



Ökobilanzielle Expertisen zu verschiedenen Lebensmittelverpackungen im Auftrag des Naturschutzbundes Deutschland e.V.

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH

Wilckensstraße 3
D – 69120 Heidelberg

Telefon +49 (0)62 21. 47 67 – 0
Telefax +49 (0)6 221. 47 67 – 19
www.ifeu.de

Benedikt Kauertz Tel. -57
E-Mail benedikt.kauertz@ifeu.de

10. Juni 2021

Hintergrund

Im Rahmen der ökobilanziellen Expertise zu Verpackungen verschiedener Konsumgüter (Fokus Lebensmittel) sollen alternative am Markt befindliche Verpackungslösungen identifiziert und hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen bewertet werden. Die Ergebnisse des Projektes dienen der internen Information des NABU, sollen aber auch in der Öffentlichkeitsarbeit Anwendung finden.

Die Umweltbewertung der verschiedenen Verpackungen wird durch ein Screening von Ökobilanzen ermittelt. Im Rahmen der Studie werden dabei jedoch nicht bestimmte Marken oder Produkte untersucht, sondern es werden prototypische Verpackungen miteinander verglichen.

Der vorliegende Kurzbericht dokumentiert die methodischen Festlegungen der Screening-Ökobilanzen für die Bilanzierung der prototypischen Verpackungen.

Systemraum

Die Bilanzierung umfasst dabei alle relevanten Lebenswegabschnitte von der Bereitstellung der notwendigen Rohstoffe bis hin zur endgültigen Entsorgung aller Verpackungsbestandteile. Möglicherweise erzielbare Sekundärnutzen durch die Verwertung der Produkte werden hälftig zwischen dem abgebenden und dem nachfolgenden, aufnehmenden Produktsystem geteilt (50%-Allokation). Dies entspricht den vom deutschen Umweltbundesamt vorgeschlagenen Regelungen für die Systemallokation im Rahmen der Verwertung.



Geschäftsführung: Andreas Detzel (Dipl.-Biol.), Lothar Eisenmann (Dipl.-Phys.), Dr.-Ing. Martin Pehnt (Dipl.-Phys.)
Prokuristen: Horst Fehrenbach (Dipl. - Biol.), Bernd Franke (Biol.), Hans Hertle (Dipl. - Ing. (FH)), Dr. Ulrich Höpfner (Dipl. - Chem.), Benedikt Kauertz (Dipl.-Ing.), Udo Lambrecht (Dipl. - Phys.), Dr. Guido Reinhardt (Biol. / Chem. / Math.)
Ehrevorsitzender: Dr. Ulrich Höpfner (Dipl.-Chem.) **Handelsregister:** Amtsgericht Mannheim HRB 334263
Sitz der Gesellschaft: Heidelberg **Steuernummer:** 32489/20374 beim Finanzamt Heidelberg **UID - Nr.:** DE 143446610
Bankverbindung: HypoVereinsbank Heidelberg, IBAN DE53 6722 0286 4880 1912 04, Swift (BIC)HYVEDEMM479

Die nachfolgende Matrix zeigt eine Übersicht über die in den unterschiedlichen Lebenswegabschnitten enthaltenen Prozessschritte.

Lebenswegabschnitt	Kunststoffe	Metalle	Papier/ Pappe	Glas
<p>Von der Förderung der Rohstoffe bis zum Packmaterial</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Förderung von Rohöl - Anbau von Biomasse - Transporte zur Raffinerie - Verarbeitung zum Polymer 	<ul style="list-style-type: none"> - Abbau der Erze - Transporte der Erze - Verhüttung zu Alu/ Eisen - Fertigung der Packmittelrohstoffe 	<ul style="list-style-type: none"> - Forstwirtschaft - Transporte - Verarbeitung der Hölzer zu Papier/ Pappe 	<ul style="list-style-type: none"> - Abbau/ Förderung der Rohstoffe - Produktion von Behälterglas - Transport der fertigen Verpackung zum „Befüllen“ - Befüllung der Verpackung
<p>Verarbeitung des Packmaterials zur Verpackung</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Produktion von Folienprodukten (flexibel und halbstarr), auch Verbund - Produktion von Hohlkörpern - Transport der fertigen Verpackung zum „Befüllen“ - Befüllung der Verpackung 	<ul style="list-style-type: none"> - Produktion von Folien und Verbänden - Produktion von formstabilen Packmitteln - Transport der fertigen Verpackung zum „Befüllen“ - Befüllung der Verpackung 	<ul style="list-style-type: none"> - Produktion von Kartons - Produktion von Tüten und Taschen - Produktion von Verbänden auf Papierbasis - Transport der fertigen Verpackung zum „Befüllen“ - Befüllung der Verpackung 	<p><i>Anmerkung:</i> Hohlkörperverpackungen aus Glas werden in einem integrierten Prozess hergestellt, eine Auftrennung zw. Rohstoff und Verarbeitung erfolgt nicht</p>
<p>Distribution der Verpackung</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Transport der befüllten Produkte bis zur Übergabe an die Konsumenten (Verkaufsräume des Handels oder Auslieferung an die Kunden) 			
<p>Lebensende - Entsorgung der Verpackung</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - thermische Verwertung in einer MVA oder Zementwerk - werkstoffliche Verwertung in einer Recyclinganlage zu Sekundärkunststoffen 	<ul style="list-style-type: none"> - werkstoffliche Verwertung in einer Recyclinganlage zu Sekundär-aluminium oder Sekundärmetallen 	<ul style="list-style-type: none"> - werkstoffliche Verwertung in einer Recyclinganlage zu Altpapier - thermische Verwertung - ggf. Kompostierung 	<ul style="list-style-type: none"> - werkstoffliche Verwertung als Fremdscherben bei der Behälterglasherstellung

Nicht intendierte Entsorgungsoptionen (wie bspw. Littering) werden nicht betrachtet. Ebenso sind gesundheitliche Aspekte und potenzielle Unfallrisiken nicht Gegenstand der ökobilanziellen Untersuchung.

Für die Transporte innerhalb der spezifischen Wertschöpfungsketten werden auf Basis eigener Expertisen Defaultwerte festgelegt, die den üblichen Marktverhältnissen entsprechen. Dabei wird angesetzt, dass Kunststoffe und Metalle immer einer europäischen Produktion, Papier und Pappe einer nordeuropäischen Produktion entstammen. Behälterglas wird stets in Deutschland aus mehrheitlich regionalen Rohstoffen hergestellt. Die Produktion der Verpackungen findet aus Vergleichsgründen immer in Deutschland statt, sofern nicht konkretere Angaben bekannt sind. Die nachfolgende Auflistung gibt eine Übersicht über alle Transportdistanzen innerhalb der Wertschöpfungsketten. Sie ist unterteilt nach Materialgruppen und die Transporte für Verbünde orientieren sich ab der Verpackungsproduktion immer an dem massenmäßig bedeutendsten Material (Lebensmittelkarton = Papier und Pappe).

- Transport von der Rohmaterialproduktion zur Verarbeitung (der Transport des Erdöls zur Kunststoffherzeugung beispielsweise ist in den verwendeten Datensätzen zur Rohmaterialproduktion enthalten):
 - Kunststoff in Form von Pellets: 750 km
 - Metalle i.d.R. als Halbzeug: 500 km
 - Papier/ Pappe i.d.R. als Rolle (Frischfaser): 1.000 km
- Transport der Packmittel zur Befüllung/ Anwendung:
 - Kunststoff/ Metall und Papier: 400 km
 - Glas: 250 km
- Transport der fertigen, verpackten Produkte bis zum Handel:
 - Kunststoff/ Metall und Papier: 500 km
 - Glas: 350 km
- Transport der eingesammelten und sortierten Wertstofffraktion zur Verwertungsanlage:
 - Alle Materialien: 200 km

Gegebenenfalls begründet die Betrachtung spezifischer Produktsysteme eine Abweichung von diesen Defaultwerten, so beispielsweise die Betrachtung von importierten Lebensmitteln oder die Analyse von Wertstoffen aus einer außereuropäischen Produktion (Biokunststoffe etc.). In diesem Fall wird die Abweichung entsprechend dokumentiert.

Hinsichtlich der Entsorgungswege der unterschiedlichen Materialgruppen wird auf die werkstofflichen Verwertungsquoten des Umweltbundesamtes (UBA Texte 166/2020 Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2018¹)

¹ Schüler, Kurt: „Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2018“, unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_166-2020_aufkommen_und_verwertung_von_verpackungsabfaellen_in_deutschland_im_jahr_2018.pdf (abgerufen am 29.04.2021).

als Datengrundlage zurückgegriffen. Nicht zur werkstofflichen Verwertung erfasste Verpackungen werden im Rahmen der Bilanzierung einer thermischen Verwertung zugeführt. Von den publizierten Werten kann bei Vorlage spezifischer Quoten abgewichen werden.

Bilanzbewertung

Alle Ergebnisse beziehen sich auf eine sogenannte funktionelle Einheit. Eine mögliche funktionelle Einheit könnten beispielsweise 1.000 Verpackungseinheiten sein. Da jedoch unterschiedliche Füllgrößen im Markt zu finden sind, ist eine Bezugnahme auf die Menge an distribuiertem Produkt sachgerechter. Daher wird die funktionelle Einheit als Distribution von 1.000 kg oder 1.000 l Produkt definiert. Bei der Auswahl der Vergleichsverpackungen ist dennoch darauf zu achten, dass ähnliche Füllgrößen miteinander verglichen werden, damit der Füllgrößeneffekt die Vergleichsaussagen nicht über Gebühr verfälscht, denn großvolumige Verpackungen haben in der Regel eine deutlich bessere Ökobilanz als kleinvolumige Verpackungen. Dabei ist es wichtig, den Spagat zwischen einer intuitiven Erfassbarkeit der Ergebnisse und einem wissenschaftlich begründeten Transparenzanspruch zu schaffen.

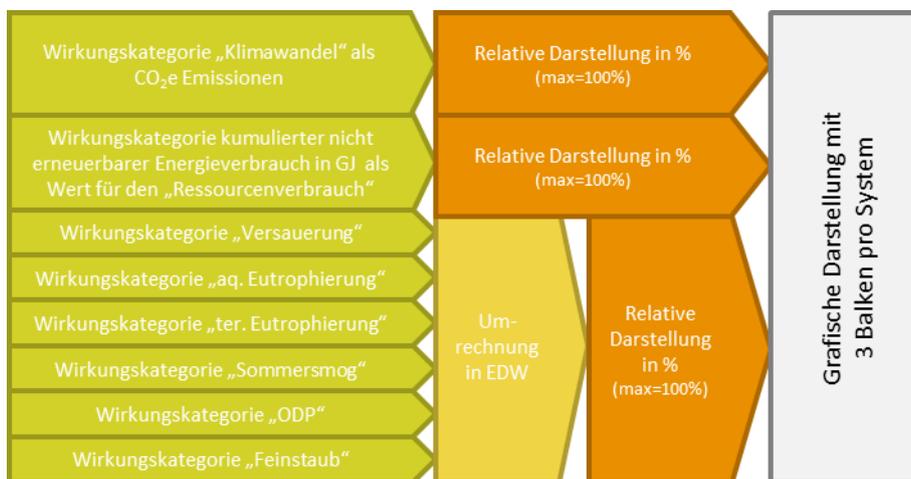
Die Bewertung der Bilanz soll sich an den großen Umweltproblemfeldern der aktuellen Diskussion orientieren:

- Klimawandel in Form von Treibhausgasemissionen, ausgedrückt als CO₂e
- Ressourcenverbrauch, ausgedrückt als kumulierter nicht erneuerbarer Energieaufwand (KEA fossil + nuklear). Wasser und Fläche gehören zwar auch in die Kategorie Ressourcen, jedoch sind hier die Datensätze aktuell noch so schlecht, dass sich kaum sinnvolle Aussagen generieren lassen.²
- Andere potenzielle Umweltfolgen durch Schadstofffreisetzungen in Luft und Wasser wie die bodennahe Ozonbildung (Sommersmog), die Versauerung durch säurehaltige Emissionen (Stichwort: Waldsterben), Nährstoffeinträge durch eutrophierende Emissionen in Land- und Wasserökosysteme (aquatische und terrestrische Eutrophierung) sowie Emissionen von Feinstaub und Emissionen, die im Verdacht stehen, die Ozonschicht zu schädigen (ODP). Diese werden als Summenwert ausgewiesen. Die Summenbildung erfolgt dadurch, dass die Ergebnisse der einzelnen Wirkungskategorien berechnet und mit der Summe aller deutschen Emissionen der jeweiligen Wirkungskategorie und der Einwohnerzahl Deutschlands ins Verhältnis gesetzt werden. So lassen sich die potenziellen Umweltauswirkungen in den sogenannten Einwohnerdurchschnittswerten (EDW) ausdrücken (Beispiel: Die potenziellen versauernden Emissionen von 1.000 kg Tomatensoße in einem Einwegglas

² Eine Anwendung der Bewertung von Wasser und Fläche führt aktuell dazu, dass die Produzenten, die ihre Daten transparent offenlegen und in kurzen Zyklen aktualisieren, deutlich schlechter bewertet werden als die Produzenten, die nur in großen zeitlichen Abständen ein Mindestmaß an Informationen bereitstellen.

verursachen so viel SO₂-Äquivalente wie statistisch gesehen ca. 60 Einwohnern zuzuweisen sind). Somit können die unterschiedlichen Wirkungskategorien in eine Einheit gebracht und summiert werden.

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in Form von drei Nettobalken nebeneinander als relative Darstellung (Max = 100 %). Die nachfolgende Darstellung zeigt schematisch die Verarbeitung der Bilanzresultate zur Ergebnisübersicht.



Reportingformat und Limitierungen

Die erarbeiteten Ergebnisse sind immer im Zusammenhang mit der zugrundeliegenden Fragestellung der Bilanz und den wesentlichen Eingangsparametern zu sehen. Insofern werden die Ergebnisse in einem Reportingformat übergeben, welches die folgenden Merkmale enthält:

- Dokumentation der Untersuchungsfrage
- Zusammenstellung der Verpackungsspezifikationen sowie ggf. notwendige Abweichungen von den Defaults
- Ausweisung der angewendeten Prozesse bei der Entsorgung, ggf. mit Angabe eines Splits zwischen den verschiedenen Optionen
- Ausweisung der Nettoergebnisse aller untersuchten Wirkungskategorien als Tabelle
- Grafische Ergebnisdarstellung im relativen Format (3 Balken)
- Kurzbeschreibung der wesentlichen Ergebnisse und, wenn möglich, Ableitung von Schlussfolgerungen zum ökobilanziellen Gesamtprofil der untersuchten Verpackungen

Damit sind die wesentlichen, für das Ergebnisverständnis wichtigen Punkte dokumentiert. Zu beachten ist, dass es sich dabei um Screening-Ökobilanzen handelt, in denen prototypische Produkte anhand allgemein verfügbarer Daten betrachtet

werden. Die sich daraus ergebenden Limitierungen sind bei der weiteren Verarbeitung der Ergebnisse zu bedenken und ggf. entsprechend zu transportieren.

Im Folgenden werden alle Produktgruppen einzeln und nacheinander aufgeführt und deren ausgewählte Verpackungsvarianten hinsichtlich ihrer ökobilanziellen Vorteilhaftigkeit diskutiert.

Pilotprojekt 1: Anwendungsbeispiel Verpackungen für Tomatensoße	7
Pilotprojekt 2: Anwendungsbeispiel Verpackungen für Gemüsekonserven	11
Gruppe 1: Anwendungsbeispiel Verpackungen für Nudeln	14
Gruppe 2: Anwendungsbeispiel Verpackungen für Schokolade.....	17
Gruppe 3: Anwendungsbeispiel Verpackungen für Senf oder Mayonnaise.....	20
Gruppe 4: Anwendungsbeispiel Verpackungen für Joghurt und Milchfrischeprodukte inkl. Dessert	24
Gruppe 5: Anwendungsbeispiel Verpackungen für Müsli	30
Gruppe 6: Anwendungsbeispiel Schalen für Obst und Gemüse.....	33
Gruppe 7: Anwendungsbeispiel Verpackungen für Obst und Gemüse	36

Pilotprojekt 1: Anwendungsbeispiel Verpackungen für Tomatensoße

Untersuchungsfrage:

Welche Umweltfolgen verursacht die Bereitstellung von 1.000 kg Tomaten (in Stücken oder passiert) im Handel in den Verpackungssystemen

- Lebensmittel-Verbund-Karton bestehend aus Papierfaser, Aluminium und Kunststoff ohne Verschluss (Öffnen durch Aufschneiden)
- Einwegglas (weiß) mit Weißblechdeckel und Papieretikett
- Konservendose aus Weißblech mit Papieretikett (Öffnen mit dem Dosenöffner)?

Bilanzparameter (Verpackungsspezifikationen, Distribution und End-of-Life-Quoten):

Parameter	Food-Karton	Einwegglas	Konservendose
Verpackungsgewicht in g pro Stück	20 g	220 g Deckel: 9,0 g Etikett: 1,4 g	60 g Etikett: 1,4 g
Füllvolumen in g pro Stück	390 g	400 g	400 g
Transportdistanz von der Abfüllung bis in den Handel	1.000 km bis zum Lager zzgl. 75 km vom Lager bis zum Supermarkt (Annahme: Produktion in Südeuropa)		
Verwertungszuführungsquote % ³	75 %	84,4 %	92,2 %

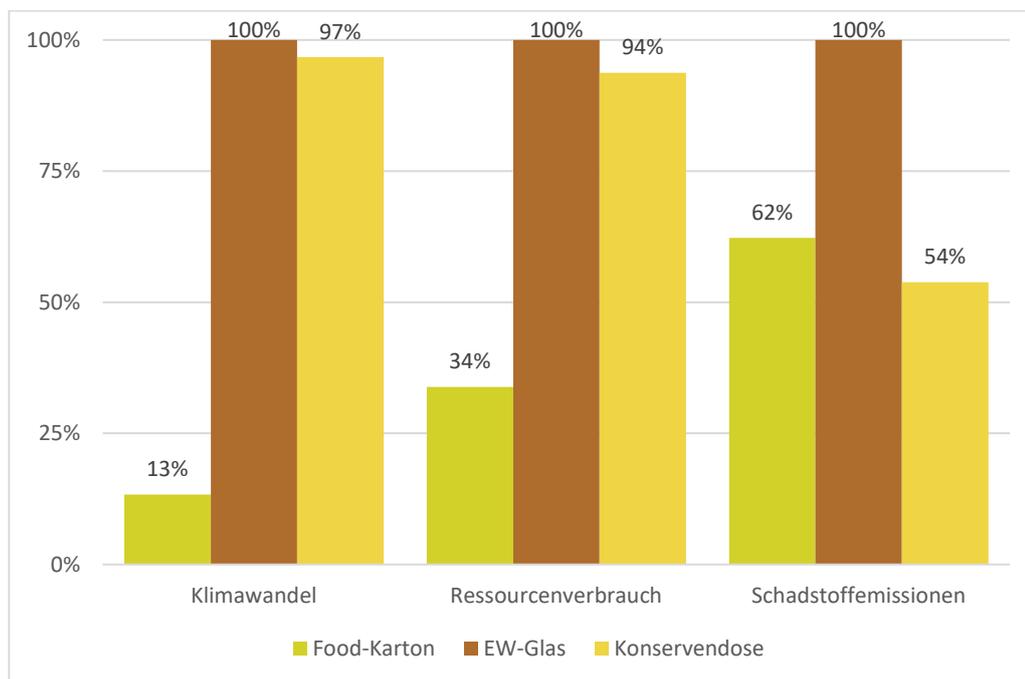
Numerische Ergebnisse:

Parameter	Food-Karton	Einwegglas	Konservendose
Klimawandel in kg CO ₂ e/FU	61,7	463	448
Ressourcenverbrauch als KEA nicht erneuerbar in GJ/FU	2,02	5,96	5,59
Versauerung in kg SO ₂ e/FU	0,416	1,94	1,38
Aquatische Eutrophierung in g PO ₄ ²⁻	29,3	25,6	9,43

³ Rest = thermische Verwertung

Parameter	Food-Karton	Einwegglas	Konservendose
e/FU			
Terrestrische Eutrophierung in g PO ₄ ²⁻ e/FU	44,8	215	135
Sommersmog in kg O ₃ e/FU	5,51	27,7	17,8
Stratosphärischer Ozonabbau (ODP) in kg R11e/FU	0,209	0,335	0,180
Feinstaub in kg PM _{2,5} e/FU	0,396	1,99	1,24

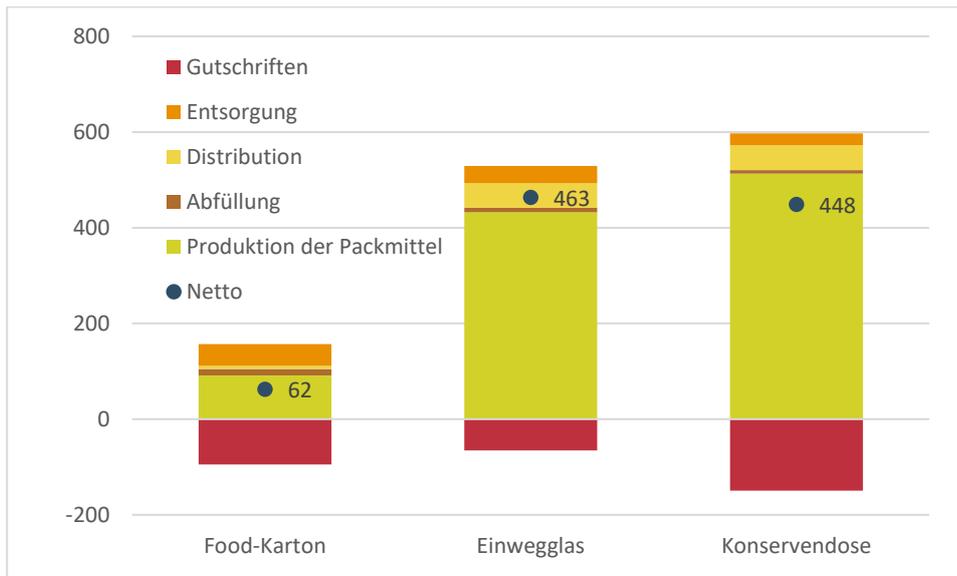
Grafische Darstellung:



Ergebnisbeschreibung und Schlussfolgerungen:

Die Ergebnisse der Bilanzierung zeigen in zwei der drei ausgewerteten Kategorien einen Vorteil für den Lebensmittel-Verbund-Karton. Dies liegt vor allem an dem deutlich geringeren Verpackungsgewicht sowie dem hohen Anteil an nachwachsenden Rohstoffen in der Kartonverpackung.

Der große Treiber der Ergebnisse sind die Umweltlasten der Packmittelproduktion. Hier zeigen die deutlich materialintensiveren und schwereren Verpackungen Nachteile gegenüber dem Food-Karton. Die nachfolgende Grafik zeigt dies exemplarisch für die Umweltwirkungskategorie Klimawandel:



Einwegglas und Konservendose zeigen hinsichtlich der Parameter Klimawandel und Ressourcenverbrauch ähnliche Ergebnisse. Die Unterschiede bei der Betrachtung der Schadstoffemissionen sind auf das deutlich höhere Gewicht der Glasverpackungen und die damit einhergehenden höheren Umweltlasten des Produkttransportes zurückzuführen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten:

- Von den hier untersuchten Einwegverpackungen generiert der Lebensmittel-Verbund-Karton im Vergleich die geringsten Umweltlasten.
- Einweggläser und Konservendosen haben ähnliche ökobilanzielle Ergebnismuster, jedoch führt ein langer Produkttransport zu Nachteilen bei der schwereren Glasverpackung in der Bewertung der Schadstoffemissionen.

Abschließend kann somit aus Sicht der ökobilanziellen Bewertung der Lebensmittel-Verbund-Karton als Alternative zu Glas-Einwegverpackungen und Konservendosen empfohlen werden.

Im Rahmen der Diskussion der Ergebnisse kam die Frage auf, ob ein zusätzlicher Drehverschluss auf dem Lebensmittelkarton (äquivalent zu den Verschlüssen auf den Getränkekartons) die Ergebnisfindung signifikant verändern würde. Der Vergleich mit aktuellen Ökobilanzen für Saftkartons zeigt, dass die Produktion von 1.000 Verschlüssen ca. 13 kg CO₂e verursacht (dies sind nur die Produktionslasten, hier wären zusätzlich noch die Lasten der Entsorgung und die Gutschriften für die Verwertungsprodukte zu

addieren, so dass in Summe von einem Nettowert von weniger als 13 kg CO_{2e} ausgegangen werden kann). Im Rahmen einer überschlägigen Bilanzierung würden im schlechtesten anzunehmenden Fall weitere 33 kg CO_{2e} zu den dokumentierten Ergebnissen hinzugezählt werden müssen; somit würde sich der Gesamtwert des Lebensmittelkartons auf 95 kg CO_{2e} pro FU aufsummieren, so dass sich die klimarelevanten Emissionen des Lebensmittelkartons mit Verschluss auf 20,5 % der Emissionsmenge des Einwegglases (statt 13 %) belaufen. Daher ist dieser Parameter nicht ergebnisrelevant, wenngleich ein Verzicht auf den Verschluss aus ökobilanzieller Sicht die zu favorisierende Alternative ist.

Pilotprojekt 2: Anwendungsbeispiel Verpackungen für Gemüsekonserven

Untersuchungsfrage:

Welche Umweltfolgen verursacht die Bereitstellung von 1.000 kg konserviertem Gemüse (bspw. Rotkohl oder Sauerkraut) im Handel in den Verpackungssystemen

- Einwegglas (weiß) mit Weißblechdeckel und Papieretikett
- Konservendose aus Weißblech mit Papieretikett (öffnen mit dem Dosenöffner)
- Schlauchbeutel PP/OPP (alubeschichtet)?

Bilanzparameter (Verpackungsspezifikationen, Distribution und End-of-Life-Quoten):

Parameter	Einwegglas	Konservendose	Schlauchbeutel (PP/OPP)
Verpackungsgewicht in g pro Stück	220 g Deckel: 9,0 g Etikett: 1,4 g	60 g Etikett: 1,4 g	7,2 g 5% Alubeschichtung
Füllvolumen in g pro Stück	400 g	400 g	520 g
Transportdistanz von der Abfüllung bis in den Handel	250 km bis zum Lager zzgl. 75 km vom Lager bis zum Supermarkt (Annahme: Produktion in Deutschland und mehrheitlich regionaler Vertrieb)		
Verwertungszuführungsquote % ⁴	84,4 %	92,2 %	0 %

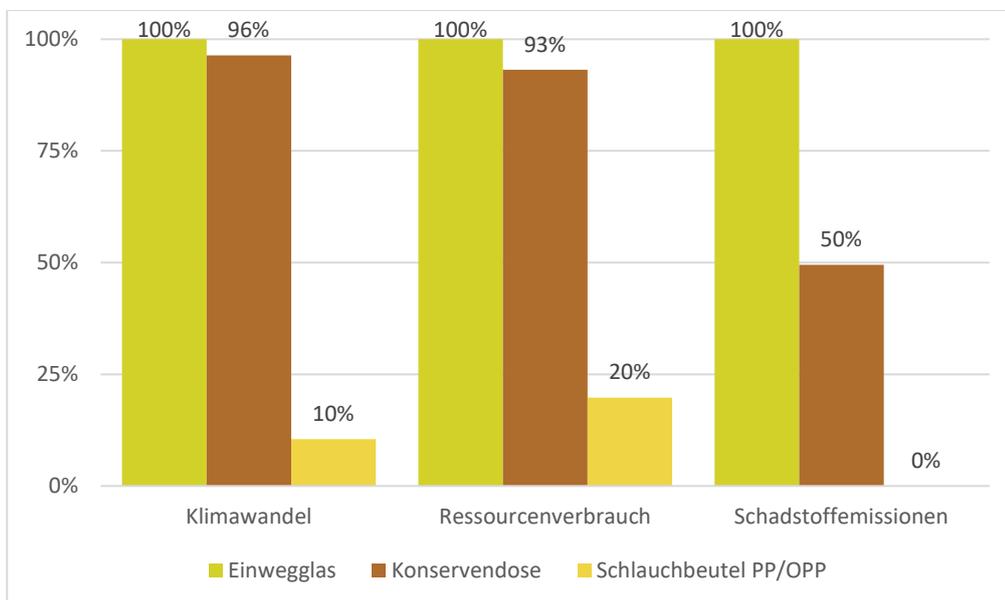
Numerische Ergebnisse:

Parameter	Einwegglas	Konservendose	Schlauchbeutel (PP/OPP)
Klimawandel in kg CO ₂ e/FU	427	412	44,7
Ressourcenverbrauch als KEA nicht erneuerbar in GJ/FU	5,48	5,11	1,09

⁴ Rest = thermische Verwertung

Parameter	Einwegglas	Konservendose	Schlauchbeutel (PP/OPP)
Versauerung in kg SO ₂ e/FU	1,78	1,21	0,082
Aquatische Eutrophierung in g PO ₄ ²⁻ e/FU	25,6	9,43	12,9
Terrestrische Eutrophierung in g PO ₄ ²⁻ e/FU	190	107	7,60
Sommersmog in kg O ₃ e/FU	27,6	17,7	0,332
Stratosphärischer Ozonabbau (ODP) in kg R11e/FU	0,32	0,16	0,000
Feinstaub in kg PM _{2,5} e/FU	1,81	1,04	0,080

Grafische Darstellung:



Ergebnisbeschreibung und Schlussfolgerungen:

Die Ergebnisse der Bilanzierung zeigen in allen drei ausgewerteten Kategorien einen Vorteil für den Schlauchbeutel. Dies liegt vor allem an dem deutlich geringeren Verpackungsgewicht sowie dem größeren Füllvolumen im Vergleich zu den Verpackungsvarianten Einwegglas und Konservendose.

Einwegglas und Konservendose zeigen hinsichtlich der Parameter Klimawandel und Ressourcenverbrauch ähnliche Ergebnisse. Die Unterschiede bei der Betrachtung der Schadstoffemissionen sind auf das deutlich höhere Gewicht der Glasverpackungen und die damit einhergehenden höheren Umweltlasten des Produkttransportes zurückzuführen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten:

- Von den hier untersuchten Einwegverpackungen generiert der Schlauchbeutel im Vergleich die geringsten Umweltlasten.
- Einweggläser und Konservendosen haben hinsichtlich der Umweltprobleme Klimawandel und Ressourcenverbrauch ähnliche ökobilanzielle Ergebnismuster, jedoch führt ein langer Produkttransport zu Nachteilen für die schwerere Glasverpackung bei der Bewertung der Schadstoffemissionen.

Abschließend kann somit aus Sicht der ökobilanziellen Bewertung der Schlauchbeutel als Alternative zu Glas-Einwegverpackungen und Konservendosen empfohlen werden.

Gruppe 1: Anwendungsbeispiel Verpackungen für Nudeln

Untersuchungsfrage:

Welche Umweltfolgen verursacht die Bereitstellung von 1.000 kg Nudeln im Handel in den Verpackungssystemen

- unbeschichteter Karton (Faltschachtel 100 % Frischfaser) mit PE-Sichtfenster
- PP-Kunststofffolie (fossil)
- Papiertüte (100 % Frischfaser)?

Bilanzparameter (Verpackungsspezifikationen, Distribution und End-of-Life-Quoten):

Parameter	Faltschachtel mit PE-Sichtfenster	PP-Folie	Papiertüte
Verpackungsgewicht in g pro Stück	30,5 g Sichtfenster: 0,2 g	4,1 g	12 g
Füllvolumen in g pro Stück	500 g	500 g	500 g
Verwertungszuführungsquote % ⁵	87,6 %	49,7 %	87,6 %

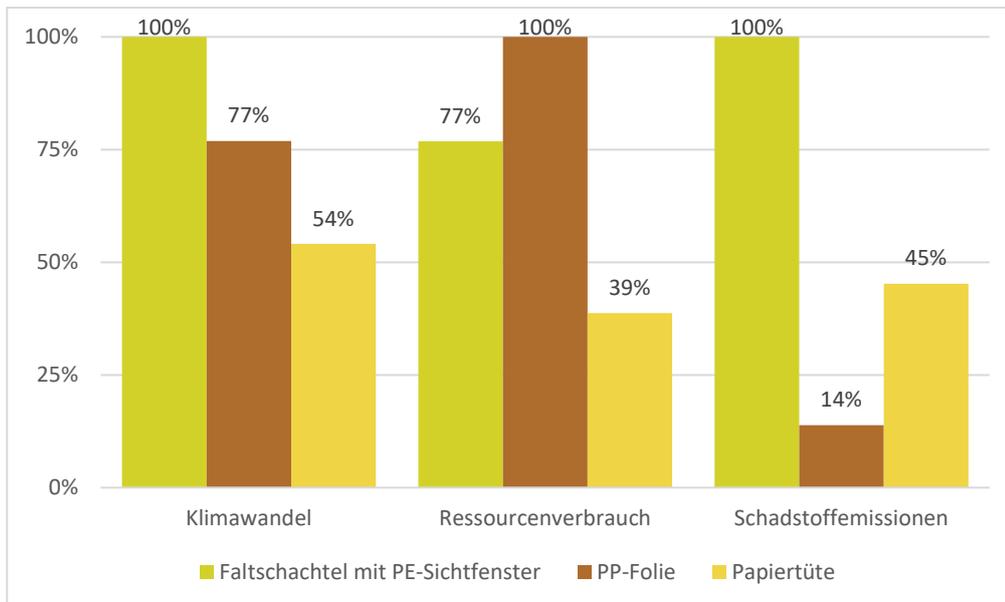
Numerische Ergebnisse:

Parameter	Faltschachtel mit PE-Sichtfenster	PP-Folie	Papiertüte
Klimawandel in kg CO ₂ e/FU	21,6	16,6	11,7
Ressourcenverbrauch als KEA nicht erneuerbar in GJ/FU	0,330	0,429	0,166
Versauerung in kg SO ₂ e/FU	0,107	0,026	0,049
Aquatische Eutrophierung in g PO ₄ ²⁻ e/FU	10,6	5,18	4,73
Terrestrische Eutrophierung in g PO ₄ ²⁻ e/FU	18,1	2,72	7,72

⁵ Rest = thermische Verwertung

Parameter	Faltschachtel mit PE-Sichtfenster	PP-Folie	Papiertüte
Sommersmog in kg O ₃ e/FU	2,06	0,060	0,888
Stratosphärischer Ozonabbau (ODP) in kg R11e/FU	0,000	0,000	0,000
Feinstaub in kg PM2,5e/FU	0,123	0,026	0,055

Grafische Darstellung:



Ergebnisbeschreibung und Schlussfolgerungen:

Die Ergebnisse der Bilanzierung zeigen in den beiden ausgewerteten Kategorien Klimawandel und Ressourcenverbrauch einen Vorteil für die Papiertüte. Dies liegt vor allem an dem geringeren Verpackungsgewicht bzw. Materialeinsatz im Vergleich zu den Faltschachteln und an der Tatsache, dass die Frischfaserherstellung weniger energieintensiv ist im Vergleich zur Primärkunststoffherstellung.

Die Faltschachtel mit PE-Sichtfenster zeigt aufgrund der im Vergleich deutlich schwersten Verpackung in der Kategorie Klimawandel höhere Beiträge; beim Ressourcenverbrauch ist die PP-Folie aufgrund ihrer fossilen Primärkunststoffherstellung die unterlegende Verpackungsvariante. Die höheren Beiträge der Faltschachtel in der Kategorie Schadstoffemissionen sind auf das Gewicht

der Kartonverpackung und die damit einhergehenden höheren Umweltlasten des Produkttransportes zurückzuführen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten:

- Von den hier untersuchten Einwegverpackungen generiert die Papiertüte im Vergleich die geringsten Umweltlasten.
- Die PP-Folie ist der Faltschachtel in den beiden Kategorien Klimawandel und Schadstoffemissionen aufgrund ihres geringen Verpackungsgewichts teilweise deutlich überlegen; einzig beim Ressourcenverbrauch kann die schwerere Faltschachtel gegenüber der auf fossilen Rohstoffen basierenden PP-Folie punkten.

Abschließend kann somit aus Sicht der ökobilanziellen Bewertung die Papiertüte als Alternative zu PP-Folie und Faltschachtel empfohlen werden.

Gruppe 2: Anwendungsbeispiel Verpackungen für Schokolade

Untersuchungsfrage:

Welche Umweltfolgen verursacht die Bereitstellung von 1.000 kg Schokolade im Handel in den Verpackungssystemen

- PE-Kunststoffolie (unmetallisiert)
- Alufolie in unbeschichteter Faltschachtel (100 % Primärfaser)
- Alufolie in beschichtetem Papierwickler (100 % Primärfaser)
- PE-Kunststoffolie in beschichtetem Papierwickler (100 % Primärfaser)?

Bilanzparameter (Verpackungsspezifikationen, Distribution und End-of-Life-Quoten):

Parameter	PE-Folie (unmetallisiert)	Alufolie in Faltschachtel	Alufolie im Papierwickler	PE-Folie im Papierwickler
Verpackungsgewicht in g pro Stück	2,7 g	1,8 g Karton: 9,4 g	1,8 g Wickler: 3,9 g	1,6 g Wickler: 3,9 g
Füllvolumen in g pro Stück	100 g	100 g	100 g	100 g
Verwertungszuführungsquote % ⁶	49,7 %	87,2 % 87,6 %	87,2 % 87,6 %	49,7 % 87,6 %

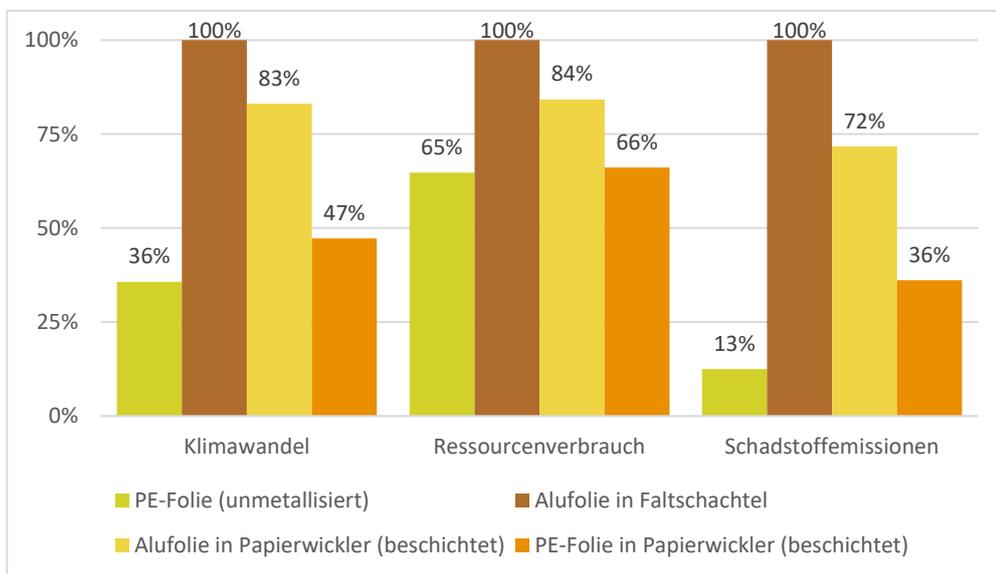
Numerische Ergebnisse:

Parameter	PE-Folie (unmetallisiert)	Alufolie in Faltschachtel	Alufolie im Papierwickler	PE-Folie im Papierwickler
Klimawandel in kg CO ₂ e/FU	58,9	165	137	77,9
Ressourcenverbrauch als KEA nicht erneuerbar in GJ/FU	1,47	2,27	1,91	1,50
Versauerung in kg SO ₂ e/FU	0,086	0,747	0,579	0,178
Aquatische Eutrophierung in g PO ₄ ²⁻	17,1	20,4	13,2	22,7

⁶ Rest = thermische Verwertung

Parameter	PE-Folie (unmetallisiert)	Alufolie in Faltschachtel	Alufolie im Papierwickler	PE-Folie im Papierwickler
e/FU				
Terrestrische Eutrophierung in g PO ₄ ²⁻ e/FU	9,31	62,9	43,2	22,4
Sommersmog in kg O ₃ e/FU	0,304	7,82	5,40	2,08
Stratosphärischer Ozonabbau (ODP) in kg R11e/FU	0,000	0,000	0,000	0,000
Feinstaub in kg PM _{2,5} e/FU	0,088	0,678	0,510	0,185

Grafische Darstellung:



Ergebnisbeschreibung und Schlussfolgerungen:

Die Ergebnisse der Bilanzierung zeigen in allen ausgewerteten Kategorien einen Vorteil für die unmetallisierte PE-Folie. Dies liegt vor allem an der leichten, packmittelreduzierten Verpackung und der PE-Folie als Monomaterial.

Alle weiteren Verpackungsvarianten zeigen über alle Kategorien hinweg ein gleichbleibendes Ergebnismuster; die PE-Folie in Papierwickler zeigt in allen Kategorien niedrigere Beiträge, vor der Alufolie in Papierwickler und der Alufolie in den Faltschachteln. Durch die an dieser Stelle vergleichbaren Gewichte der PE- und Alufolie sind die unterschiedlichen Umweltwirkungen allein auf die Materialunterschiede zurückzuführen; die PE-Folie ist in der Produktion energie- und ressourcenschonender als die Alufolie, und der beschichtete Papierwickler ist aufgrund seines deutlich leichteren Verpackungsgewichts der Faltschachtel überlegen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten:

- Von den hier untersuchten Einwegverpackungen generiert die unmetallisierte PE-Folie im Vergleich die geringsten Umweltlasten.
- Die PE-Folie in Papierwickler, Alufolie in Papierwickler und Alufolie in Faltschachtel haben in dieser Reihenfolge in allen untersuchten Umweltkategorien ein der PE-Folie unterlegenes ökobilanzielles Ergebnismuster.

Abschließend kann somit aus Sicht der ökobilanziellen Bewertung die unmetallisierte PE-Folie als Alternative zu der PE-Folie im Papierwickler, der Alufolie im Papierwickler und der Alufolie in der Faltschachtel empfohlen werden.

Gruppe 3: Anwendungsbeispiel Verpackungen für Senf oder Mayonnaise

Untersuchungsfrage:

Welche Umweltfolgen verursacht die Bereitstellung von 1.000 Litern Senf oder Mayonnaise im Handel in den Verpackungssystemen

- Einwegglas mit Weißblechdeckel und Etikett
- Einwegglas mit Aluminiumdeckel und Etikett (Weiternutzung als Trinkglas, Annahme n= 100)
- PP-Kunststoffbecher mit PP-Deckel und Etikett
- PET-Kunststoffflasche mit HDPE-Deckel und Etikett
- Aluminiumtube mit HDPE-Deckel?

Bilanzparameter (Verpackungsspezifikationen, Distribution und End-of-Life-Quoten):

Parameter	EW-Glas mit WB-Deckel	EW-Glas mit Aludeckel (Trinkglas)	PP-Becher mit PP-Deckel	PET-Flasche mit HDPE-Deckel	Alutube mit HDPE-Deckel
Verpackungsgewicht in g pro Stück	203 g Deckel: 8,7 g Etikett: 1,4 g	214 g Deckel: 4,5 g Etikett: 1,4 g	9,3 g Deckel: 3,6 g Etikett: 1,4 g	20 g Deckel: 6 g Etikett: 1,4 g	22,4 g Deckel: 1,9 g
Füllvolumen in g/ml pro Stück	335 ml	250 ml	200 ml	225 ml	200 ml
Verwertungs- zuführungsquote % ⁷	84,4 % 92,2 %	84,4 % 87,2 %	49,7 %	0 % ⁸ 49,7 %	87,2 % 49,7 %

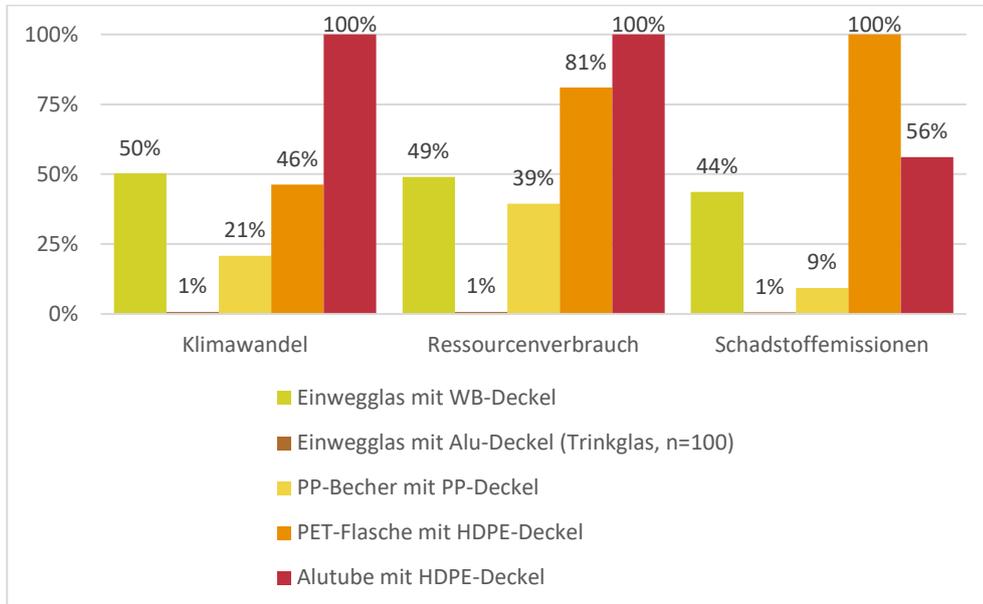
⁷ Rest = thermische Verwertung

⁸ PET-Verpackungen in der Wertstoffsammlung erfahren Status quo keine werkstoffliche Verwertung.

Numerische Ergebnisse:

Parameter	EW-Glas mit WB-Deckel	EW-Glas mit Aludeckel (Trinkglas)	PP-Becher mit PP-Deckel	PET-Flasche mit HDPE-Deckel	Alutube mit HDPE-Deckel
Klimawandel in kg CO ₂ e/FU	460	6,80	190	424	915
Ressourcenverbrauch als KEA nicht erneuerbar in GJ/FU	5,46	0,084	4,39	9,02	11,1
Versauerung in kg SO ₂ e/FU	1,58	0,025	0,333	0,877	4,14
Aquatische Eutrophierung in g PO ₄ ²⁻ e/FU	15,1	0,198	52,5	121	175
Terrestrische Eutrophierung in g PO ₄ ²⁻ e/FU	145	2,16	34,1	79,6	298
Sommersmog in kg O ₃ e/FU	18,4	0,273	1,14	1,80	0,444
Stratosphärischer Ozonabbau (ODP) in kg R11e/FU	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000
Feinstaub in kg PM _{2,5} e/FU	1,50	0,023	0,330	0,820	3,73

Grafische Darstellung:



Ergebnisbeschreibung und Schlussfolgerungen:

Die Ergebnisse der Bilanzierung zeigen in allen ausgewerteten Kategorien einen deutlichen Vorteil für das EW-Glas mit Aludeckel (Trinkglas). Dies liegt vor allem an der angenommenen hohen Wiederverwendung des EW-Glases als Trinkglas. Auch wenn das Trinkglas lediglich zehn Mal wiederverwendet wird, bleibt es dennoch die Verpackung mit den geringsten Beiträgen innerhalb der untersuchten Umweltwirkungskategorien.

Der PP-Becher mit PP-Deckel zeigt aufgrund seines leichten Verpackungsgewichts vor allem in den Kategorien Klimawandel und Schadstoffemissionen gegenüber dem Einwegglas, der PET-Flasche und der Alutube ökobilanzielle Vorteile. Das Einwegglas verursacht im Ressourcenverbrauch und den Schadstoffemissionen weniger Beiträge als die PET-Flasche und die Alutube. Bei der PET-Flasche wirkt sich insbesondere deren fehlende werkstoffliche Verwertung in der Entsorgung auf die Höhe der Umweltwirkungen aus. Bei der Alutube hingegen sind besonders die energieintensive Herstellung der Alutube und des Primärkunststoffdeckels sowie das höhere Gewicht im Vergleich zu den Kunststoffverpackungen ausschlaggebend; sie zeigt daher in den Kategorien Klimawandel und Ressourcenverbrauch die höchsten und bei den Schadstoffemissionen die zweithöchsten Umweltwirkungen im Vergleich zu den anderen Verpackungsvarianten.

Zusammenfassend lässt sich festhalten:

- Von den hier untersuchten Verpackungsvarianten generiert das Einwegglas mit Aludeckel, das als Trinkglas eine echte Nachnutzung findet, im Vergleich die geringsten Umweltlasten.
- Der PP-Becher weist aufgrund seines geringen Verpackungsgewichts ebenfalls geringe Umweltwirkungen in allen untersuchten Kategorien auf; das Einwegglas mit WB-Deckel und die PET-Flasche haben aufgrund ihres schweren Verpackungsgewicht und der notwendigen Neuherstellung des WB-Deckels für jedes Glas bzw. der 100 % energetischen Verwertung der PET-Flasche ein deutliches Mehr an Emissionen. Die Alutube zeigt in der Bilanzierung aufgrund ihres hohen Verpackungsgewichts und der energie- und ressourcenintensiven Herstellung in den Kategorien Klimawandel und Schadstoffemissionen die höchsten Beiträge.

Abschließend kann somit aus Sicht der ökobilanziellen Bewertung das Einwegglas, das als Trinkglas wiederverwendet wird, als Alternative zum PP-Becher und dem Einwegglas mit WB-Deckel empfohlen werden. Je häufiger das Trinkglas wiederverwendet wird, desto deutlicher wird dessen ökobilanzieller Vorsprung im Vergleich zu den anderen Verpackungsvarianten.

Gruppe 4: Anwendungsbeispiel Verpackungen für Joghurt und Milchfrischeprodukte inkl. Dessert

Untersuchungsfrage:

Welche Umweltfolgen verursacht die Bereitstellung von 1.000 kg Joghurt und Milchfrischeprodukten inkl. Dessert im Handel in den Verpackungssystemen

- PS-Kunststoffbecher mit Aluplatine
- 3K-Becher (PP-Kunststoffbecher, Aluplatine und Pappbanderole (100% Primärfaser))
- Einwegglas mit Weißblechdeckel und Etikett
- Feinkost-Dessert, 2 x 100g im Einwegglas mit Aluplatine und Kartonverpackung (100% Primärfaser)
- MW-Glas mit Weißblechdeckel und Etikett (regional: einfache Strecke Abfüllung bis Handel 100 km, n=50)⁹
- MW-Glas mit Weißblechdeckel und Etikett (überregional: einfache Strecke Abfüllung bis Handel 500 km, n=50)⁹?

Bilanzparameter (Verpackungsspezifikationen, Distribution und End-of-Life-Quoten):

Parameter	PS-Becher mit Aluplatine	3K-Becher	EW-Glas mit WB-Deckel	Feinkost-Linie (2x EW-Glas mit Aluplatine und Karton)	MW-Glas mit WB-Deckel (regional)	MW-Glas mit WB-Deckel (überregional)
Verpackungsgewicht in g pro Stück	12,7 g Deckel: 1,0 g	7,4 g Deckel: 1,0 g Banderole: 6,5 g	211 g Deckel: 9,0 g Etikett: 1,4 g	à 82,4 g Deckel: 0,7 g Karton: 7,6 g	218 g Deckel: 9,0 g Etikett: 1,4 g	218 g Deckel: 9,0 g Etikett: 1,4 g
Füllvolumen in g pro Stück	500 g	500 g	470 g	2x100 g	500 g	500 g
Verwertungs-zuführungsquote % ¹⁰	49,7 % 87,2 %	49,7 % 87,2 % 43,8 % ¹¹	84,4 % 92,2 %	84,4 % 87,2 % 87,6 %	84,4 % 92,2 %	84,4 % 92,2 %

⁹ Das Spülen der MW-Gläser ist in den LCA-Ergebnissen berücksichtigt.

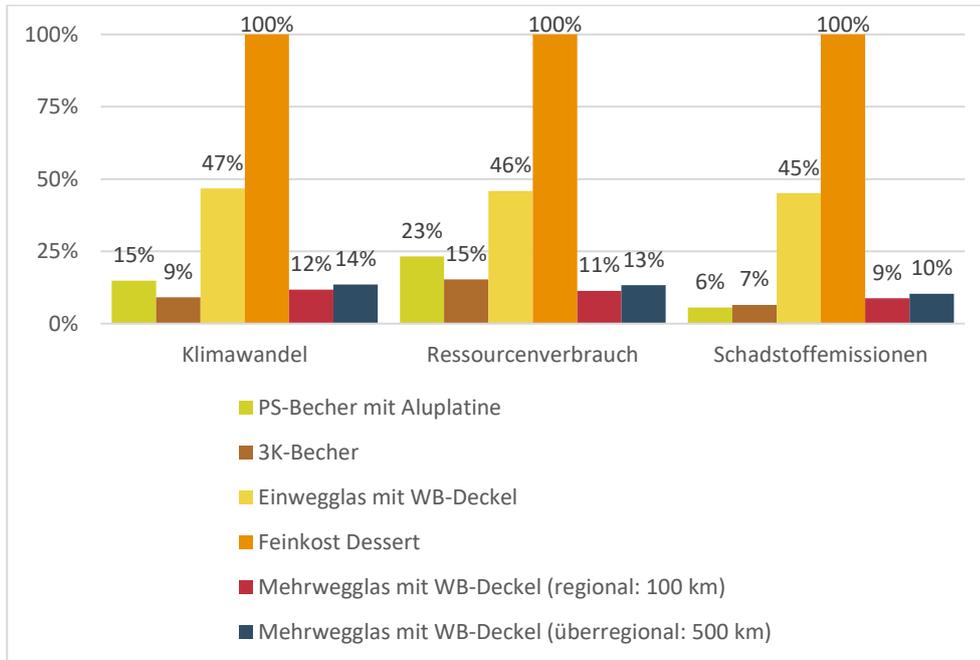
¹⁰ Rest = thermische Verwertung

Numerische Ergebnisse:

Parameter	PS-Becher mit Aluplatine	3K-Becher	EW-Glas mit WB-Deckel	Feinkost-Linie	MW-Glas mit WB-Deckel (regional)	MW-Glas mit WB-Deckel (national)
Klimawandel in kg CO ₂ e/FU	102	62,2	320	684	80,4	92,7
Ressourcenverbrauch als KEA nicht erneuerbar in GJ/FU	1,93	1,27	3,79	8,27	0,938	1,10
Versauerung in kg SO ₂ e/FU	0,212	0,174	1,10	2,35	0,203	0,227
Aquatische Eutrophierung in g PO ₄ ²⁻ e/FU	1,09	14,9	10,4	38,0	8,72	8,72
Terrestrische Eutrophierung in g PO ₄ ²⁻ e/FU	17,1	15,9	101	219	19,7	22,9
Sommersmog in kg O ₃ e/FU	0,610	1,29	12,8	27,4	2,51	2,90
Stratosphärischer Ozonabbau (ODP) in kg R11e/FU	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Feinstaub in kg PM _{2,5} e/FU	0,186	0,164	1,05	2,23	0,197	0,222

¹¹ Die Recyclingquote der Pappbanderole wurde an dieser Stelle halbiert in der Annahme, dass nicht alle 3K-Becher getrennt und damit sortenrein entsorgt werden. Da sich beim Verarbeitungsprozess die Pappbanderolen meist vom Kunststoffbecher lösen, wird die werkstoffliche Verwertung des Kunststoffbechers nicht eingeschränkt.

Grafische Darstellung:

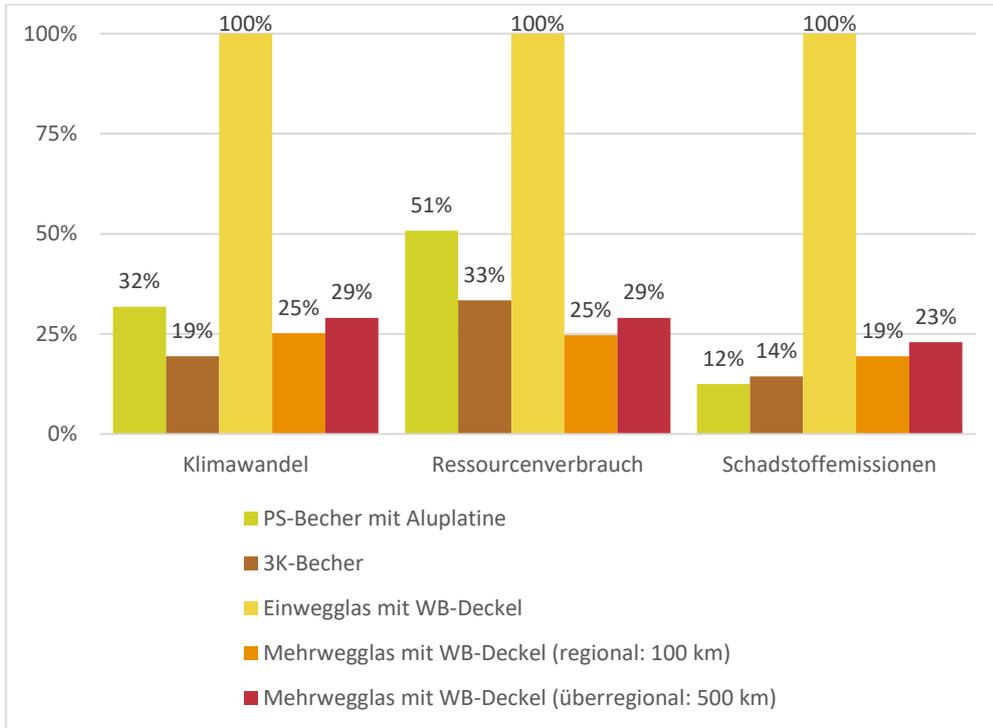


Ergebnisbeschreibung und Schlussfolgerungen:

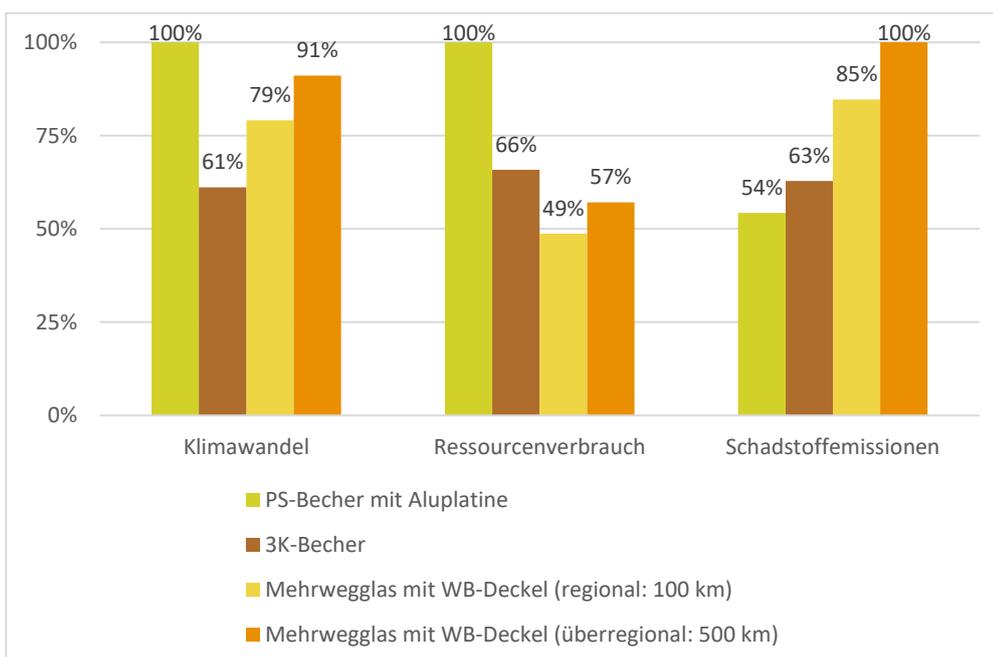
Die Ergebnisse der Bilanzierung zeigen in allen ausgewerteten Kategorien einen deutlichen Nachteil für das Feinkost-Dessert. Bis auf das Einwegglas sind die Ergebnisse der anderen Verpackungsvarianten im Verhältnis in allen Kategorien vergleichbar niedrig. Die Gründe für das schlechte Abschneiden des Feinkost-Desserts sind die materialintensive Verpackung inkl. der Verwendung von Einweggläsern, eine geringe Packeffizienz und mehr als halb so wenig Produktinhalt pro Verpackungseinheit im Vergleich zu den anderen Produkten.

Daher wird im Folgenden auch ein Blick auf die Umweltwirkungen der anderen Verpackungsvarianten allein geworfen:





Ein Blick auf die „Feinkost-Dessert-bereinigte“ Grafik verdeutlicht, dass nun das Einwegglas in allen Kategorien die höchsten Beiträge aufweist; Grund dafür ist das schwere Verpackungsgewicht der Einweggläser und die notwendige Neuproduktion der WB-Deckel bei jeder Produktverpackung. Was die anderen Verpackungsvarianten betrifft, wird Folgendes deutlich:



In der Kategorie Klimawandel zeigt der 3K-Becher aufgrund seines geringen Kunststoff-Verpackungsgewichts im Vergleich zum PS-Becher die geringsten Beiträge. Die ökobilanziellen Ergebnisse des schwereren PS-Bechers und des Mehrwegglases (überregional) sind vergleichbar; hier halten sich die Umweltwirkungen durch die Herstellung des fossilen Primärkunststoffs mit der Glas- und WB-Deckelherstellung (trotz einer 50-maligen Wiederverwendung des Glases) etwa die Waage. Das Mehrwegglas (überregional) zeigt in allen Kategorien höhere Beiträge als das regionale Mehrwegglas. Beim Ressourcenverbrauch sind die Ergebnisse des 3K-Bechers und der Mehrweggläser vergleichbar (trotz einer halbierten Recyclingquote der Pappbanderole des 3K-Bechers in der Annahme, dass nicht alle Joghurtbecher-Verpackungskomponenten getrennt voneinander entsorgt werden). Der PS-Becher zeigt aufgrund seines höheren Primärkunststoffbedarfs höhere Beiträge als der 3K-Becher. In der Kategorie Schadstoffemissionen spielen vor allem die hohen Transportemissionen der im Vergleich schwereren Verpackungsvariante Mehrwegglas eine große Rolle; hier zeigen die Einwegbecher Vorteile.

Zusammenfassend lässt sich festhalten:

- Von den hier untersuchten Verpackungsvarianten generiert das Feinkost-Dessert die mit großem Abstand höchsten Umweltlasten, gefolgt von dem Einwegglas.
- Der 3K-Becher zeigt in allen Kategorien im Vergleich zu den anderen Verpackungsvarianten gute ökobilanzielle Ergebnisse. In der Bilanzierung ist hinterlegt, dass nur 50% der Becher getrennt von der Pappbanderole entsorgt werden. Eine 100%ige Trennung des Bechers von der Banderole kann die Quote der werkstofflichen Verwertung positiv beeinflussen und führt zu höheren Gutschriften für die Verwertungsprodukte. Der Vorteil im Vergleich zum PS-Becher ist der geringere Primärkunststoff-Materialaufwand durch den Einsatz von Papier.
- Das regional vertriebene Mehrwegglas zeigt in der Kategorie Klimawandel Vorteile gegenüber dem PS-Becher und dem überregional vertriebenen MW-Glas; beim Ressourcenverbrauch weist es die geringsten Beiträge auf und bei den Schadstoffemissionen Beiträge, die über dem Niveau der beiden Einwegbecher liegen, da hier beim Mehrwegglas höhere Umweltlasten durch den Produkttransport entstehen.
- Das überregional vertriebene Mehrwegglas ist im Ergebnisprofil ähnlich dem regional vertriebenen Mehrwegglas, zeigt aber aufgrund der höheren Distributionsentfernungen höhere Beiträge als dieses.

Abschließend können somit aus Sicht der ökobilanziellen Bewertung der 3K-Becher, der PS-Becher und das regionale Mehrwegglas als Alternative zum Einwegglas empfohlen werden. Die materialintensive und ineffiziente Verpackung des Feinkost-Desserts ist

aus ökobilanzieller Sicht zu vermeiden. Ein MW-Deckel würde die Bilanz des MW-Glases sichtbar verbessern.

Gruppe 5: Anwendungsbeispiel Verpackungen für Müsli

Untersuchungsfrage:

Welche Umweltfolgen verursacht die Bereitstellung von 1.000 kg Müsli im Handel in den Verpackungssystemen

- PE-Kunststofffolienbeutel in einer unbeschichteten Faltschachtel (100 % Primärfaser)
- PP-Kunststofffolienbeutel
- Papiertüte (100 % Frischfaser)?

Bilanzparameter (Verpackungsspezifikationen, Distribution und End-of-Life-Quoten):

Parameter	PE-Folienbeutel in Faltschachtel	PP-Folienbeutel	Papiertüte
Verpackungsgewicht in g pro Stück	5,6 g Karton: 42,5 g	6 g	21 g
Füllvolumen in g pro Stück	500 g	500 g	500 g
Verwertungszuführungsquote % ¹²	49,7 % 87,6 %	49,7 %	87,6 %

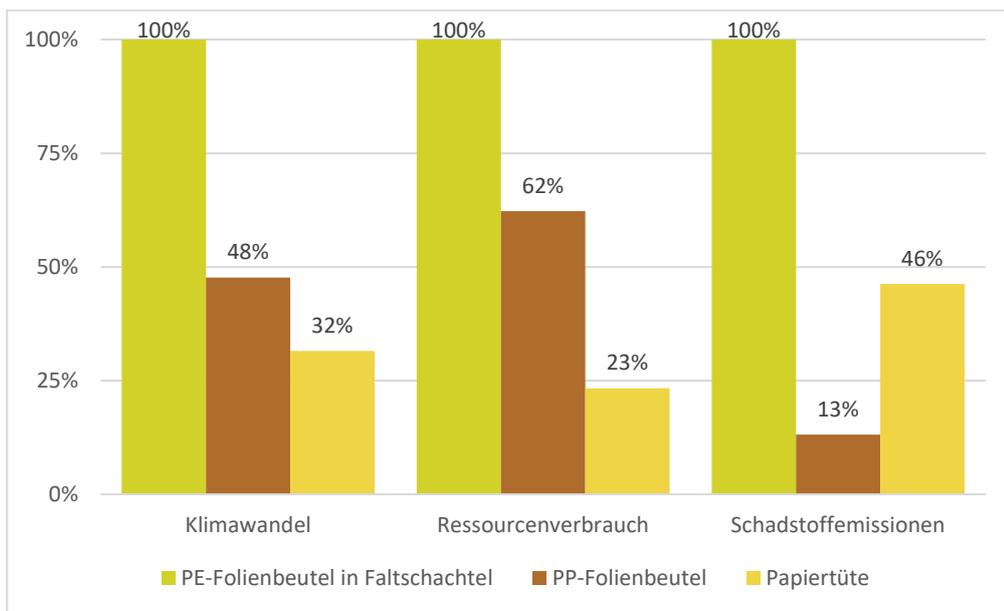
Numerische Ergebnisse:

Parameter	PE-Folienbeutel in Faltschachtel	PP-Folienbeutel	Papiertüte
Klimawandel in kg CO ₂ e/FU	51,1	24,4	16,1
Ressourcenverbrauch als KEA nicht erneuerbar in GJ/FU	1,01	0,628	0,235
Versauerung in kg SO ₂ e/FU	0,178	0,038	0,076
Aquatische Eutrophierung in g PO ₄ ²⁻ e/FU	21,1	7,59	7,46
Terrestrische Eutrophierung in g PO ₄ ²⁻ e/FU	28,5	3,98	12,7

¹² Rest = thermische Verwertung

Parameter	PE-Folienbeutel in Faltschachtel	PP-Folienbeutel	Papiertüte
Sommersmog in kg O ₃ e/FU	2,94	0,087	1,46
Stratosphärischer Ozonabbau (ODP) in kg R11e/FU	0,000	0,000	0,000
Feinstaub in kg PM _{2,5} e/FU	0,201	0,039	0,087

Grafische Darstellung:



Ergebnisbeschreibung und Schlussfolgerungen:

Die Ergebnisse der Bilanzierung zeigen in den beiden betrachteten Kategorien Klimawandel und Ressourcenverbrauch einen Vorteil für die Papiertüte. Dies liegt vor allem an der hohen Verwertungszuführungsquote der Papierverpackung und der nicht auf fossilen Primärrohstoffen basierenden Produktion. Der PP-Folienbeutel weist durch seine sehr leichtgewichtige und materialeffiziente Verpackung die geringsten Umweltwirkungen bei den Schadstoffemissionen auf.

Die höchsten Umweltwirkungen in allen betrachteten Kategorien weist der PE-Folienbeutel in der Faltschachtel auf; Gründe dafür sind die materialintensive Verpackung, die aus zwei Komponenten besteht, dem entsprechend großen Verpackungsgewicht und den dadurch höheren Umweltlasten im Produkttransport. Zusätzlich werden für die Herstellung des Primärkunststoff-Folienbeutels fossile Ressourcen benötigt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten:

- Von den hier untersuchten Einwegverpackungen generieren die Papiertüte und der PP-Folienbeutel im Vergleich die geringsten Umweltlasten.
- Der materialineffiziente PE-Folienbeutel in der Faltschachtel hat aufgrund seines Gewichts und der notwendigen fossilen Rohstoffen für den Kunststoffbeutel eine deutlich schlechtere Umweltbilanz im Vergleich zu den anderen Verpackungsvarianten.

Abschließend können somit aus Sicht der ökobilanziellen Bewertung die Papiertüte und der PP-Folienbeutel als Alternative zum PE-Folienbeutel in der Faltschachtel empfohlen werden.

Gruppe 6: Anwendungsbeispiel Schalen für Obst und Gemüse

Untersuchungsfrage:

Welche Umweltfolgen verursacht die Bereitstellung von 1.000 kg Obst oder Gemüse im Handel in den Verpackungssystemen

- Fasergusschale (100 % Primärmaterial)
- Beschichtete Pappschale (100 % Primärfaser)
- PP-Kunststoffschale
- PET-Kunststoffschale
- rPET-Kunststoffschale?

Bilanzparameter (Verpackungsspezifikationen, Distribution und End-of-Life-Quoten):

Parameter	Fasergusschale	Beschichtete Pappschale	PP-Schale	PET-Schale	rPET-Schale
Verpackungsgewicht in g pro Stück	23 g	16 g	8 g	11 g	11 g
Füllvolumen in g pro Stück	500 g	500 g	500 g	500 g	500 g
Verwertungszuführungsquote % ¹³	80 %	87,6 %	49,7 %	0 % ¹⁴	0 % ¹⁴

Numerische Ergebnisse:

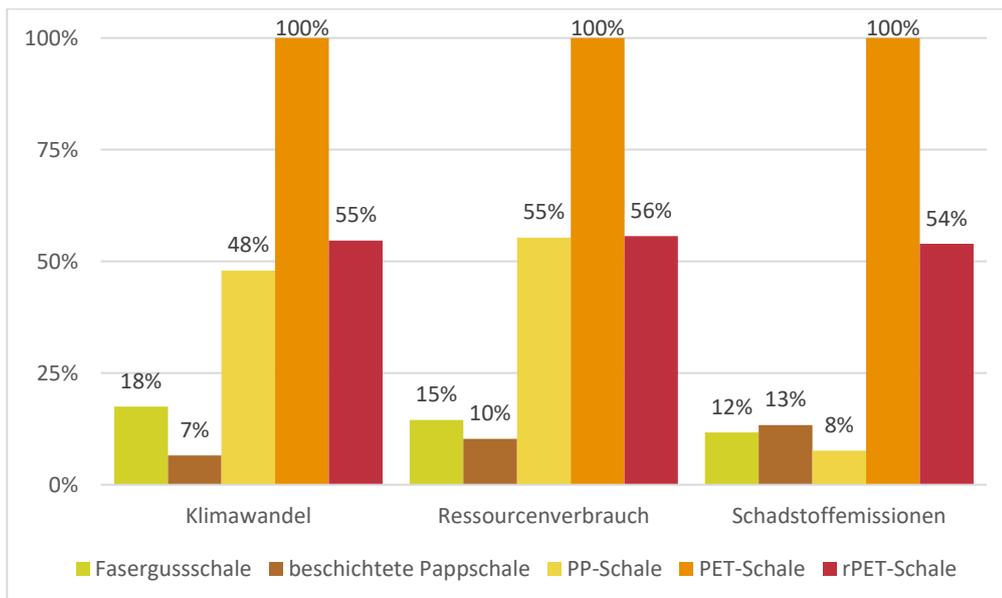
Parameter	Fasergusschale	Beschichtete Pappschale	PP-Schale	PET-Schale	rPET-Schale
Klimawandel in kg CO ₂ e/FU	14,4	5,39	39,4	82,2	44,9
Ressourcenverbrauch als KEA nicht erneuerbar in GJ/FU	0,246	0,174	0,937	1,69	0,943
Versauerung in kg	0,008	0,078	0,066	0,178	0,100

¹³ Rest = thermische Verwertung

¹⁴ PET-Verpackungen in der Wertstoffsammlung erfahren Status quo keine werkstoffliche Verwertung.

Parameter	Fasergusschale	Beschichtete Pappschale	PP-Schale	PET-Schale	rPET-Schale
SO ₂ e/FU					
Aquatische Eutrophierung in g PO ₄ ²⁻ e/FU	6,57	12,7	10,3	21,8	11,0
Terrestrische Eutrophierung in g PO ₄ ²⁻ e/FU	8,12	12,1	6,61	15,5	9,40
Sommersmog in kg O ₃ e/FU	0,514	1,48	0,120	0,198	1,27
Stratosphärischer Ozonabbau (ODP) in kg R11e/FU	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Feinstaub in kg PM _{2,5} e/FU	0,009	0,089	0,065	0,163	0,100

Grafische Darstellung:



Ergebnisbeschreibung und Schlussfolgerungen:

Die Ergebnisse der Bilanzierung zeigen in den beiden ausgewerteten Kategorien Klimawandel und Ressourcenverbrauch einen ökobilanziellen Vorteil für die beschichtete Pappschale und die Fasergusschale. Dies liegt vor allem an der hohen werkstofflichen Verwertung der beiden Verpackungsmaterialien.

Die PET-Schale weist kategorieübergreifend die höchsten Umweltwirkungen auf. Die rPET-Schale hingegen zeigt geringere Umweltwirkungen im Vergleich zu der PET-Schale aus Primärmaterial, verursacht aber – besonders im Vergleich zur beschichteten Pappschale – nach wie vor hohe Beiträge in allen betrachteten Kategorien. Bei den Schadstoffemissionen zeigen die PP-, Faserguss- und beschichtete Pappschale einen deutlichen Vorteil im Vergleich zu den PET-Schalen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten:

- Von den hier untersuchten Einwegprodukten zeigen die beschichtete Pappschale und die Fasergusschale die geringsten Umweltlasten und die PET-Schale die höchsten.
- Die rPET-Schale weist aufgrund ihres 100%igen Rezyklatmaterials insgesamt geringere Umweltwirkungen auf als die PET-Schale aus Primärkunststoff.
- Die PP-Schale zeigt insbesondere Vorteile in der Kategorie Schadstoffemissionen.

Abschließend kann somit aus Sicht der ökobilanziellen Bewertung die beschichtete Pappschale als Alternative zu der Fasergusschale und der PP-Schale empfohlen werden. Bei sehr nässenden Füllgütern bietet sich die Fasergusschale als eine gute Alternative zu der beschichteten Pappschale an. Bei der rPET-Schale sollte bedacht werden, dass das bessere Abschneiden im Vergleich zur PET-Schale auf den 100%igen Rezyklateinsatz zurückzuführen ist; dieses Rezyklat wird dem PET-Materialkreislauf der Getränkeflaschen entnommen. Grundsätzlich sollte das Ziel immer sein, Material aus dem kreislaufeigenen Stoffstrom zu beziehen; mit Blick auf das erwünschte hochwertige stoffliche Recycling, das eins zu eins Produkte ersetzen kann, sind die Ergebnisse der rPET-Schale an dieser Stelle mit Vorsicht zu betrachten.

Gruppe 7: Anwendungsbeispiel Verpackungen für Obst und Gemüse

Untersuchungsfrage:

Welche Umweltfolgen verursacht die Bereitstellung von 1.000 l Obst und Gemüse im Handel in den Verpackungssystemen

- PE-Kunststoff-Hemdchenbeutel
- Papiertüte (100 % Primärfaser)
- Mehrweg-Baumwollnetz (GOTS zertifiziert, Umlaufzahl n=100)¹⁵
- Mehrweg-PET-Netz (n=50)¹²
- Mehrweg-rPET-Netz (n=50)¹²?

Bilanzparameter (Verpackungsspezifikationen, Distribution und End-of-Life-Quoten):

Parameter	PE-Hemdchenbeutel	Papiertüte	MW-Baumwoll-Netz	MW-PET-Netz	MW-rPET-Netz
Verpackungsgewicht in g pro Stück	2 g	17 g	42 g	8 g	8 g
Füllvolumen in ml pro Stück	1000 ml	1000 ml	1000 ml	1000 ml	1000 ml
Verwertungszuführungsquote % ¹⁶	49,7 %	87,6 %	0 %	0 %	0 %

Numerische Ergebnisse:

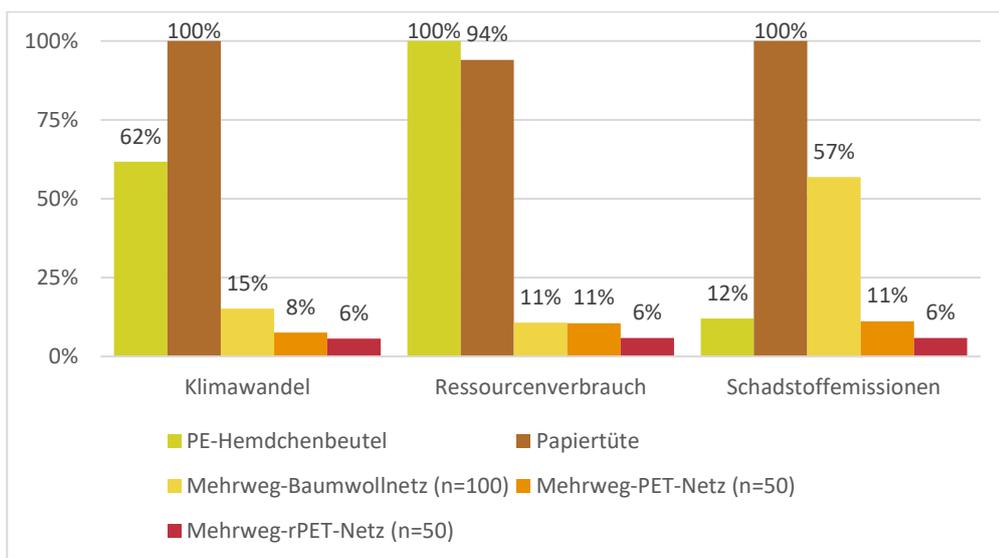
Parameter	PE-Hemdchenbeutel	Papiertüte	MW-Baumwoll-Netz	MW-PET-Netz	MW-rPET-Netz
Klimawandel in kg CO ₂ e/FU	4,37	7,08	1,08	0,539	0,397
Ressourcenverbrauch als KEA nicht erneuerbar in GJ/FU	0,109	0,102	0,012	0,011	0,006

¹⁵ Das Reinigen bzw. Waschen der MW-Beutelvarianten werden in den LCA-Ergebnissen nicht berücksichtigt.

¹⁶ Rest = thermische Verwertung

Parameter	PE-Hemdchen-beutel	Papiertüte	MW-Baumwoll-Netz	MW-PET-Netz	MW-rPET-Netz
Versauerung in kg SO ₂ e/FU	0,006	0,032	0,011	0,001	0,001
Aquatische Eutrophierung in g PO ₄ ²⁻ e/FU	1,27	3,12	0,003	0,156	0,079
Terrestrische Eutrophierung in g PO ₄ ²⁻ e/FU	0,690	5,24	0,002	0,101	0,066
Sommersmog in kg O ₃ e/FU	0,023	0,602	0,000	0,001	0,001
Stratosphärischer Ozonabbau (ODP) in kg R11e/FU	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Feinstaub in kg PM _{2,5} e/FU	0,007	0,036	0,008	0,001	0,001

Grafische Darstellung:



Ergebnisbeschreibung und Schlussfolgerungen:

Die Ergebnisse der Bilanzierung zeigen in allen ausgewerteten Kategorien einen Vorteil für das Mehrweg-rPET-Netz. Dies liegt vor allem an der hohen Wiederverwendung, dem geringen Verpackungsgewicht sowie dem Einsatz von 100 % Rezyklatmaterial.

Auch die beiden anderen Mehrwegvarianten PET- und Baumwollnetz weisen im Vergleich sehr geringe Umweltwirkungen in den Kategorien Klimawandel und Ressourcenverbrauch auf; bei den Schadstoffemissionen zeigt das Mehrweg-Baumwollnetz Nachteile sowohl gegenüber den beiden PET-Netzen, als auch gegenüber dem PE-Hemdchenbeutel, welches das mit Abstand geringste Verpackungsgewicht hat. Trotz einer doppelt so hohen Umlaufzahl des Baumwollnetzes sind die PET-Netze insgesamt aufgrund des geringeren Materialeinsatzes im Vorteil. Die Papiertüte zeigt in allen Kategorien und der PE-Hemdchenbeutel in den Kategorien Klimawandel und Ressourcenverbrauch hohe Beiträge. Grund dafür sind das relativ schwere Verpackungsgewicht und die beim Produktionsprozess der Papiertüte entstehenden hohen Beiträge zur aquatischen Eutrophierung bzw. die für den Primärkunststoffbeutel benötigten fossilen Ressourcen bei dem PE-Hemdchenbeutel.

Zusammenfassend lässt sich festhalten:

- Von den hier untersuchten Verpackungsvarianten generiert das Mehrweg-rPET-Netz im Vergleich die geringsten Umweltlasten.
- Ein ähnlich gutes ökobilanzielles Profil in allen betrachteten Kategorien zeigen die beiden anderen Mehrweg-Netz-Varianten PET und Baumwolle; Grund dafür ist deren hohe Wiederverwendungsquote. Wird die Nutzungshäufigkeit des Baumwollnetzes halbiert, sodass sie mit $n=50$ die gleiche Umlaufzahl wie die PET-Netze hat, verdoppeln sich dessen ökobilanziellen Ergebnisse.
- Aufgrund des geringen Verpackungsgewichts zeigt der PE-Hemdchenbeutel bei den Schadstoffemissionen geringe Beiträge; allerdings ist er in den anderen beiden Kategorien deutlich unterlegen.
- Die Einwegprodukte aus Papier und Kunststoff zeigen mit großem Abstand höhere Umweltwirkungen in den Wirkungskategorien Klimawandel und Ressourcenverbrauch. Der PE-Hemdchenbeutel weist aufgrund seines sehr niedrigen Verpackungsgewichts im direkten Vergleich zur Papiertüte insgesamt geringere Umweltwirkungen auf als die Papiertüte.

Abschließend können somit aus Sicht der ökobilanziellen Bewertung alle Mehrweg-Netz-Varianten, vor allem die aus rPET, als Alternative zu PE-Hemdchenbeutel und Papiertüte empfohlen werden. Beim Baumwollnetz ist eine deutlich höhere Umlaufzahl für die ökologische Vorteilhaftigkeit im Vergleich zu den PET-Netzen notwendig; diese ist aufgrund der höheren Haltbarkeit und Strapazierfähigkeit des Baumwollnetzes allerdings auch realistisch.