverwendungsraten für geeignete Mehrweglösungen zu erreichen. Die als Alternativen zu den Einwegverpackungen in Frage kommenden Mehrwegverpackungen wurden im Projekt anhand verfügbarer marktgängiger Verpackungslösungen definiert. Deren erwartbare Umlaufzahlen wurden auf der Basis von praktischen Erfahrungswerten bestimmt. Die nachfolgenden im Aufzählungsstil aufgeführten Empfehlungen setzen voraus, dass es gelingt, in der Freiburger Systemgastronomie Poolssysteme hoher Qualität bzw. Funktionalität zu etablieren.

Popcornverpackungen in Kinos:

- ⇒ Aus Abfall- und Umweltsicht sind Mehrwegbecher zu bevorzugen
- ⇒ Falls man bei Einweg bleibt, sollte die getrennte Erfassung und Verwertung aller EW-Becher sichergestellt werden

Getränkebecher bei McDonalds & Co.:

- ⇒ Aus Abfall- und Umweltsicht: nicht ganz so eindeutig wie bei den Kinos, aber in der Gesamtschau wäre eine Empfehlung für Mehrwegbecher gerechtfertigt

Burger- und Pommesverpackungen:

- ⇒ Hier zeigt sich kein klarer Vorteil für MW
- ⇒ Wenn EW beibehalten wird, dann wäre die Verwendung von Wickelpapier bei Burgern zu bevorzugen

Mehrweg-Poolvarianten:

- Alle betrachteten Poolvarianten kommen in Frage
- Bei nicht zentralen Poollösungen sollte besonders auf eine gute Energieeffizienz der Spülanlagen geachtet werden

6 Literatur

Bick, C., Kauertz, B., Barthel, F. (2024): Umlaufzahlen von Mehrwegverpackungen sachgerecht ermitteln am Beispiel von Mehrwegbehältern im Außerhausverzehr. Müll und Abfall, Heft 9/2024, S. 514–518. DOI: 10.37307/j.1863-9763.2024.09.08.

Blehschmidt, J.; Heinemann, S.; Naujock, H.-J. (2024): *Papierverarbeitungstechnik*. Carl Hanser Verlag.

Detzel, A., Kauertz, B., Grahl, B., Heinisch, J. (2016): Prüfung und Aktualisierung der Ökobilanzen für Getränkeverpackungen. UBA Texte 19/2016

Dinkel, Fredy & Pladerer, Christian & Meissner, Markus & Zschokke, Mischa & Dehoust, Günter & Schüler, Doris. (2008). Vergleichende Ökobilanz verschiedener Bechersysteme beim Getränkeausschank an Veranstaltungen.

FFI/PTS (2020): Recyclingfähigkeit von Faltschachteln und Materialkombinationen. Untersuchungen durchgeführt von der PTS Papiertechnischen Stiftung, Oktober 2020.

GVM Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH (2024): Mehrweg in der deutschen Gastronomie. Ein Realitätscheck ein Jahr nach Einführung der Mehrwegangebotspflicht. Studie im Auftrag des WWF Deutschlands.

GVM Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH (2025): Recycling-Bilanz für Verpackungen – Berichtsjahr 2024. Eigenstudie der GVM.

GVM Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH (2026): Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2023. Studie im Auftrag des Umweltbundesamts.

GVM Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH (2026): Erhebung von Daten für die Beurteilung der Mehrwegangebotspflicht nach § 33 und § 34 VerpackG für das Jahr 2023. Studie im Auftrag des Umweltbundesamts (vor Veröffentlichung).

GVM Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH & ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH (2026): Ökonomische und ökologische Bewertung der Auswirkungen kommunaler Verpackungssteuern. Studie im Auftrag von AVU, BdS, DIHK, Die Papierindustrie, FFI, HDE, IPV und PRO-S-PACK.

Jameson, Caolan & Farrell, Ronan & McKenna, Susan & Pezzoli, Romina & Chyzna, Vlasta & Fitzpatrick, Daniel & Hopkins, Michael & Cortese, Yvonne J. (2026). Feasibility of Recycled Polypropylene for Reusable Food Packaging: Effects of Reuse Conditions on Packaging Performance, Material Properties, and Microbial Safety. Food Frontiers. 7. n/a-n/a. 10.1002/fft2.70250

JRC (2017a), Boyano A., Moons H., Villanueva A., Graulich K., Rüdener I., Alborzi F., Hook I., Stammering R., (2017) Ecodesign and Energy Label for household dishwashers, EUR 28645 EN, doi: <https://doi.org/10.2760/024232>.

Kauertz, B., Schlecht, S., Markwardt, S., Knappe, F., Reischl, S., Pauer, G., Rubik, F., Bettag, D., La Porta, L., Xinh Max, N., Weißhaar, C., Heinisch, J., Kolbe, P., Hake, J. (2019): Untersuchung der ökologischen Bedeutung von Einweggetränkebechern im Außer-Haus-Verzehr und mögliche Maßnahmen zur Verringerung des Verbrauchs. UBA-Texte 29/2019

Krolle, A. (2025): Papierverbundverpackungen in der Kreislaufwirtschaft. Studie im Auftrag des NABU (Naturschutzbund Deutschland) e. V., 01. September 2025.

4evergreen (2026): Circularity by Design Guideline for Paper-Based Packaging. Version 4.

4evergreen (2026): Guidance on the Improved Collection and Sorting of Paper-Based Packaging for Recycling. Version 4.

7 Anhang – Sektoralgrafiken KEA gesamt

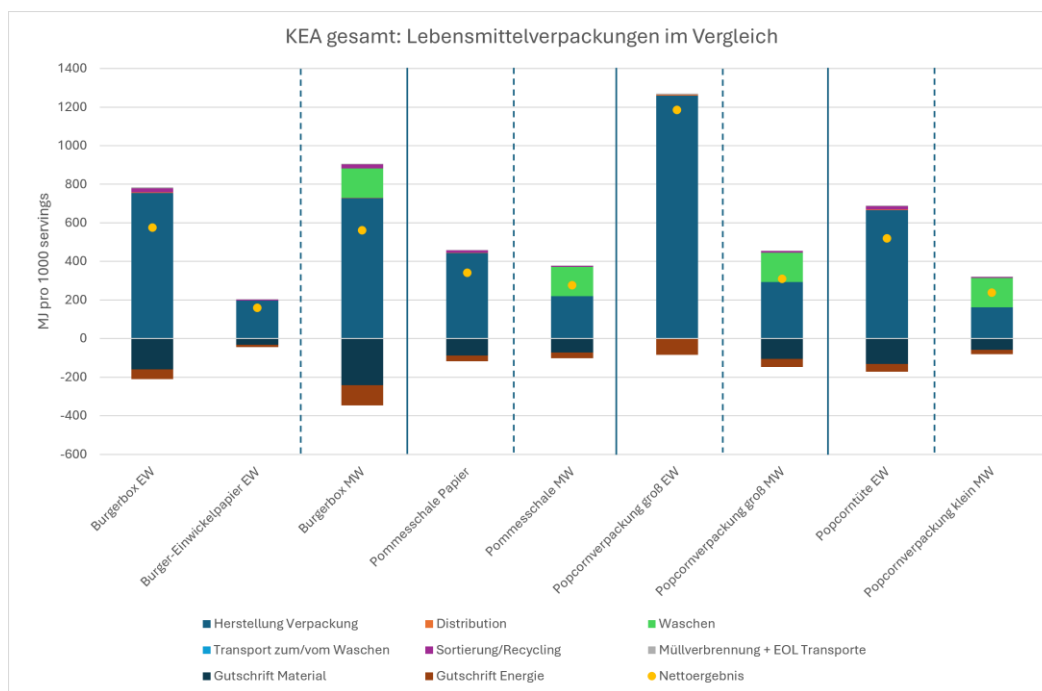


Abbildung 16: Sektoralgrafik - KEA : Lebensmittelverpackungen im Vergleich

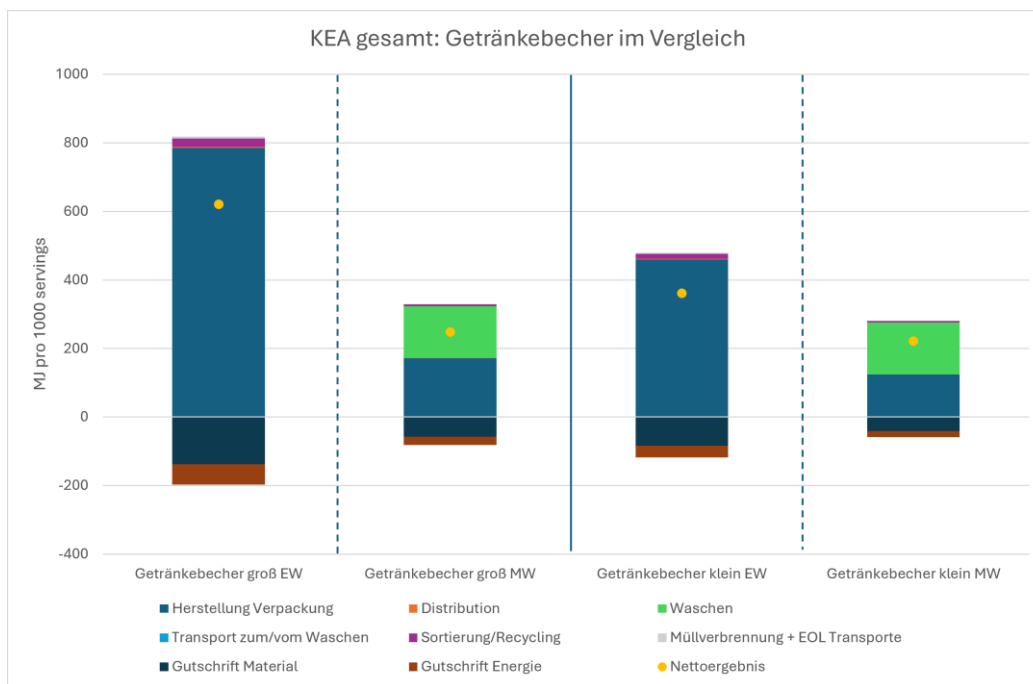


Abbildung 17: Sektoralgrafik - KEA gesamt: Getränkebecher im Vergleich

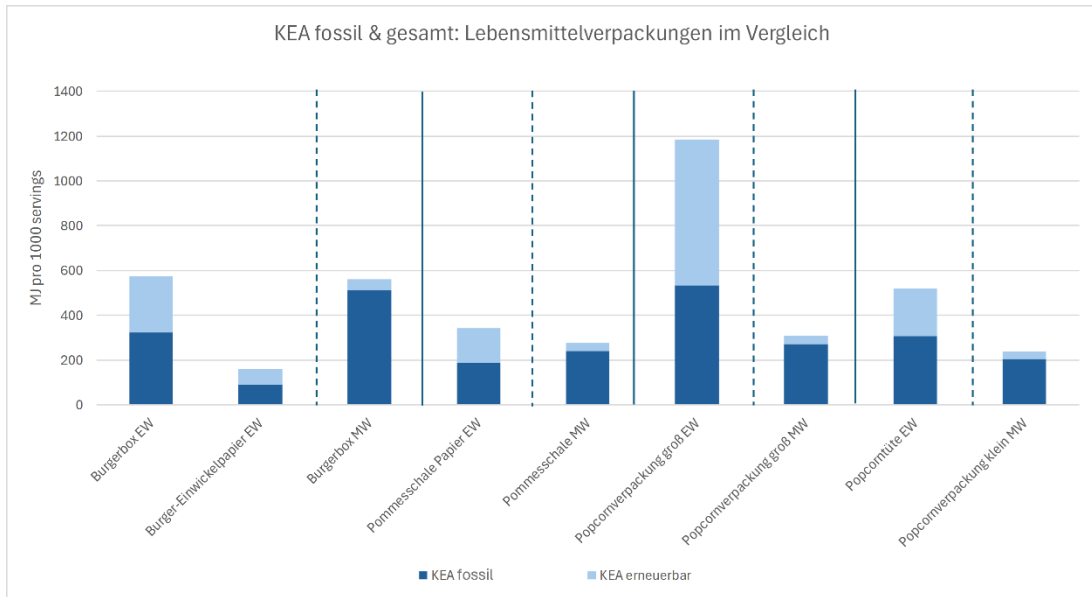


Abbildung 18: Sektoralgrafik - KEA : Lebensmittelverpackungen im Vergleich

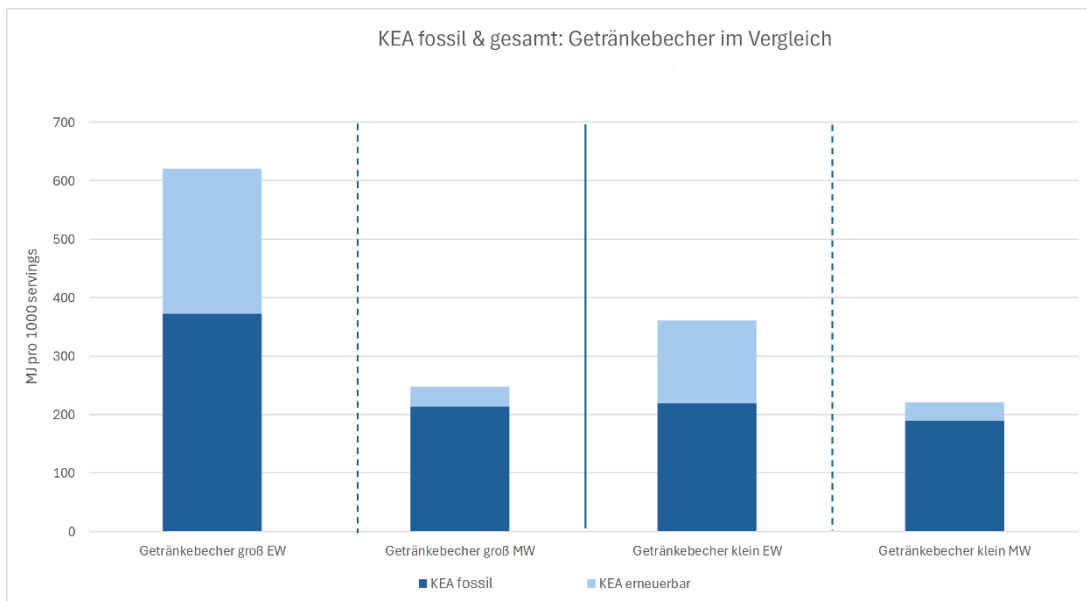


Abbildung 19: Sektoralgrafik - KEA gesamt: Getränkebecher im Vergleich