

Grundlagen und Methodik zur Bewertung von nachhaltigem Geschirr

Die Methodik zur Bewertung von nachhaltigem Geschirr als Grundlage für das Entscheidungstool (DSS) wurde entwickelt im Rahmen der Projekte "Entwicklung und Erprobung eines indikatorgestützten Online-Entscheidungssystems zur Auswahl von nachhaltigem Geschirr für Großveranstaltungen (zoCat - zukunftsorientiertes Catering)" sowie „Mehrweg-Roadmap – Entwicklung von Maßnahmen und eines Strategieplans zur Etablierung einer einheitlichen Mehrweglösung für Bremer Veranstaltungen, Betriebskantinen und Wochenmärkte etc.“

Verbundkoordinator:

Prof. Dr. Martin Wittmaier

Institut für Energie und Kreislaufwirtschaft an der Hochschule Bremen GmbH

Neustadtswall 30

28199 Bremen

wittmaier-office@hs-bremen.de

Verbundpartner:

Institut für Energie und Kreislaufwirtschaft an der Hochschule Bremen GmbH (IEKrW)

Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) – Dr. Antje Baum

Concept Bureau UG – Jonas Gudegast

<https://www.iekrw.de/zoCat/>

Inhalt

1	EINLEITUNG	6
2	ZIELSETZUNG UND VORGEHENSWEISE.....	7
3	FUNKTIONELLE EINHEIT.....	9
4	SYSTEMGRENZEN	9
5	ABSCHNEIDEREGELN	11
6	QUALITÄT DER DATEN.....	12
7	GELTUNGSBEREICH	13
7.1	Technologischer Geltungsbereich	13
7.2	Geographischer Geltungsbereich	13
7.3	Zeitlicher Geltungsbereich und zeitliche Systemgrenze	14
8	EXTERNE PROZESSE	14
9	ENTSORGUNGSWEGE.....	14
10	ALLOKATIONSREGELN UND GUTSCHRIFTEN	14
11	UMLAUFAHLEN.....	16
12	ERGÄNZENDE ERLÄUTERUNGEN ZU EINZELNEN AKTIVITÄTEN, DIE IN DEN ÖKOBILANZIELLEN UNTERSUCHUNGEN BERÜCKSICHTIGUNG FANDEN	17
13	SACHBILANZEN	18
14	WIRKUNGSABSCHÄTZUNG UND AUSWERTUNG	19
15	AUSGEWÄHLTE ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZIELLEN UNTERSUCHUNGEN	19
15.1	Auswahl von Wirkungskategorien für die Beurteilung der Vorteilhaftigkeit von Geschirrprodukten.....	19
15.2	Vorteilhaftigkeit der Reinigung von Geschirr vor Ort.....	22
15.3	Vergleich verschiedener Einweg- und Mehrweggeschirrarten mit gleichem Nutzen	23
15.4	Vergleich mit den Ergebnissen Dritter.....	29
15.5	Normierung.....	31
16	DATENQUELLEN UND LITERATUR	33
17	ANHANG.....	35
17.1	IPPC, AR5, Global Warming Potential Values	35
17.1.1	Verwendete Datensätze.....	39

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Phasen einer ökobilanziellen Untersuchung. Quelle: DIN EN 14040:2006-10, Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen	7
Abbildung 2: Vergleich der Klimawirkung der Nutzung eines Mehrwegbechers, ermittelt nach der Methode der EU (links EF v3.1) und des IPCC (rechts IPCC 2021)	8
Abbildung 3: Schematische Darstellung eines Bilanzrahmens, aus dem entnommen werden kann, was bei der Ermittlung der Umweltwirkung von Mehrwegverpackungen und des Mehrweggeschirrs berücksichtigt wurde.	10
Abbildung 4: Schematische Darstellung eines Bilanzrahmens, aus dem entnommen werden kann, was bei der Ermittlung der Umweltwirkung von Einwegverpackungen und des Einweggeschirrs berücksichtigt wurde.	11
Abbildung 5: Umweltwirkungen der Nutzung eines 300-ml-Mehrwegbechers und eines Einwegbechers aus Polypropylen.....	21
Abbildung 6: Vergleich unterschiedlicher Wirkungskategorien von einem Mehrwegbecher mit Deckel (ohne Berücksichtigung der Anlagen und Infrastruktur) und einer leichten Kunststoffüte, beides zum Verkauf von Bonbons.....	22
Abbildung 7: Klimawirksame Emissionen (ohne Berücksichtigung von Anlagen, Infrastruktur und Transporten) beim Reinigen von Mehrweggeschirr.....	23
Abbildung 8: Vergleich des Treibhauspotentials (GWP) und des abiotischen Ressourcenverbrauchs (ADP) (ohne Berücksichtigung von Anlagen und Infrastruktur) bei der Ausgabe einer Portion Kaltgetränk in einem Einweg- und einem Mehrwegbecher.	24
Abbildung 9: Vergleich des Treibhauspotentials (GWP) und des abiotischen Ressourcenverbrauchs (ADP) von Einweg- und Mehrwegverpackungen pro Portion (z. B. Bonbons) beim Spülen vor Ort mit einer Industriespülmaschine in Abhängigkeit zur Umlaufzahl.	25
Abbildung 10: Vergleich des Treibhauspotentials (GWP) und des abiotischen Ressourcenverbrauchs (ADP) von Einweg- und Mehrweggeschirr pro Portion Pommes frites in Abhängigkeit zur Umlaufzahl.	26
Abbildung 11: Vergleich des Treibhauspotentials (GWP) und des abiotischen Ressourcenverbrauchs (ADP) von Einweg- und Mehrwegbowls (pro Portion bzw. Nutzung) in Abhängigkeit der Umläufe der Mehrweg-Bowl.....	28
Abbildung 12: Vergleich des Treibhauspotentials (GWP) und des abiotischen Ressourcenverbrauchs (ADP) von Einweg- und Mehrweg-Tellern pro Portion.....	29
Abbildung 13: Vergleich der Ergebnisse eigener Berechnungen mit den Ergebnissen von Dehoust et al.....	31

Abbildung 14: Vergleich der klimawirksamen Emissionen, die mit dem Gebrauch von 100.000 unbeschichteten Spitztüten aus Kraftpapier, 100.000 Snackschalen aus Polypropylen (für gleichgroße Portionen wie in der Spitztüte) mit den klimaschädlichen Emissionen, die durch den jährlichen Stromverbrauch (Strommix Deutschland) eines durchschnittlichen 2-Personenhaushalts entstehen. Quelle zum Stromverbrauch [Statistisches Bundesamt, 2023]..... 32

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Schema zur Beurteilung der Datenqualität und der Geltungsbereiche in Anlehnung an Weidema und Wesnæs [Weidema und Wesnæs, 1996].....	12
Tabelle 2: Umlaufzahlen bzw. Rücklaufquoten für Mehrweggeschirr, wie sie von verschiedenen Quellen genannt werden	17
Tabelle 3: Im Rahmen der ökobilanziellen Untersuchungen verwendete Datensätze (Material).....	39
Tabelle 4: Im Rahmen der ökobilanziellen Untersuchungen verwendete Datensätze (Sonstiges).....	41

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ADP	Abiotic Depletion Potential; Abiotisches Erschöpfungspotenzial, Ressourcenverbrauch
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DSS	Decision Support System
GWP	Global Warming Potential
EF	Environmental Footprint
EU	Europäische Union
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	International Organisation for Standardization
LCIA	Life cycle impact assessment
m ³	Kubikmeter
MHKW	Müllheizkraftwerk
PC	Polycarbonat
PE	Polyethylen
PET	Polyethylenterephthalat
PLA	Poly lactide
PP	Polypropylen
PS	Polystyrol
PPK	Papier, Pappe, Karton
SAN	Styrol-Acrylnitril Copolymer
Sb-Äq.	Antimon-Äquivalent; Einheit zur Bilanzierung der Knappheit abiotischer Ressourcen als Wirkungskategorie
THGE	Treibhausgasemissionen
WDP	Water Deprivation Potential; Wassernutzung; Wasserentzugspotenzial
WPC	wood-plastic-composite
zoCat	zukunftsorientiertes Catering

1 Einleitung

Ziel des Entscheidungstools (Decision Support System; DSS) ist es, Veranstalter:innen eine einfache und praktikable Orientierungshilfe für die Auswahl von nachhaltigem Geschirr (Einweg- und Mehrweggeschirr, essbares Geschirr, sonstiges Geschirrzubehör)¹ für Ihre (Groß-)Veranstaltungen zu bieten. Dafür wird auf Basis der eingegebenen Informationen und Anforderungen sowie der hinterlegten Daten die ökologisch beste Geschirrauswahl getroffen. Die resultierenden Emissionen werden für verschiedene Wirkungskategorien (Klimawandel, Ressourcenverbrauch, Wassernutzung) quantifiziert und ausgewiesen. U.a. werden Einsparpotenziale, Abfallmengenreduzierung sowie Transportszenarien aufgezeigt.

Dabei erhebt das DSS keinen Anspruch auf Vollständigkeit! Dies ist u.a. darin begründet, dass zwar viele verschiedene Geschirrtypen und -arten zur Berechnung in die Datenbank eingepflegt wurden, aufgrund von Entwicklungen und stetig neuen Produkten ggf. aber nicht alle am Markt zur Verfügung stehenden Geschirroptionen in der Datenbank vorhanden sind.

Zu beachten ist weiterhin, dass das DSS sich lediglich auf die Nutzung von Geschirr bezieht. Andere umweltwirksame Bereiche einer Veranstaltung wie u.a. Verkehre von Besucher:innen oder Lebensmittelbereitstellung werden nicht betrachtet.

Um die Umweltwirkungen von Verpackungen und Geschirr beurteilen zu können, wurden in Anlehnung an die DIN EN ISO 14040 und 14044 orientierende ökobilanzielle Untersuchungen durchgeführt. Auf ein externes Critical Review wurde verzichtet.

Die Berechnung der Emissionen für einzelne Geschirrtypen erfolgt auf Basis von Emissionsfaktoren aus internationalen Datenbanken sowie Stoff- und Energiedaten aus (wissenschaftlichen) Veröffentlichungen und eigenen empirischen Datenerhebungen und -berechnungen.

Die wesentliche Vorgehensweise bei ökobilanziellen Untersuchungen, wie sie auch in der vorliegenden Studie angewendet wurde, ist in Abbildung 1 dargestellt.

¹ Im Folgenden werden Einwegverpackungen und/oder Einweggeschirr auch als Einwegprodukte bezeichnet. Gleiches gilt für Mehrwegverpackungen und/oder Mehrweggeschirr, für die der Begriff Mehrwegprodukte z. T. synonym verwendet wird.

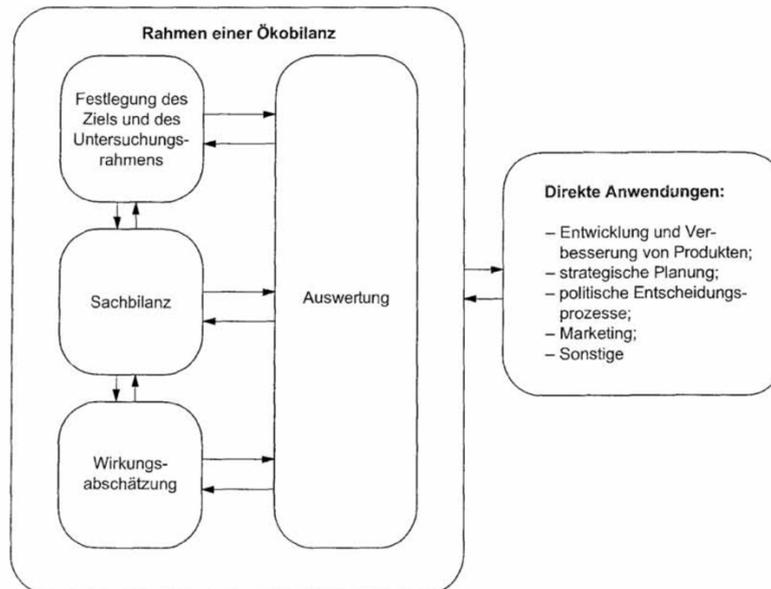


Abbildung 1: Phasen einer ökobilanziellen Untersuchung.

Quelle: DIN EN 14040:2006-10, Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen

Anmerkung:

In ökobilanziellen Untersuchungen werden die Umweltwirkungen für ein spezielles Produktsystem/Produkt ermittelt, in dem im Rahmen der Erstellung der Sachbilanz alle Stoff- und Energieflüsse innerhalb des Bilanzrahmens quantifiziert werden. Im Rahmen der Wirkungsabschätzung und Auswertung werden auf Basis der Ergebnisse der Sachbilanz, für die im Rahmen der Untersuchung definierten Randbedingungen, die Umweltwirkungen berechnet. Daraus ergibt sich, dass das Ergebnis nur für das untersuchte Produkt Gültigkeit hat. Rückschlüsse auf andere Produkte oder Anwendungen, auch wenn sie ähnlich gelagert sind, sind nur bedingt möglich. Im Zweifel müssen für ähnliche Produkte oder Anwendungen ebenfalls ökobilanzielle Untersuchungen unter Berücksichtigung angepasster Randbedingungen durchgeführt werden.

Im Folgenden werden beispielhaft Ergebnisse ökobilanzieller Untersuchungen zur Berechnung der Umweltwirkungen durch die Nutzung von Geschirr dargestellt.

2 Zielsetzung und Vorgehensweise

Ziel der Untersuchungen war, die Umwelteigenschaften verschiedener Einweg- und Mehrwegprodukte zu ermitteln und Einweg- und Mehrwegprodukte, die den gleichen Nutzen haben und für den gleichen Zweck eingesetzt werden, in Bezug auf Ihre Umweltwirkungen zu vergleichen. Über diese Vergleiche sollte ermittelt werden, welche Verpackung bei

gleichem Nutzen und bei Einsatz für den gleichen Zweck aus ökobilanzieller Sicht am vorteilhaftesten ist.

Als Datengrundlage für die Berechnungen wurden die Emissionsdaten überwiegend aus der Umweltdatenbank „ecoinvent“² (Version 3.10) und, sofern nötig, aus weiteren Datenbanken und Quellen bezogen. Die Spezifikation der verwendeten Datensätze ist der Tabelle 3 im Anhang zu entnehmen (siehe Abschnitt 17.1.1).

Die Wirkungskategorien wurden nach der Methode der EU, der „*Environmental Footprint (EF v3.1)*“ bewertet. Aus Gründen der Datenkonsistenz wurde die Methode EF v3.1 auch für die Wirkungskategorie Klimawandel angewendet. Diese hätte grundsätzlich auch nach der Methode „*IPCC 2021*“ bilanziert werden können, die Ergebnisse wären weitgehend identisch gewesen (siehe Abbildung 2). Da in der Methode IPCC 2021 nur Daten in Bezug auf den Klimawandel berücksichtigt sind, ist eine Bilanzierung der anderen Wirkungskategorien nach dieser Methode nicht möglich.

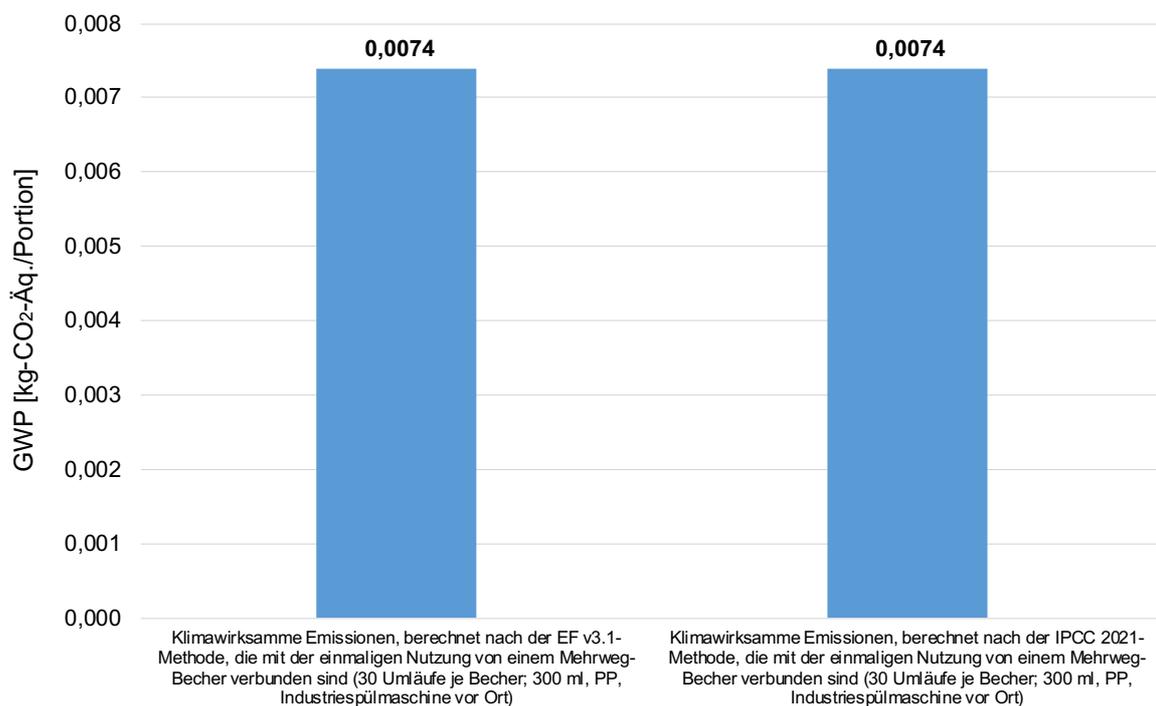


Abbildung 2: Vergleich der Klimawirkung der Nutzung eines Mehrwegbechers, ermittelt nach der Methode der EU (links EF v3.1) und des IPCC (rechts IPCC 2021)

² <https://ecoinvent.org>

3 Funktionelle Einheit

Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden auf eine funktionelle Einheit bezogen. Die funktionelle Einheit beschreibt den quantitativen Nutzen des in den ökobilanziellen Untersuchungen untersuchten Produktsystems/Produkts in möglichst bester Weise. Die funktionelle Einheit ist Bezugs- und Vergleichsgröße einer Produktökobilanz, auf die die Umweltbelastungen entlang des Lebenswegs des Produkts bezogen werden. Um z. B. zu ermitteln, ob die Nutzung eines Einweg- oder des alternativen Mehrwegprodukts klimaschädlicher ist (z. B. einer konkreten Einweg-Spitztüte aus unbeschichtetem Papier mit dem Gewicht X oder einer konkreten Mehrwegschale aus Polypropylen (PP) mit dem Gewicht Y, beide für die Ausgabe und den Verzehr einer gleichgroßen Portion Pommes frites geeignet) werden die Umwelteigenschaften beider Produkte auf die gleiche funktionelle Einheit, „Ausgabe einer Portion“, bezogen und verglichen. Die funktionelle Einheit bezieht sich beim Vergleich von zwei Produkten immer auf eine gleichgroße Portion (z. B. 300 ml eines Getränks etc.) und gilt gleichermaßen bei Einweg- und Mehrwegprodukten. Verglichen werden immer nur Produkte, die den gleichen Nutzen erfüllen (z. B. gleichgroße Trinkgefäße, Bowls etc. für die Aufnahme des gleichen Volumens an Speisen/Getränken). Es wurden nur Produkte verglichen, die die gleichen Funktionen erfüllen, beispielsweise Becher für Heißgetränke. So wurde beispielsweise nicht ein Einwegbecher für Kaltgetränke mit einem Mehrwegbecher für Heißgetränke verglichen, weil der Mehrwegbecher einen zusätzlichen Nutzen hat, er ist für Heißgetränke geeignet und der Einwegbecher nicht.

Hierfür wurden entsprechende Zuordnungen der in der Datenbank des DSS hinterlegten Geschirrtypen zu den einzelnen Gerichten und Getränken vorgenommen. Da nicht für alle Gerichte eine klare Zuordnung von z.B. Besteck erfolgen kann (z.B. wird ein Döner mal mit und mal ohne Gabel ausgegeben), und diese dadurch nicht automatisiert zugeordnet werden können, gibt es im DSS eine weitere Kategorie („Geschirrzubehör/Sonstiges“), in der der Bedarf an Besteck, Strohhalmen usw. definiert werden kann. Als funktionelle Einheit für diese Kategorie wurde „je Stück“ festgelegt.

4 Systemgrenzen

Die ökobilanziellen Untersuchungen erstreckten sich über den gesamten Lebensweg der Produkte. Das bedeutet, dass die Umweltwirkungen der einzelnen Produkte (Bowl, Teller, Becher, Spitztüte etc.) von der Gewinnung der Rohstoffe, über die Herstellung der einzelnen Produkte und deren Nutzung, der Reinigung der Mehrwegprodukte, der wiederholten Nutzung bei Mehrwegprodukten usw., inkl. der notwendigen Transporte und am Ende der Entsorgung der Produkte, also von der Wiege bis zur Bahre (cradle to grave), erfasst und beurteilt wurden. In Abbildung 3 ist beispielhaft der Bilanzrahmen für die Ermittlung der

Umweltwirkung für Mehrweggeschirr und in Abbildung 4 für Einweggeschirr dargestellt. Für sonstige Einweg- und Mehrwegverpackungen gelten die Bilanzrahmen in gleicher Weise.

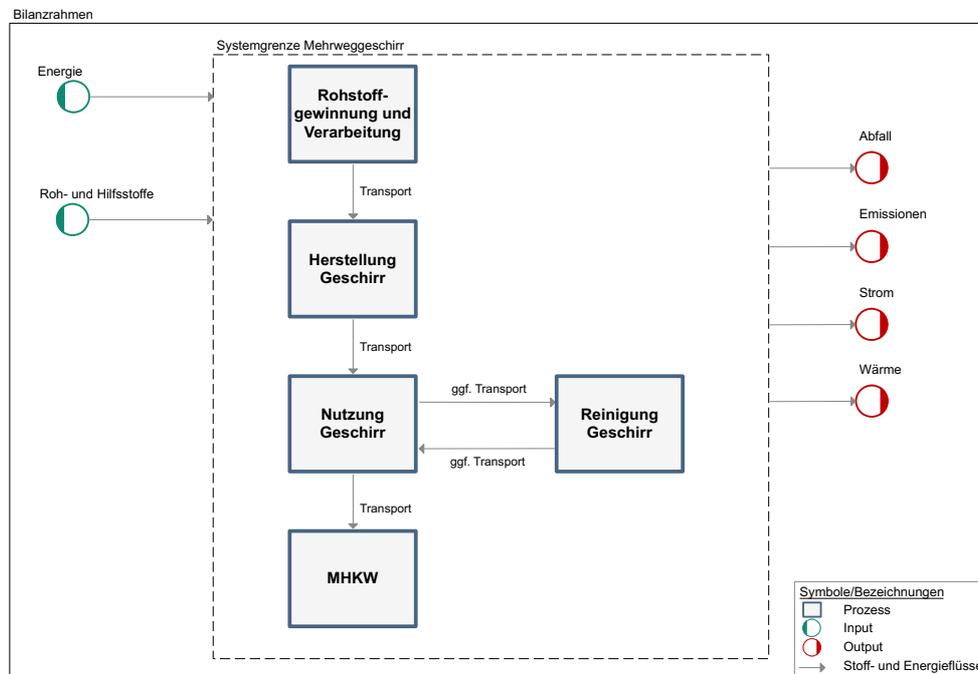


Abbildung 3: Schematische Darstellung eines Bilanzrahmens, aus dem entnommen werden kann, was bei der Ermittlung der Umweltwirkung von Mehrwegverpackungen und des Mehrweggeschirrs berücksichtigt wurde.

Bei den Berechnungen der Klimawirksamkeit wurden die Charakterisierungsfaktoren verwendet, die im „Fifth Assessment Report (AR5) genannt sind („Greenhouse Gas Protocol, Global Warming Potential Values“ – siehe hierzu auch Abschnitt 17.1 im Anhang).

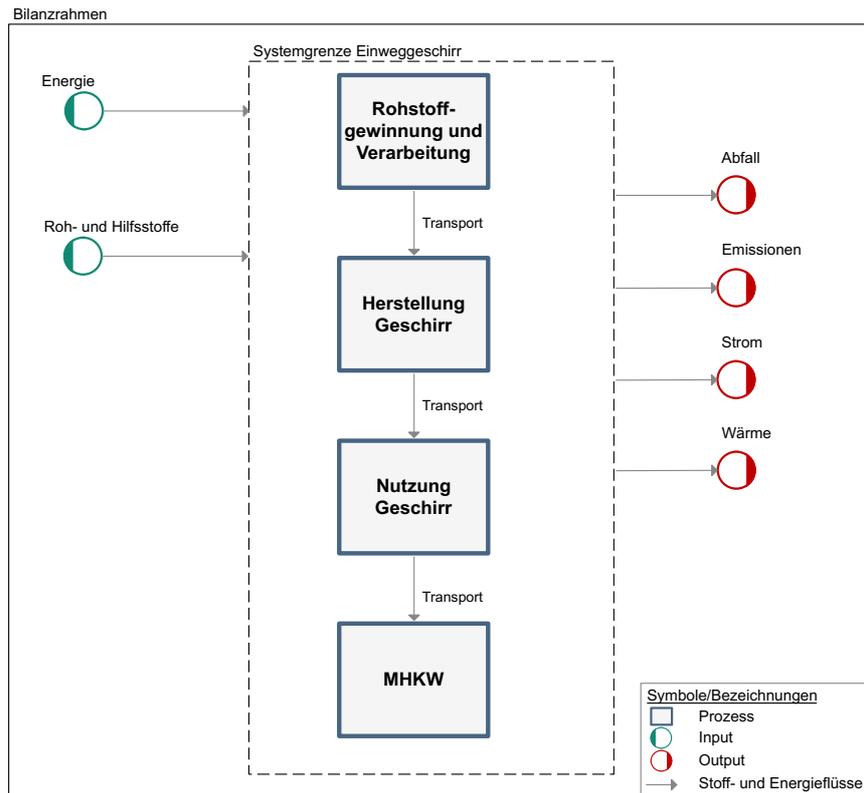


Abbildung 4: Schematische Darstellung eines Bilanzrahmens, aus dem entnommen werden kann, was bei der Ermittlung der Umweltwirkung von Einwegverpackungen und des Einweggeschirrs berücksichtigt wurde.

5 Abschneideregeln

In ökobilanziellen Untersuchungen zur Ermittlung von Treibhausgasemissionen und sonstigen Umweltwirkungen können aus ökonomischen Gründen, aber auch aus Gründen der Praktikabilität (z. B. Nichtverfügbarkeit von Daten etc.), niemals alle Aspekte berücksichtigt werden, die einen Einfluss auf ökologischen Fußabdruck haben. Daher ist es üblich, Abschneidekriterien zu definieren. Abschneidekriterien legen fest, ab welchem Schwellenwert „abzuschneiden“ ist, also emissionsrelevante Aspekte nicht berücksichtigt werden. Die Abschneidekriterien können sich hierbei an der betreffenden Masse, der Energie oder der Umweltrelevanz orientieren [Schwarz, 2014].

Für die vorliegenden Untersuchungen wurde festgelegt, dass bei weniger als 1 % Masse des Referenzstroms beziehungsweise bei weniger als 1 % der Energie oder der Klimawirkung abgeschnitten werden kann und der Massestrom bzw. der entsprechende Energieverbrauch dann nicht berücksichtigt wird – sofern keine signifikanten Umweltwirkungen zu erwarten sind. In Summe sollen nicht mehr als 5 % bezogen auf Masseanteile bzw. 5 % bezogen auf den Energieverbrauch abgeschnitten werden. Waren Daten vorhanden oder mit

vertretbarem Aufwand zu ermitteln, so wurden diese verwendet, auch wenn sie unterhalb der Grenze der Abschneideschwellenwerte lagen.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen wurden folgende Prozesse/Stoffströme/Energien abgeschnitten:

- Die für die Produktion von Einweg- und Mehrweggeschirr und -verpackungen notwendigen Anlagen sowie die notwendige Infrastruktur wurden nicht mit bilanziert. Bei Anlagen und Infrastruktur handelt es sich um langfristige Wirtschaftsgüter, deren ökologischer Fußabdruck nur geringfügig zum ökologischen Fußabdruck der Einweg- und Mehrwegprodukte beiträgt. Dieser ist üblicherweise im Wesentlichen durch die eingesetzten Stoffe und Energien geprägt.
- Bei der Berechnung der Umweltwirkungen durch die Reinigung von Geschirr mittels Industriespülmaschine und Spülstraße wurde die Herstellung der Spülmaschinen nicht berücksichtigt.
- Die für die Reinigung des Geschirrs notwendige Infrastruktur (Gebäude, Versorgungsleitungen für Strom, Wasser und Abwasser etc.) wurden nicht berücksichtigt.

6 Qualität der Daten

Die Beurteilung der Datenqualität und der nachfolgenden Geltungsbereiche orientiert sich an dem in Tabelle 1 dargestellten Schema.

Tabelle 1: Schema zur Beurteilung der Datenqualität und der Geltungsbereiche in Anlehnung an Weidema und Wesnæs [Weidema und Wesnæs, 1996]

Punktzahl	1	2	3	4	5
Verlässlichkeit	Geprüfte Daten auf der Grundlage von Messungen	Geprüfte Daten, die teilweise auf Annahmen beruhen, oder nicht geprüfte Daten, die auf Messungen beruhen	Nicht überprüfte Daten, die teilweise auf Annahmen beruhen	Qualifizierte Schätzung (z. B. durch Industriexperten)	Nicht qualifizierte Schätzung
Vollständigkeit	Repräsentative Daten aus einer ausreichenden Stichprobe über einen angemessenen Zeitraum, um normale Schwankungen auszugleichen	Repräsentative Daten von einer geringeren Anzahl von Standorten, aber für angemessene Zeiträume	Repräsentative Daten aus einer ausreichenden Anzahl von Standorten, aber aus kürzeren Zeiträumen	Repräsentative Daten, aber von einer geringeren Anzahl von Standorten und kürzeren Zeiträumen oder unvollständige Daten von einer angemessenen Anzahl von Standorten und Zeiträumen	Repräsentative unbekannte oder unvollständige Daten von einer geringeren Anzahl von Standorten und/oder aus kürzeren Zeiträumen
Zeitliche Geltungsbereich	Weniger als 3 Jahre Unterschied zum Studienjahr	Weniger als 6 Jahre Unterschied zum Studienjahr	Weniger als 10 Jahre Unterschied zum Studienjahr	Weniger als 15 Jahre Unterschied zum Studienjahr	Alter der Daten unbekannt oder mehr als 15 Jahre
Geografische Geltungsbereich	Daten aus dem untersuchten Gebiet	Durchschnittsdaten aus dem Gebiet, in dem das untersuchte Gebiet enthalten ist	Daten aus Gebieten mit ähnlichen Produktionsbedingungen	Daten aus Gebieten mit leicht ähnlichen Produktionsbedingungen	Daten aus einem unbekanntem Gebiet oder einem Gebiet mit sehr unterschiedlichen Produktionsbedingungen
Technologische Geltungsbereich	Daten aus den untersuchten Unternehmen, Prozessen und Materialien	Daten aus den untersuchten Prozessen und Materialien, aber aus verschiedenen Unternehmen	Daten aus den untersuchten Prozessen und Materialien, aber aus einer anderen Technologie	Daten von verwandten Verfahren oder Materialien, aber gleicher Technologie	Daten über verwandte Prozesse oder Materialien, aber unterschiedliche Technologien

Für die Untersuchungen wurde auf einer Vielzahl von Veranstaltungen Mehrweg- und Einweggeschirr gesammelt. Die Zusammensetzung der Verpackungs- und Geschirrprouben wurde ermittelt und die einzelnen Verpackungen und Geschirrtelle wurden gewogen, so dass die Datengrundlage in Bezug auf die Zusammensetzung und das Gewicht von Verpackungs- und Geschirrtelle für die ökobilanziellen Untersuchungen sehr gut ist.

Für den Transport von Rohstoffen und Materialien zur Produktionsstätte von Einweg- und Mehrwegprodukten wurden 400 km angenommen. Für den Transport von der Produktion des Geschirrs bzw. der Verpackungen zum Inverkehrbringer wurden 75 km angenommen. Für den Transport vom Ort der Nutzung zur Entsorgung im Müllheizkraftwerk wurden 25 km angenommen. Für nicht in Deutschland produzierte Einweg- und Mehrwegprodukte wurde ein Überseetransport mittels Containerschiff mit Entfernungen von 15.000 bis 43.500 km (je nach Produkt) angenommen. Im Herstellungsland wurde weiterhin ein Transport per Lkw von 150 km angenommen. Für den Transport in Deutschland vom Hafen zum Inverkehrbringer wurden 125 km angenommen. Für den Transport vom Ort der Nutzung zur Entsorgung im Müllheizkraftwerk wurden 25 km angenommen. Die Qualität der Daten ist demnach zumindest ausreichend.

Weitere Parameter zur Ermittlung des ökologischen Fußabdrucks wie z.B. Transporte zum Spülen oder zur Anlieferung können im DSS individuell definiert werden und sind mit aktuellen Datensätzen zu den resultierenden Transportemissionen hinterlegt. Die Qualität der Daten ist sehr gut.

Der bei der Bilanzierung von essbarem Geschirr berücksichtigte Korrekturfaktor (siehe auch Abschnitt 12), der die Häufigkeit des Verzehrs von essbarem Geschirr bei der Nutzung in die Berechnungen einbezieht, wurde über Beobachtungen im Rahmen von Datenerhebungen auf verschiedenen Großveranstaltungen abgeschätzt. Die Qualität der Daten ist zumindest ausreichend.

7 Geltungsbereich

7.1 Technologischer Geltungsbereich

Die in den Untersuchungen berücksichtigten Prozesse entsprechen einer durchschnittlichen modernen Technologie.

7.2 Geographischer Geltungsbereich

Der geographische Geltungsbereich ist Deutschland.

7.3 Zeitlicher Geltungsbereich und zeitliche Systemgrenze

Der zeitliche Geltungsbereich der Untersuchungen ist das Jahr 2024.

8 Externe Prozesse

Treibhausgasemissionen externer Prozesse (Produktion von Energie, Rohstoffgewinnung zur Energie- oder Materialgewinnung etc.) sowie vor- und nachgelagerter Prozesse wurden in den Bilanzen berücksichtigt.

9 Entsorgungswege

Grundsätzlich könnte man erwarten, dass Mehrwegprodukte am Ende ihres Lebenswegs recycelt werden. Tatsächlich ist die Haltbarkeit der Produkte so lang, dass sie, bevor sie wegen Qualitätsmängeln aussortiert werden, nicht zum Verleiher zurück gelangen. Der Dienstleister (BSM *Becher Spül- & Mietservice Ltd.* aus Hannover), der die Breminale 2022 bis 2024 mit Mehrweggeschirr ausgestattet hat, hat mündlich berichtet, dass er bisher noch kein Mehrweggeschirr wegen Verschleiß austauschen musste. Es kann davon ausgegangen werden, dass der überwiegende Teil der nicht zurückgegebenen Mehrwegprodukte am Ende des Lebenswegs, ebenso wie Einwegprodukte, zusammen mit dem Restabfall entsorgt wird. Für die Berechnungen wurde angenommen, dass die Produkte in einem Müllheizkraftwerk verwertet werden. So wird aus den Produkten Strom und Wärme produziert. Der daraus entstehende und ökobilanziell bilanzierte Nutzen wurde den Geschirrprodukten gutgeschrieben. Es wurde davon ausgegangen, dass alle Einweg- und Mehrwegprodukte am Ende ihres Lebenswegs in einem Müllheizkraftwerk entsorgt werden.

10 Allokationsregeln und Gutschriften

Bei den im vorliegenden Bericht dargestellten Untersuchungen wurde überwiegend auf Datensätze der „ecoinvent Association“ (<https://ecoinvent.org>), einer der größten Anbieter für ökobilanzielle Daten, zurückgegriffen. Ecoinvent empfiehlt, bei Verwendung ihrer Datensätze den „Recycled-Content-Ansatz“ (Cut-off) zu verwenden, sofern keine besonderen Umstände dagegensprechen. Dem wurde bei den im vorliegenden Bericht dargestellten ökobilanziellen Untersuchungen entsprochen.

Allokationsverfahren dienen dazu, bei Prozessen oder Produktionsanlagen, bei denen nicht nur ein Produkt, sondern weitere Koppelprodukte oder Nebenprodukte entstehen, die einen Nutzen haben, die bei der Produktion entstehenden Umweltwirkungen den verschiedenen

Produkten bzw. Nebenprodukten nach physikalischen Eigenschaften, ökonomischem Wert oder auch der Anzahl der späteren Nutzungen des wiederverwerteten/wiederverwendeten Materials zuzuordnen.

Bei der Berechnung der mit der Herstellung von Einweg- und Mehrwegprodukten verbundenen Umweltwirkungen lagen keine Informationen darüber vor, ob bei der Herstellung des Produkts mehrere Produkte bzw. Nebenprodukte mit einem Nutzen entstehen. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass dies in den verwendeten Datensätzen berücksichtigt wurde.

Bei der Entsorgung der Mehrweg- und Einwegprodukte wurde davon ausgegangen, dass keine stoffliche Verwertung der zu Abfall gewordenen Produkte erfolgt. Theoretisch können Mehrwegprodukte, z. B. Geschirr aus Polypropylen (PP), recycelt werden. In der Praxis werden jedoch keine oder vernachlässigbar wenige solcher Produkte recycelt. Die Produkte haben i. d. R. eine so lange Haltbarkeit, dass sie bei den üblicherweise zu erreichenden Umlauffzahlen von den Nutzern weggeworfen werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Produkte zum weitaus überwiegenden Teil in Müllheizkraftwerken entsorgt werden, wie auch die Einwegprodukte.

Bei der Entsorgung in Müllheizkraftwerken werden die Produkte Strom und Wärme erzeugt, die einen Nutzen haben. Der aus den Einweg- und Mehrwegprodukten erzeugte Nutzen wurden den Produkten gutgeschrieben.

Für die Berechnung der Umweltwirkungen bei der Produktion von Papiertüten sind nur Datensätze verfügbar, die die Produktion des Papiers und nicht der fertigen Tüte berücksichtigen. Für die Produktion der fertigen Tüten aus dem Papier (für das die Umweltwirkungen aus der Produktion berechnet wurden) wurden für die Fertigstellung der Tüten 5 % aufgeschlagen. Gleiches gilt für Papierbecher und Bowls mit Kunststoffbeschichtung. Hier wurde ein Aufschlag für die Produktion (Beschichtung) mit Kunststoff von 10 % berücksichtigt. Es wurde pauschal davon ausgegangen, dass der Kunststoffanteil bei diesen Produkten 5 Gew.-% vom Produkt beträgt.

Für die Produktion bzw. Verarbeitung weiterer Materialien wurden ebenfalls spezifische Produktionsaufschläge zur Berechnung der Umweltwirkungen berücksichtigt. Für die Produktion von Servietten aus Baumwolle wurde ein Zuschlag von 10 % für das Zuschneiden und Umnähen berücksichtigt. Bei der Verarbeitung von Einwegservietten wurden für das Zuschneiden und Falten 30% aufgeschlagen. Für die Herstellung von Geschirr aus Edelstahl wurde ein Aufschlag für die Produktion auf die Herstellung von Edelstahl von 10 % angesetzt.

11 Umlaufzahlen

Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor auf die Umweltwirkungen von Mehrweggeschirr und Mehrwegverpackungen ist die Anzahl der Umläufe, bevor sie ersetzt werden müssen. Je häufiger Mehrweggeschirr genutzt wird, desto geringer fallen die Umweltwirkungen aus, die aus der Produktion des Geschirrs stammen.

Einfluss auf die Anzahl der Umläufe haben einerseits die Qualität der Produkte und andererseits die Rücklaufquote, also das Verhalten der Konsumenten. Die Rücklaufquote ist zusätzlich von mehreren Faktoren abhängig, wie z. B. dem Branding von Geschirr, das durch die häufige Mitnahme des Geschirrs (z. B. Becher) als Souvenir zu geringen Rücklaufquoten führt. Gebrandete Becher von Künstlern bei Tourneen haben z. B. eine geringere Rücklaufquote als unbedruckte Becher, was wiederum die Umweltwirkungen des Geschirrs erhöht. Darüber hinaus beeinflusst die Exklusivität von Veranstaltungen im Zusammenhang mit gebrandetem Geschirr ebenfalls die Rücklaufquote negativ. Ein weiterer Faktor, der die Rücklaufquote beeinflusst, ist die Pfandhöhe. Ein hohes Pfand hat einen positiven Einfluss auf die Rücklaufquote (und umgekehrt), allerdings wird dadurch die Attraktivität von Mehrweg und dessen Nutzung negativ beeinflusst. Ebenso spielt die Attraktivität der Mehrweggefäße eine Rolle im Zusammenhang mit der Rücklaufquote. Attraktive (und qualitativ hochwertige) Produkte werden öfter nicht zurückgegeben, um sie im Privaten zu nutzen (sofern die Pfandhöhe subjektiv nicht die Wertigkeit übersteigt).

Grundsätzlich lässt sich ableiten, dass die Faktoren Umlaufzahl, Spülprozess sowie Regionalität (Transporte) von entscheidender Bedeutung hinsichtlich der Umweltwirkungen von Mehrweggeschirr sind [Schmidt et al., 2022].

In der Literatur werden sehr unterschiedliche Angaben dazu gemacht, wie häufig Mehrweggeschirr genutzt werden kann, bis es ersetzt werden muss (siehe Tabelle 2). Die Umlaufzahlen schwanken für kunststoffbasiertes Mehrweggeschirr zwischen 8 und 100. Auch wenn vereinzelt immer wieder Umlaufzahlen für Mehrweggeschirr von deutlich über 100 genannt werden, kann davon ausgegangen werden, dass Umlaufzahlen von über 100 für Mehrweggeschirr unrealistisch sind und wenn überhaupt, dann bei geschlossenen Veranstaltungen wie Fußballspielen erreicht werden können. Im dreijährigen Mittel wurden z. B. auf der Breminale je nach Geschirrtyp Umlaufzahlen zwischen 26 und 49 erreicht.

Im Rahmen der ökobilanziellen Untersuchungen werden im DSS, je nach Geschirrtyp und Materialart, Umlaufzahlen zwischen 1 und 147 berücksichtigt. Hierbei besteht die Möglichkeit, die Umlaufzahlen mittels drei Abstufungen abzuschätzen. Dabei basieren die Werte für eine mittlere Rücklaufquote in der Hauptsache auf den im Rahmen einer Großveranstaltung tatsächlich ermittelten Rücklaufquoten. Für die Festlegung der geringen und hohen Rücklaufquote wurden die ermittelten Werte mit einem Faktor versehen (3 bzw. 1/3).

Tabelle 2: Umlaufzahlen bzw. Rücklaufquoten für Mehrweggeschirr, wie sie von verschiedenen Quellen genannt werden

Geschirr	Material	Umlaufzahl [n]	Rücklaufq. [%]	Datum	Bemerkung	Quelle
Angaben aus der Literatur						
Becher	PP	85	98,8	2022		Bertling et al. 2022
Becher	Keramik	750	99,9			
Becher	PP	107	99,1	2008	gewichteter Durchschnitt	Dehoust et al. 2008
unbedruckte Becher	PP	41	97,6	2017		Fischer, Wühl 2017
teilweise Bedruckte Becher	Kunststoff	12	91,7			
Mehrheitlich bedruckte Motivbecher	Kunststoff	8	87,5			
Schale	PCB	200	99,5	2021		Bouche; Boucher 2021
Geschirr (Vytal)	Kunststoff	50	98,0	2023	berechnet aus Rücklaufquote	Schägg, Schall 2023
Geschirr (Relevo)	Kunststoff	200	99,5	2023	Experteninterview Matthias Poththast	Poththast 2023
ermittelte Rücklaufquoten Breminale						
Becher Mittelwert 2022-24	PP	30	96,7	2022-24	gemittelter Gesamtwert über das insgesamt ausgegebene Geschirr in drei Jahren	Eigene Erhebung und Angaben Geschirrverleiher
Teller Mittelwert 2022-24	PP	49	97,9			
Snackschalen Mittelwert 2022-24	PP	26	96,1			
Schalen Mittelwert 2022-24	PP	27	96,3			

12 Ergänzende Erläuterungen zu einzelnen Aktivitäten, die in den ökobilanziellen Untersuchungen Berücksichtigung fanden

Die einzelnen Prozesse des Lebenszyklusses von Geschirr tragen in unterschiedlichem Maße zu den Umweltwirkungen bei. Im Folgenden werden einige Prozesse und die relevanten Einflussfaktoren erläutert, welche die Höhe der Emissionen beeinflussen [Pålsson und Olsson 2023].

- **Material/Produktion/Herstellung (inkl. Rohstoffgewinnung)**

Materialart und -qualität beeinflussen die Umweltwirkungen maßgeblich. Kunststoffgeschirr hat beispielsweise einen anderen ökologischen Fußabdruck als Geschirr aus Aluminium oder Glas. Dies ist in den unterschiedlich aufwendigen und umweltbelastenden Prozessen der Rohstoffgewinnung sowie den Prozessen zur Herstellung von Geschirr aus den Materialien begründet. Für Einweggeschirr haben Materialproduktion und Produktherstellung den größten Einfluss auf die Umweltwirkungen [Lewis et al., 2021].

Dies gilt auch für essbares Geschirr. Auch hier müssen die Rohstoffe angebaut und gewonnen sowie das Geschirr hergestellt werden. Auf der einen Seite könnte essbares Geschirr als Lebensmittel eingeordnet werden, wenn es quasi zum Gericht gehört (z.B. Eiswaffel, Brötchen für Steak oder Wurst), also in der Hauptsache mitverzehrt wird. Auf der anderen Seite existiert essbares Geschirr, welches keinen erkennbaren Nutzen bzw. Mehrwert als Nahrung besitzt. Es besitzt lediglich die Eigenschaft, essbar zu sein. In der Regel wird dieses Geschirr nach Gebrauch allerdings entsorgt. Um diesem Umstand bei der Bewertung von Geschirrvarianten

gerecht zu werden, erfolgt die Bilanzierung von essbarem Geschirr vergleichbar zu anderen Geschirrarten, allerdings versehen mit einem Korrekturfaktor. Dieser Faktor berücksichtigt, ob und wie häufig essbares Geschirr im Rahmen der Nutzung im Mittel voraussichtlich mitgegessen wird. Entsprechend dem Faktor werden die Umweltwirkungen für essbares Geschirr reduziert, da es für den Fall, dass es mitgegessen wird, als Lebensmittel zu verstehen ist, welches einen entsprechenden Nutzen besitzt und daher nicht in die Bilanzierung einzubeziehen ist.

- **Transporte**

Emissionen aus Transporten sind bedingt durch den Herstellungsort der unterschiedlichen Materialien und Transporten zu Händlern bzw. Endbeziehern von Geschirr. Hierfür relevante Transporte (u.a. in Containerschiffen, Kleintransportern, LKW) wurden ebenso in den Bilanzierungen berücksichtigt wie anfallende Transporte, um Geschirr anzuliefern oder um Mehrweggeschirr zum Spülort und zurück zu transportieren.

- **Spülaktivitäten**

Ein signifikanter Faktor bei der Beurteilung der Umweltwirkungen von Mehrweggeschirr ist der Reinigungsprozess. Das Geschirr muss nach jeder Nutzung (bei langen Lagerzeiten ggf. auch nach der Lagerung) gespült werden. Diese Spülaktivitäten tragen, unter der Annahme ausreichender Umlaufzahlen, am meisten zu den Umweltwirkungen von Mehrweggeschirr bei [Lewis et al., 2021]. Hierbei ist nicht nur die Effizienz des Spülens durch komplettes Beladen von Spülmaschinen, sondern auch der Ort der Reinigung (ggf. hieraus resultierende Transporte) sowie die eingesetzte Spültechnik und deren Energie- und Wassereffizienz relevant. Weiterhin können beim Betrieb von Spülmaschinen durch die Nutzung von Ökostrom (für die Berechnungen im Rahmen des DSS wurde der deutsche Strommix angesetzt) die Umweltwirkungen weiter reduziert werden.

Die zur Berechnung der Emissionen aus Spülaktivitäten herangezogenen Verbrauchswerte für Industriespülmaschinen (Untertischspülmaschine), Spülstraßen (Korbtransportmaschine) sowie Handwäsche entstammen Literaturwerten bzw. eigenen Untersuchungen an ausgewählten Modellen.

13 Sachbilanzen

Im Rahmen der Erarbeitung der Sachbilanzen wurden innerhalb des Bilanzrahmens (siehe Abbildung 3 und Abbildung 4) alle Stoff- und Energieflüsse, die innerhalb des

Lebenszyklusses der Einweg- und Mehrwegprodukte relevant sind, quantifiziert. Dies erfolgte unter den im Bericht genannten Randbedingungen.

14 Wirkungsabschätzung und Auswertung

Im Rahmen der Wirkungsabschätzung werden die Sachbilanzdaten mit den Wirkungskategorien (Klimawandel, Ressourcenverbrauch und Wassernutzung) und den Wirkungsindikatoren (beim Klimawandel „CO₂-Äquivalente“, beim Ressourcenverbrauch „Sb-Äquivalente“³, bei der Wassernutzung „m³“) verknüpft, die für relevant gehalten werden. So wird die Umweltwirkung, z. B. die Klimawirkung, die mit der Nutzung eines speziellen Geschirrs verbunden ist, quantifiziert. Durch die abschließende Auswertung und Bewertung der Ergebnisse kann die Zielsetzung, also die Frage, welche Verpackungen und Geschirre bei gleichem Nutzen und bei Einsatz für den gleichen Zweck aus ökobilanzieller Sicht am vorteilhaftesten sind, beantwortet werden.

Hinweis: Bei der Darstellung der Ergebnisse im DSS und im CO₂-Rechner sind die Einzelwerte teilweise gerundet. Dadurch können sich Abweichungen in den Summen ergeben.

15 Ausgewählte Ergebnisse der ökobilanziellen Untersuchungen

Nachfolgend sollen wesentliche Aspekte und Einflussfaktoren für die Berechnung des ökologischen Fußabdrucks von Geschirr erläutert werden. Hierfür werden beispielhaft einige Ergebnisse ökobilanzieller Untersuchungen für eine Auswahl an Geschirr unter bestimmten Rahmenbedingungen dargestellt. Im DSS können diese Rahmenbedingungen für die Berechnungen individuell angepasst werden, wodurch sich im Ergebnis die ökologische Vorteilhaftigkeit in Abhängigkeit der Anforderungen und Rahmenbedingungen ändern kann.

15.1 Auswahl von Wirkungskategorien für die Beurteilung der Vorteilhaftigkeit von Geschirrprodukten

Im Rahmen der ökobilanziellen Untersuchungen wurden drei Umweltwirkungskategorien einbezogen (Klimawandel (GWP 100), abiotischer Ressourcenverbrauch, Wasserverbrauch). Weitere Umweltwirkungskategorien wurden in diesem Zusammenhang

³ Das Elementsymbol Sb steht für Antimon und hat die Ordnungszahl 51 im Periodensystem.

nicht betrachtet (u.a. Eutrophierung Boden, Eutrophierung Frischwasser, photochemische Oxidantienbildung, Versauerung, Energieressourcenverbrauch fossil, Landverbrauch).

Aufgrund der übergroßen Bedrohung, die vom Klimawandel ausgeht, ist klar, dass beim Vergleich von Einweg- und Mehrwegprodukten die Klimawirkung der Produkte von entscheidender Bedeutung ist. Beim Klimawandel wurde ausschließlich der GWP₁₀₀ berücksichtigt (Klimawirkung über einen Zeitraum von 100 Jahren).

Anderen Wirkungskategorien kommt eine deutlich geringere Bedeutung zu. Da Einwegverpackungen und -geschirr in großer Zahl in Umlauf gebracht werden und bei der Diskussion um nachhaltige Geschirrauswahl und der Argumentation für Mehrweg auch immer bedacht wird, welche Ressourcenverschwendung mit der Nutzung von Einwegprodukten verbunden ist, wurde als zweite Wirkungskategorie zusätzlich der abiotische Ressourcenverbrauch berücksichtigt (ADP – Abiotic Depletion Potential). Im Rahmen der im Folgenden dargestellten beispielhaften Bewertungen verschiedener Geschirrrarten wird sich auf diese beiden Wirkungskategorien beschränkt. Im DSS selbst wird als weitere Wirkungskategorie auch der Wasserverbrauch bzw. die Wassernutzung (WDP – Water Deprivation Potential) berücksichtigt.

In Abbildung 5 sind beispielhaft die Umweltwirkungen dargestellt, die mit der Nutzung eines Mehrweg-Kaltgetränkebechers aus Polypropylen (PP) verbunden sind. Gleichzeitig sind die Umweltwirkungen eines Einwegbechers aus PP dargestellt, der den gleichen Nutzen hat, also alternativ zum Mehrwegbecher in gleicher Weise genutzt werden kann. Wie zu erkennen ist, sind die Umweltwirkungen des Einwegbechers in allen Wirkungskategorien deutlich höher. Aus ökobilanzieller Sicht ist daher eindeutig die Nutzung des Mehrwegbechers zu empfehlen. Dieses Ergebnis korrespondiert auch mit den Ergebnissen anderer Autoren (siehe hierzu auch Abschnitt 15.4).

In Abbildung 6 sind die Umweltwirkungen der Nutzung einer leichten Einweg-Plastiktüte aus Polyethylen mit geringer Dichte (LDPE) dargestellt, wie sie häufig genutzt werden, um zuckerhaltige Produkte wie Bonbons etc. zum Verkauf anzubieten. Ebenfalls dargestellt ist ein Mehrwegbecher mit Deckel aus Polyethylen, der für den Verkauf von z. B. Bonbons in gleicher Weise als Mehrwegprodukt genutzt werden könnte. Wie zu erkennen ist, hat der Mehrwegbecher hinsichtlich des Wasserverbrauchs eine ca. 20 % geringere Umweltwirkung. Hinsichtlich des Klimawandels ist der Einwegbecher etwas besser, in Bezug auf den abiotischen Ressourcenverbrauch ist die Einweg-Kunststofftüte deutlich besser⁴.

⁴ Zu berücksichtigen ist hier auch, dass für den Mehrwegbecher 30 Umläufe (Ausgaben) berücksichtigt wurden. Bei Produkten wie Bonbons, Pralinen, gebrannten Mandeln etc., die häufig zum Teil oder ganz mit nach Hause genommen werden, ist das Erreichen von 30 Umläufen nicht zu realisieren, was die Umweltwirkung des Mehrwegprodukts negativ beeinflusst.

Um die ökobilanzielle Vorteilhaftigkeit eines der Produkte zu ermitteln, müssten den Wirkungskategorien in Abhängigkeit ihrer aktuellen Bedeutung eine höhere oder geringere Priorität zugeordnet werden (z.B. über ein gewichtetes Punktesystem). Da eine solche Vorgehensweise für die Praxis zu komplex ist, erfolgt im DSS die Priorisierung der Wirkungskategorien auf Basis der Auswahl durch den Anwender. Dieser kann die Auswertung hinsichtlich einer bestimmte Wirkungskategorie wählen, entsprechend dieser Wirkungskategorie wird anschließend das ökologisch vorteilhafteste Geschirr ausgewählt.

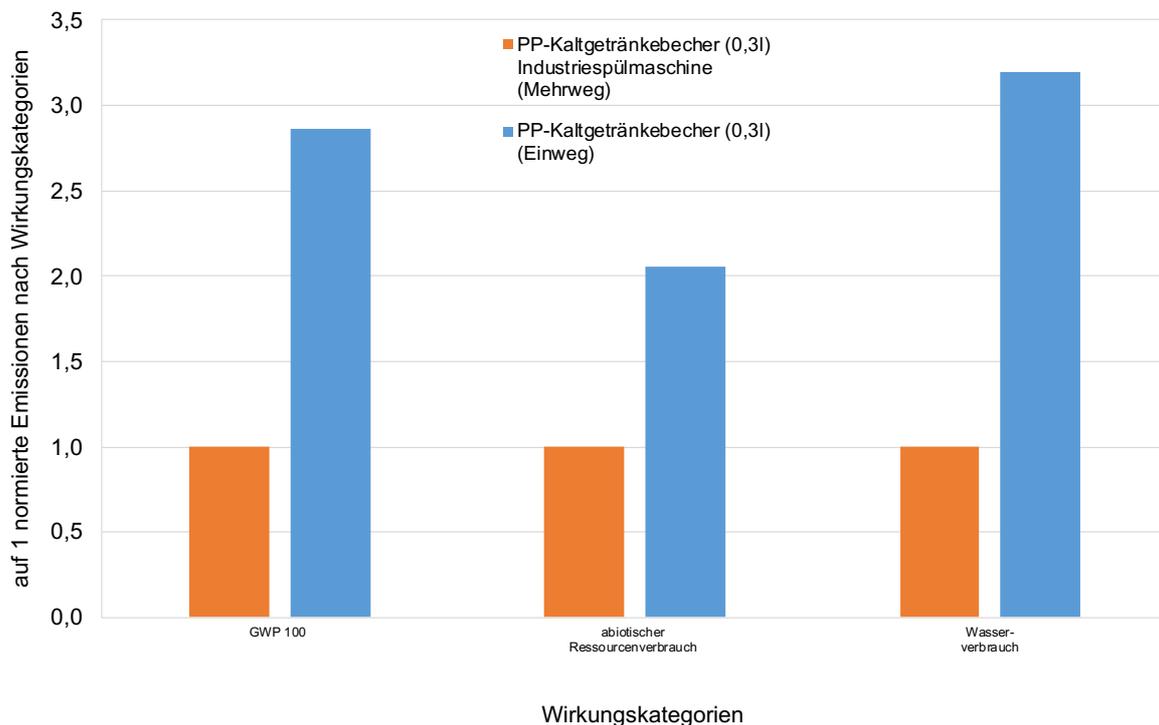


Abbildung 5: Umweltwirkungen der Nutzung eines 300-ml-Mehrwegbechers und eines Einwegbechers aus Polypropylen

Anmerkung: Gewicht des Mehrwegbechers aus PP betrug 33,35 g, 30 Umläufe (Durchschnitt Breminale der Jahre 2022 - 2024). Die Reinigung der Becher erfolgt in einer Industriespülmaschine vor Ort. Der alternativ zu nutzende Einwegbecher besteht ebenfalls aus PP, hatte die gleiche Größe und wog 6,5 g.

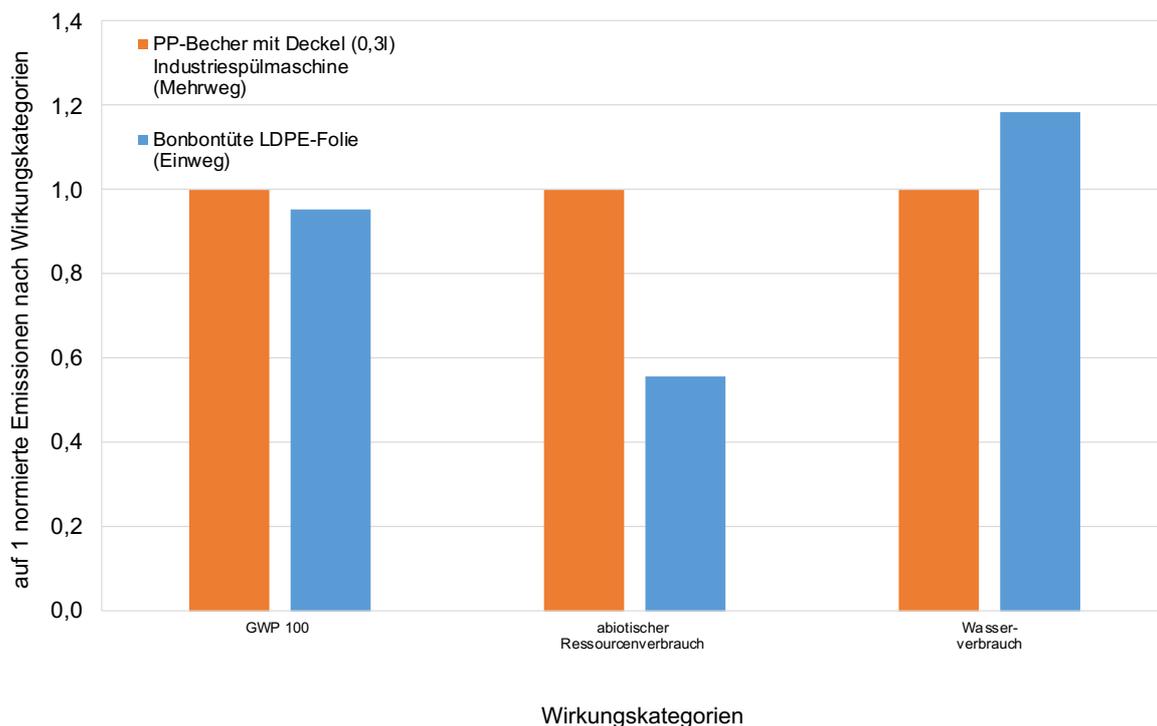


Abbildung 6: Vergleich unterschiedlicher Wirkungskategorien von einem Mehrwegbecher mit Deckel (ohne Berücksichtigung der Anlagen und Infrastruktur) und einer leichten Kunststofftüte, beides zum Verkauf von Bonbons

Anmerkung: Becher und Deckel aus Polypropylen (PP), 40,45 g schwer, 30 Umläufe, Reinigung in Industriespülmaschine. Bonbontüte aus Polyethylen geringer Dichte (LDPE = Low-Density Polyethylen), 1,70 g schwer.

15.2 Vorteilhaftigkeit der Reinigung von Geschirr vor Ort

Bei der Nutzung von Mehrweggeschirr stellt sich für Großveranstaltungen immer wieder die Frage, ob aus Gründen des Klimaschutzes die Reinigung vor Ort, in einer Industriespülmaschine oder besser zentral, in einer großen Spülstraße, vorteilhafter ist⁵. In Abbildung 7 sind für 4 Mehrweggeschirrsorten die klimaschädlichen Emissionen (ohne Berücksichtigung von Transporten) dargestellt. Wie der Abbildung 7 zu entnehmen ist, hat die Industriespülmaschine für alle betrachteten Geschirrarten eine geringere Klimawirkung als die Spülstraße. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass bei der Verwendung einer Spülstraße das gebrauchte Geschirr vom Rückgabeort zur Spülstraße und wieder zurück transportiert werden muss, was mit zusätzlichen Umweltwirkungen verbunden ist. Es ist daher zu

⁵ Die Wirkungskategorie Klimawandel wird im vorliegenden Fall prioritär betrachtet.

empfehlen, sofern aus organisatorischen und technischen Gründen möglich, das Geschirr vorzugsweise vor Ort in Industriespülmaschinen zu reinigen.

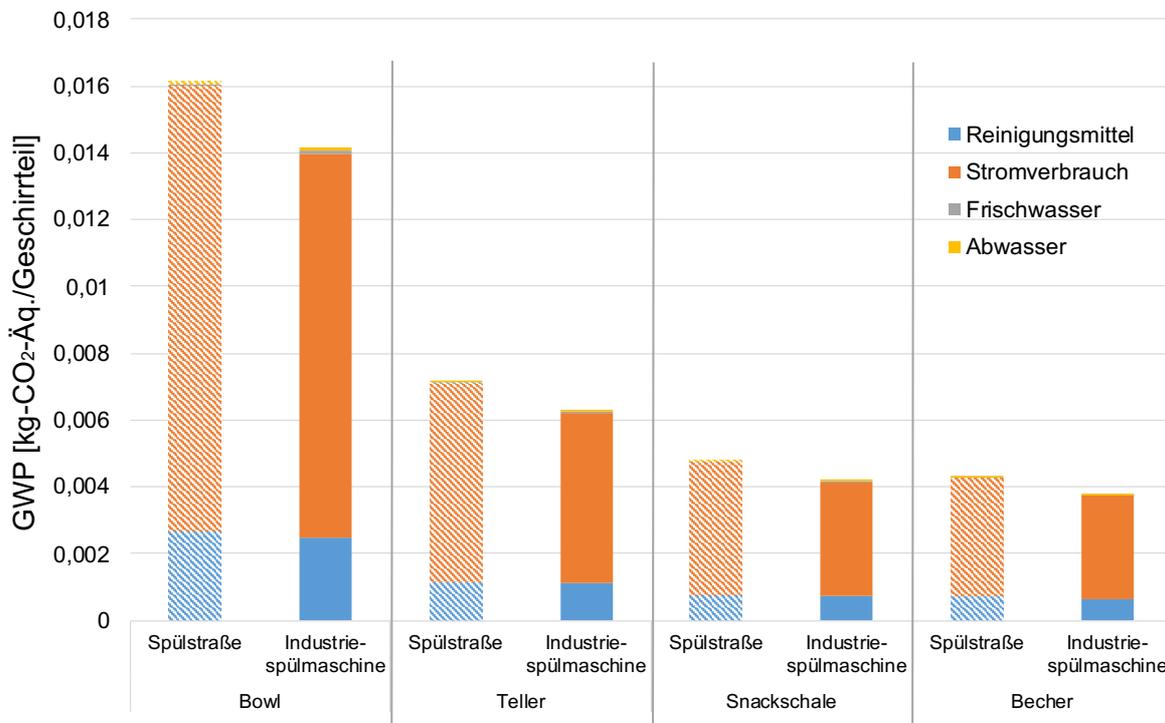


Abbildung 7: Klimawirksame Emissionen (ohne Berücksichtigung von Anlagen, Infrastruktur und Transporten) beim Reinigen von Mehrweggeschirr.

Anmerkung: Die Verbrauchsdaten der Industriespülmaschine wurde den Datenblättern des Herstellers entnommen. Da davon auszugehen ist, dass die Herstellerangaben in der Praxis nicht erreicht werden, wurde die angegebene Durchsatzleistung halbiert, der Wasserverbrauch verdoppelt und der Energieverbrauch auf 70 % der Anschlussleistung (6,7 kW_{el} Anschlussleistung) geschätzt (alles konservative Annahmen). Die Verbrauchsdaten der Spülstraße wurden im Rahmen von Vor-Ort-Messungen ermittelt. In der Spülstraße wurde das Mehrweggeschirr der Breminale in den Jahren 2022 – 2024 gereinigt (elektrische Anschlussleistung 54 kW, der gemessene Stromverbrauch betrug 27,1 kWh je Betriebsstunde).

15.3 Vergleich verschiedener Einweg- und Mehrweggeschirrarten mit gleichem Nutzen

Nachfolgend werden beispielhaft für die Ausgabe verschiedener Speisen und Getränke übliche Einweg- und Mehrwegprodukte bezüglich ihrer Klimawirksamkeit und ihres Ressourcenverbrauchs verglichen, um die Komplexität sich ändernder Rahmenbedingungen (u.a. Umlaufzahlen) bei der Berechnung und Bewertung der ökologischen Vorteilhaftigkeit aufzuzeigen.

In Abbildung 8 wird die Nutzung eines Mehrweg- und eines Einwegbechers aus Polypropylen verglichen. Beide Becher haben in Bezug auf die Ausgabe bzw. Nutzung als Becher für Kaltgetränke den gleichen Nutzen. Wie zu erkennen ist, ist der Mehrwegbecher schon nach 5 Umläufen (5 Nutzungen) in Bezug auf den Klimawandel mit dem Einwegbecher gleichwertig. In Bezug auf den abiotischen Ressourcenverbrauch ist der Mehrwegbecher mit dem Einwegbecher nach 7 bis 8 Umläufen gleichwertig. Da Mehrwegbecher bei der Ausgabe von Getränken üblicherweise deutlich höhere Umlaufzahlen erreichen, je nach Randbedingungen wahrscheinlich 30 bis 100, ist klar, dass die Nutzung von Mehrwegbechern für Getränke aus Gründen des Klima- und Ressourcenschutzes vorteilhaft ist.

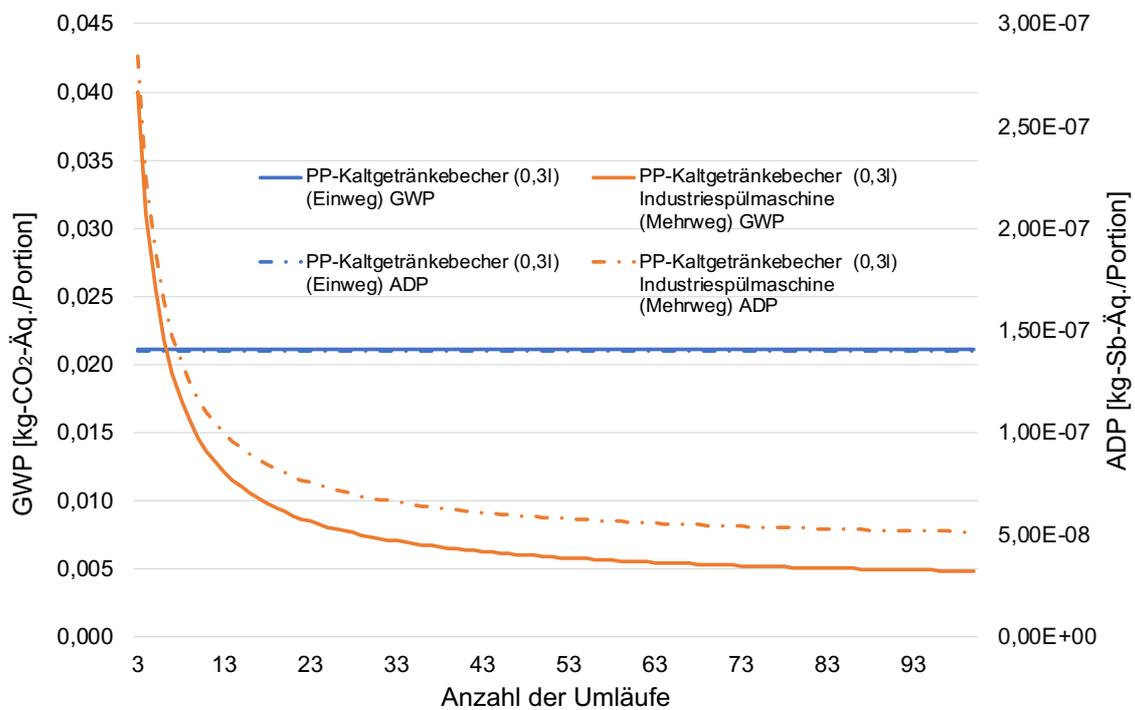


Abbildung 8: Vergleich des Treibhauspotentials (GWP) und des abiotischen Ressourcenverbrauchs (ADP) (ohne Berücksichtigung von Anlagen und Infrastruktur) bei der Ausgabe einer Portion Kaltgetränk in einem Einweg- und einem Mehrwegbecher.

Anmerkung: Kaltgetränke-Mehrwegbecher aus Polypropylen, 33,35 g schwer, 30 Umläufe (Durchschnitt Breminale), Industrierpülmaschine vor Ort. Einwegbecher aus Polypropylen, 6,5 g schwer.

In Abbildung 9 ist die Nutzung von leichten Einweg-Kunststoffbeuteln (LDPE) im Vergleich zu Mehrwegbechern mit Deckel dargestellt. Beide Produkte sind für die Ausgabe von zuckerhaltigen Produkten wie Bonbons geeignet. Wie zu erkennen, sind der Becher mit

Deckel und die Plastiktüte in Bezug auf den Klimawandel nach ca. 30 Umläufen des Mehrwegbechers gleichwertig. Mit zunehmenden Umläufen (Nutzungen) verbessert sich die Klimawirkung des Mehrwegbechers im Vergleich zum Einwegprodukt. Nach 100 Umläufen hat der Mehrwegbecher im Vergleich zur Plastiktüte eine ca. 25 % geringere Klimawirkung. In Bezug auf den abiotischen Ressourcenverbrauch hat dagegen die Einweg-Plastiktüte auch nach 100 Umläufen des Mehrwegbechers noch einen um ca. 20 % geringeren Ressourcenverbrauch.

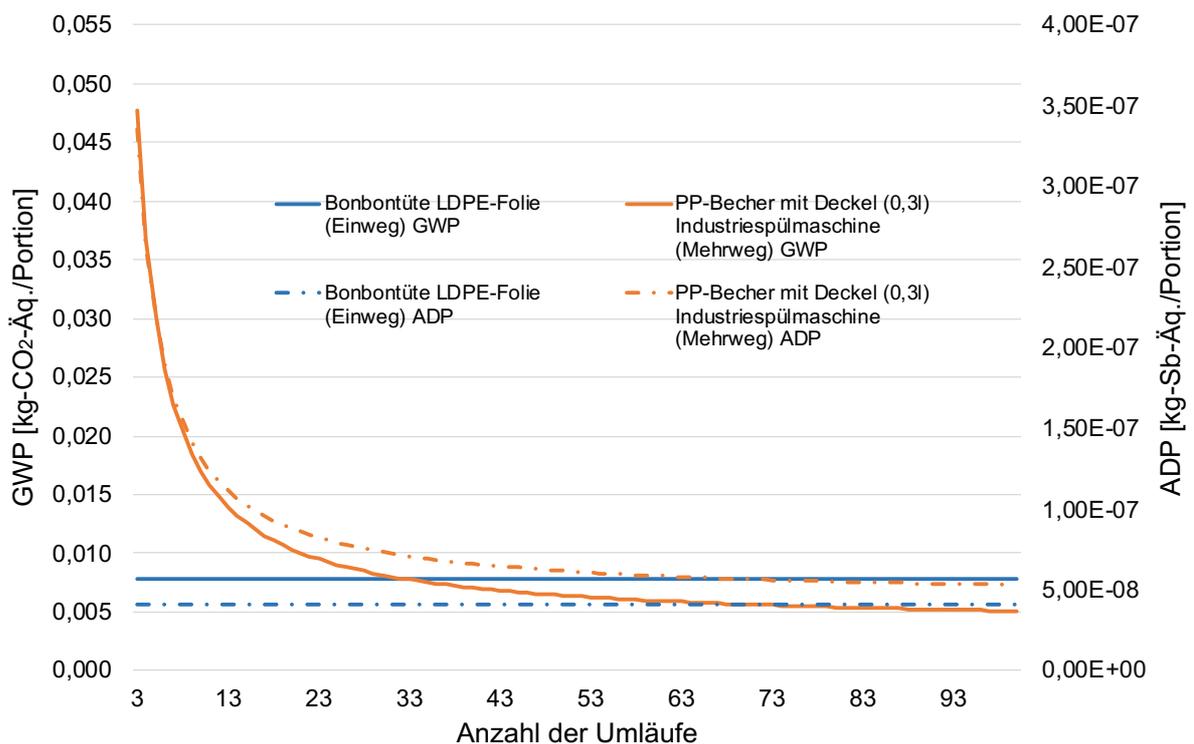


Abbildung 9: Vergleich des Treibhauspotentials (GWP) und des abiotischen Ressourcenverbrauchs (ADP) von Einweg- und Mehrwegverpackungen pro Portion (z. B. Bonbons) beim Spülen vor Ort mit einer Industriespülmaschine in Abhängigkeit zur Umlaufzahl.

Anmerkung: Mehrwegbecher aus Polyethylen, 33,39 g schwer, Industriespülmaschine vor Ort. Bonbontüte aus LDPE 2,0 g schwer.

Bei der Verwendung von Mehrwegverpackungen für Produkte, die zu einem Großteil mit nach Hause genommen werden (z.B. Bonbons; auch wenn ein Teil der Bonbons unterwegs gegessen wird), sind Umlaufzahlen von 30 oder mehr nach Einschätzung des Autorenteam sicher nicht zu erreichen. Insbesondere bei temporären Veranstaltungen, bei denen nur wenige Tage zur Verfügung stehen, um das Mehrwegprodukt zurückzugeben, können nur geringe Umlaufzahlen erreicht werden. Für Bonbons ist daher die Ausgabe in leichten

Plastiktüten aus Gründen des Klima- und Ressourcenschutzes vorteilhafter als die Nutzung von Mehrwegbechern mit Deckel (gilt gleichermaßen für ähnliche Produkte).

In Abbildung 10 ist die Nutzung von unbeschichteten Spitztüten aus Kraftpapier im Vergleich zu Mehrwegschaalen aus Polypropylen dargestellt. Beide Produkte sind für die Ausgabe von Pommes frites geeignet und haben für den Anwendungsfall den gleichen Nutzen, sie können für die Ausgabe einer jeweils gleichgroßen Menge an Pommes frites zum direkten Verzehr genutzt werden.

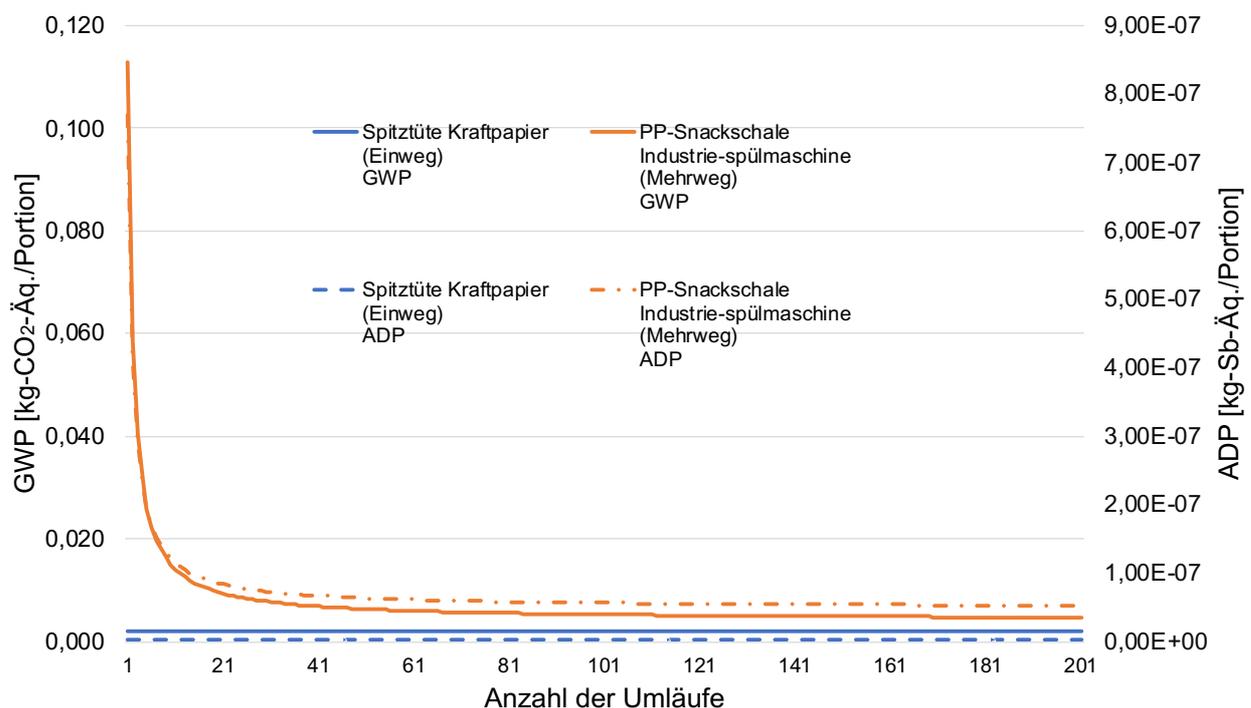


Abbildung 10: Vergleich des Treibhauspotentials (GWP) und des abiotischen Ressourcenverbrauchs (ADP) von Einweg- und Mehrweggeschirr pro Portion Pommes frites in Abhängigkeit zur Umlaufzahl.

Anmerkung: Mehrwegbecher aus Polypropylen, 33,39 g schwer, Industriespülmaschine vor Ort. Spitztüte aus Kraftpapier, unbeschichtet, 2,0 g schwer

Wie zu erkennen, ist die Nutzung der Spitztüte auch nach 200 Umläufen der Mehrwegschaale mit geringeren Umweltwirkungen verbunden. Aus Gründen des Ressourcen- und Klimaschutzes ist die Nutzung der Spitztüte der Nutzung der Mehrwegschaale vorzuziehen.

In Abbildung 11 ist die Nutzung einer mit Polyethylen beschichteten Einweg-Papier-Bowl im Vergleich zu einer Einweg-Bowl aus Polypropylen und im Vergleich zu einer Mehrweg-Bowl

aus Polypropylen in Bezug auf den Klima- und Ressourcenschutz dargestellt. Zu beachten ist, dass für die Untersuchungen keine genau gleichgroßen Bowls zur Verfügung standen. Die Bowls, die ein Volumen zwischen 800 ml und 1.300 ml hatten, haben daher nicht exakt den gleichen Nutzen⁶. Da Bowls zur Ausgabe von Speisen gern genutzt werden, ist das Ergebnis jedoch durchaus interessant – und sofern in den drei Bowls Portionen in gleicher Größe ausgegeben werden, auch belastbar.

Wie der Abbildung 11 zu entnehmen ist, führt die Nutzung der Einweg-Bowl aus Polypropylen im Vergleich zur Einweg-Papierbowl zu einem deutlich höheren Ressourcenverbrauch und deutlich höheren klimaschädlichen Emissionen. Die Mehrweg-Bowl hat im Vergleich zur Einweg-Bowl aus Polypropylen bereits nach 6 Umläufen die gleiche Klimawirkung und ist nach 8 Umläufen mit dem gleichen Ressourcenverbrauch verbunden. Im Vergleich zur Papier-Bowl hat die Mehrweg-Bowl nach 28 Umläufen die gleiche Klimawirkung. In Bezug auf den Ressourcenverbrauch ist die Papier-Bowl auch nach 100 Umläufen mit einem geringeren Ressourcenverbrauch verbunden, als die Mehrwegbowl (hängt mit Gutschriften aus der Entsorgung beider Produkte im Müllheizkraftwerk zusammen).

⁶ Bei ökobilanziellen Untersuchungen ist der Vergleich von Produkten mit unterschiedlichem Nutzen eigentlich unzulässig. Auch ist nach DIN 14040/14044 bei vergleichenden Ökobilanzen ein kritisches Review durch einen externen Gutachter vorgesehen. So wichtig beide Aspekte für Ökobilanzen sind, so wenig sind sie aus praktischen Gründen für die hier durchgeführte Bewertung von nachhaltigem Geschirr für Großveranstaltungen geeignet – schon wegen des Aufwands, der hierfür benötigten Zeit und der damit verbundenen Kosten. Nach Ansicht des Autorenteam ist die hier durchgeführte, vereinfachte ökobilanzielle Vorgehensweise im vorliegenden Fall praktikabel und zulässig.

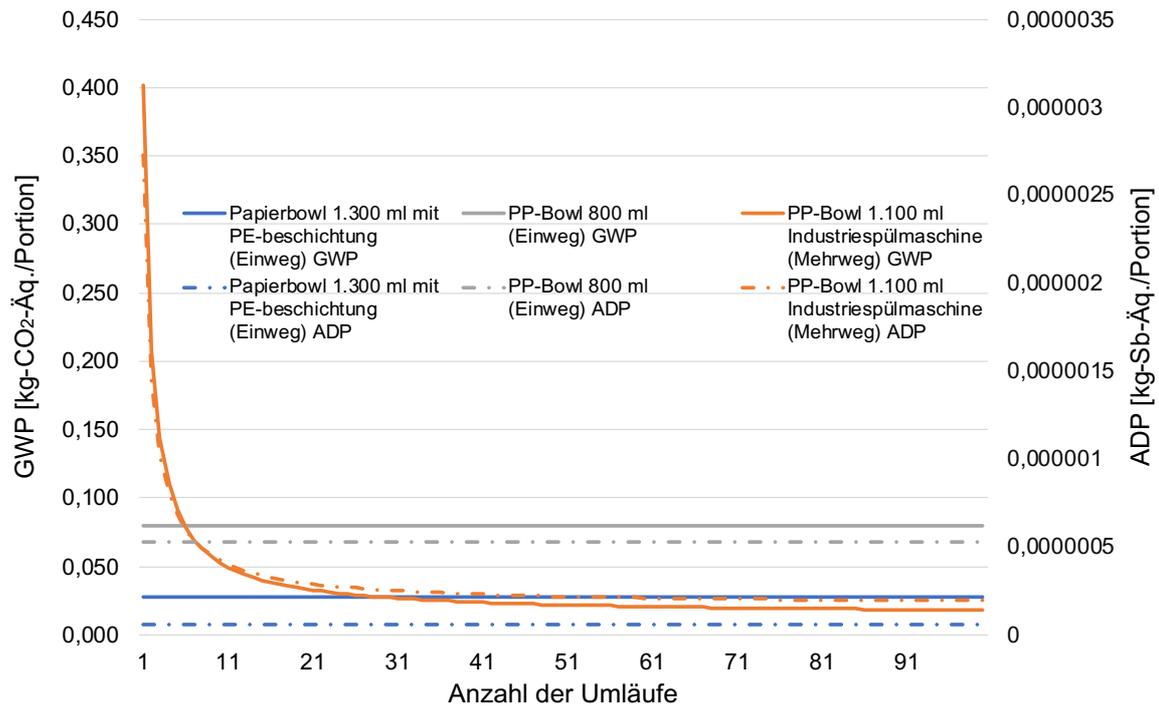


Abbildung 11: Vergleich des Treibhauspotentials (GWP) und des abiotischen Ressourcenverbrauchs (ADP) von Einweg- und Mehrwegbowls (pro Portion bzw. Nutzung) in Abhängigkeit der Umläufe der Mehrweg-Bowl.

Mehrweg-Bowl wird vor Ort in einer Industrierpülmaschine gereinigt. Das Gewicht der Mehrweg-Bowl beträgt 118,85 g, der Einweg-Bowl aus PP 24,4 g und der Einweg-Papier-Bowls (Kraftpapier mit Polyethylen beschichtet) 22,6 g.

In Abbildung 12 ist die Nutzung von Einwegtellern aus Kraftpapier (unbeschichtet) im Vergleich zu Mehrwegtellern aus Polypropylen dargestellt. Der Einwegteller ist mit einem Durchmesser von 23 cm im Vergleich zum Mehrwegteller mit einem Durchmesser von 24 cm geringfügig kleiner. Trotzdem soll davon ausgegangen werden, dass beide Produkte für die Ausgabe gleich großer Portionen geeignet sind, also den gleichen Nutzen haben. Wie zu erkennen ist, ist der Mehrwegteller erst nach 40 Umläufen in Bezug auf die Klimawirkung mit dem Einwegteller gleichwertig. Erst bei über 40 Umläufen ist von einer geringeren Klimawirkung des Mehrwegtellers im Vergleich zum Einwegteller auszugehen. In Bezug auf den Ressourcenverbrauch ist der Einwegteller immer besser als der Mehrwegteller (hängt mit Gutschriften aus der Verwertung beider Produkte im Müllheizkraftwerk zusammen).

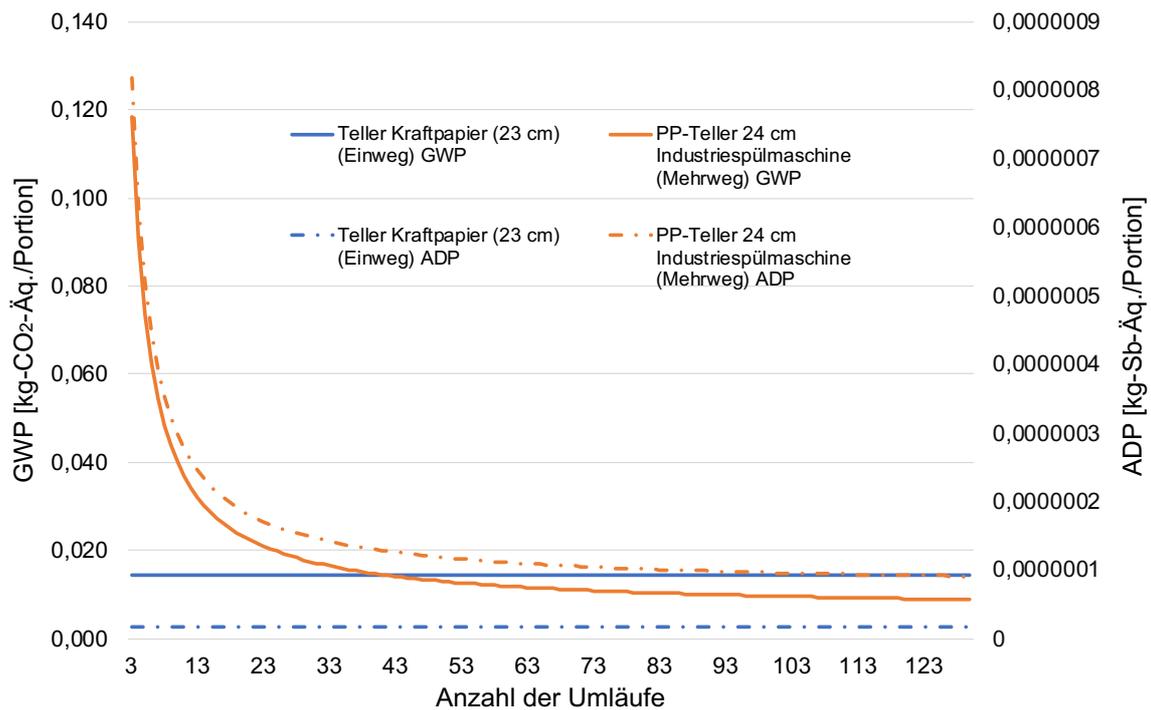


Abbildung 12: Vergleich des Treibhauspotentials (GWP) und des abiotischen Ressourcenverbrauchs (ADP) von Einweg- und Mehrweg-Tellern pro Portion.

Mehrweg-Teller wird vor Ort in einer Industriespülmaschine gereinigt. Das Gewicht des Mehrweg-Tellers beträgt 102,4 g, das Gewicht des Einweg-Tellers (Kraftpapier, nicht beschichtet) beträgt 14,15 g.

15.4 Vergleich mit den Ergebnissen Dritter

Die Nutzung von Einweg- und Mehrweggeschirr und -verpackungen wird immer wieder kontrovers diskutiert und Studien kommen z. T. auch zu widersprüchlichen Ergebnissen. Hierzu ein paar Beispiele: Dinkel [Dinkel, 2005] kommt beispielsweise zu dem Ergebnis, dass „Für alle betrachteten Wirkungen außer der Überdüngung weist das Geschirr aus Polystyrol die größten Belastungen auf. Diese Art von Einweggeschirr sollte nicht verwendet werden.“. Gallego-Schmid et al. [Gallego-Schmid et al., 2018] kommen dagegen zu dem Ergebnis, dass Geschirr/Lebensmittelverpackungen im Einwegsystem aus Polystyrol im Vergleich zu Einwegsystemen aus Aluminium oder Polypropylen die geringsten Umweltwirkungen haben. Nach Gallego-Schmid et al. [Gallego-Schmid et al., 2018] sind diese Einwegsysteme aus Polystyrol sogar Mehrwegsystemen aus Polypropylen überlegen, sofern die Umläufe des Geschirrs von Mehrwegsystemen nicht höher als 3 – 39 Mal sind (je nach Wirkungskategorie). Der Leitfaden für die nachhaltige Ausrichtung von Veranstaltungen des BMU [Dubrikow et al., 2010] hingegen empfiehlt eindeutig die Nutzung von Mehrwegsystemen.

Die dem DSS zugrunde liegenden Berechnungen wurden keinem kritischem Review unterzogen. Um die Methode der durchgeführten Untersuchungen zu überprüfen wurden jedoch punktuell die Ergebnisse der eigenen Untersuchungen mit denen anderer verglichen. Dies soll nachfolgend am Beispiel von Mehrwegbechern für Kaltgetränke dargestellt werden.

Im Auftrag des Österreichischen Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und des Schweizer Bundesamts für Umwelt haben Dehoust et al. [Dehoust et al., 2008] u. a. ermittelt, welche klimaschädlichen Emissionen mit der Nutzung eines Kaltgetränkebechers zusammenhängen. Im Untersuchungsbericht wurden die Rahmenbedingungen ausführlich beschrieben (Gewicht des Bechers, berücksichtigte Transportentfernung zum Spülort etc.). Um zu überprüfen, ob die in diesem Fall angewendete Methode zur Ermittlung der Umweltwirkungen von Einweg- und Mehrwegprodukten zu validen Ergebnissen führt, wurden für das Produkt „Kaltgetränkebecher“, das in der externen Studie bilanziert wurde, unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen der externen Studie die Umweltwirkungen des Produkts mittels der im DSS berücksichtigten Methode ermittelt.

In Abbildung 13 ist beispielhaft die Klimawirkung der Nutzung eines 500 ml Bechers aus Polypropylen dargestellt. Dehoust et al. haben in ihrer Studie ermittelt, dass die Nutzung dieses Mehrweg-Bechers unter den von ihnen genannten Randbedingungen mit klimaschädlichen Emissionen von 22 g CO₂-Äquivalente/Nutzung verbunden ist. Um das Ergebnis zu prüfen, wurde unter Berücksichtigung der von Dehoust et al. genannten Rahmenbedingungen, mit der im DSS berücksichtigten Methode ermittelt, dass die klimaschädlichen Emissionen 20,4 g CO₂-Äquivalente/Nutzung betragen. Wird berücksichtigt, dass sich die klimaschädlichen Emissionen aus der Erzeugung von Strom reduziert haben, sich die Charakterisierungsfaktoren für Stoffe über die Zeit verändert haben (beispielsweise wird Methan heute eine größere Klimawirksamkeit zugeschrieben als früher), die für die Berechnungen verwendete LCA-Methode EF v3.1 zum Zeitpunkt der Studie von Dehoust noch nicht existierte usw., so erscheint das Ergebnis plausibel und bestätigt grundsätzlich die Richtigkeit der Vorgehensweise – auch wenn diese vereinfachte Vorgehensweise kein Ersatz für ein kritisches Review einer Ökobilanz sein kann.

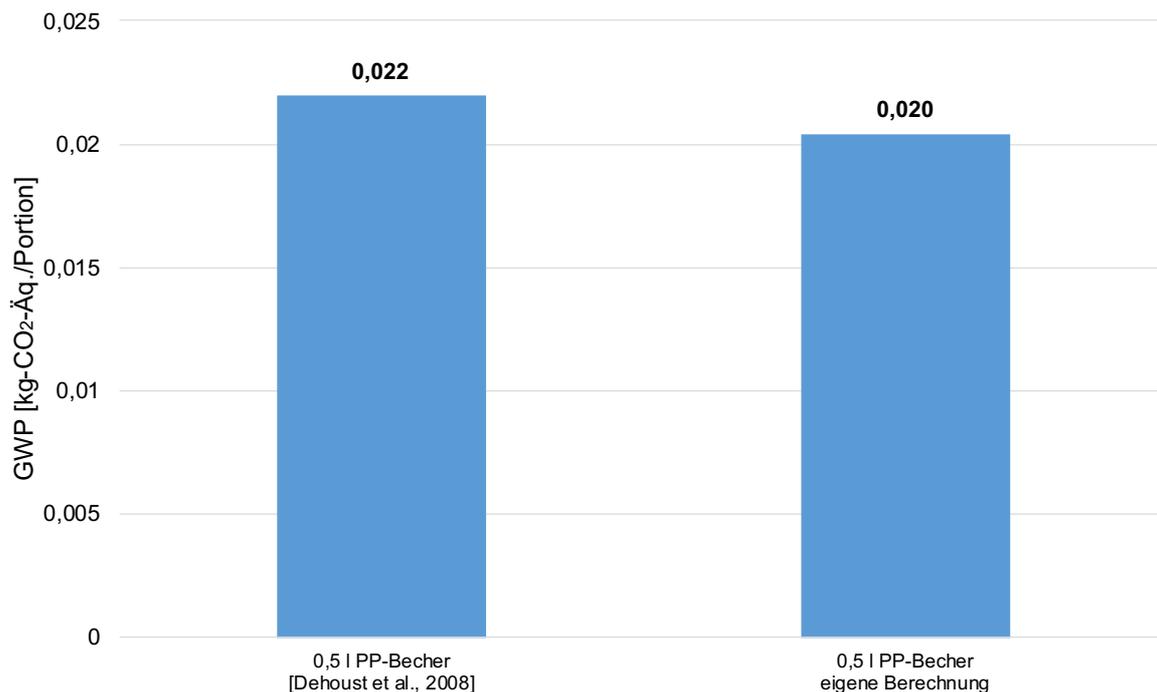


Abbildung 13: Vergleich der Ergebnisse eigener Berechnungen mit den Ergebnissen von Dehoust et al.

Bemerkung: Becher aus Polypropylen, 500 ml, 55 g schwer, 12 Umläufe, 200 km Entfernung vom Ort der Nutzung zum Ort der Spülung und zurück.

15.5 Normierung

Die Beurteilung der Wirkungsindikatorwerte (nachfolgend beispielhaft Treibhausgasemissionen, als kg CO₂-Äq./kg Geschirr – auf eine Erläuterung der Normierung von Wirkungsindikatorwerten anderer Wirkungskategorien wird an dieser Stelle verzichtet) soll zum besseren Verständnis und zur Einordnung der Ergebnisse in Bezug zu einem Wert gesetzt werden, der vom Leser bzw. den Nutzern des DSS besser eingeschätzt werden kann. Im vorliegenden Fall soll dies geschehen, indem die Ergebnisse ins Verhältnis zu den Treibhausgasemissionen gesetzt werden, die mit dem jährlichen Verbrauch an Elektroenergie eines durchschnittlichen 2-Personen-Haushalts in Deutschland verbunden sind (siehe Abbildung 14). Diese Treibhausgasemissionen werden als Personenäquivalente (PÄq.) ausgedrückt.

Ein 2-Personenhaushalt hatte 2021 (Werte für 2022 bis 2024 liegen noch nicht vor) im Mittel 3.470 kWh elektrische Energie verbraucht [Statistisches Bundesamt, 2023]. Eine Person hat demnach ca. 1.735 kWh elektrische Energie verbraucht – wahrscheinlich in etwa auch im Referenzjahr 2024. Der deutsche Strommix ist gemäß des ecoinvent-Datensatzes mit

Treibhausgasemissionen von 0,3927 g CO₂-Äq./kWh Strom verbunden. Ein Stromverbrauch von 1.735 kWh ist demnach mit Treibhausgasemissionen von etwa 681 kg CO₂-Äq./Person verbunden gewesen, was einem PÄq. entspricht. Die Nutzung von 100.000 Spitztüten entspricht demnach 0,3 PÄq. Dies entspricht den klimaschädlichen Emissionen, die eine Person in einem 2-Personen-Haushalt in 3,6 Monaten durch ihren Stromverbrauch verursacht.

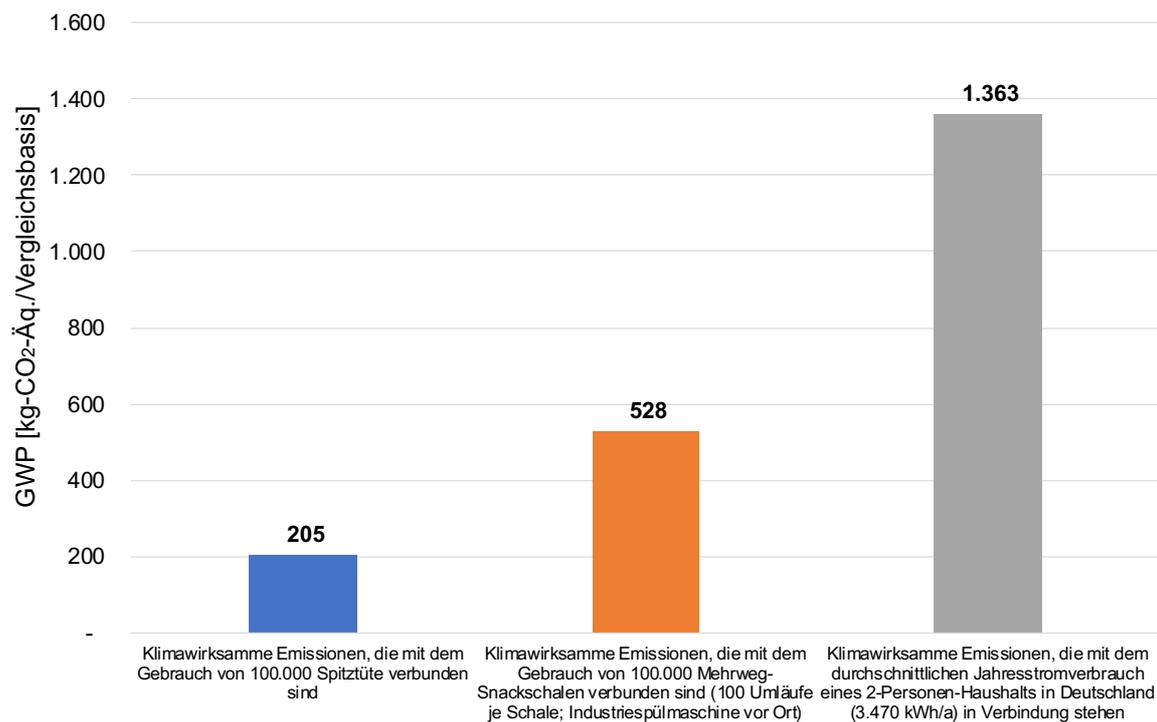


Abbildung 14: Vergleich der klimawirksamen Emissionen, die mit dem Gebrauch von 100.000 unbeschichteten Spitztüten aus Kraftpapier, 100.000 Snackschalen aus Polypropylen (für gleichgroße Portionen wie in der Spitztüte) mit den klimaschädlichen Emissionen, die durch den jährlichen Stromverbrauch (Strommix Deutschland) eines durchschnittlichen 2-Personenhaushalts entstehen. Quelle zum Stromverbrauch [Statistisches Bundesamt, 2023]

16 Datenquellen und Literatur

Aufgeführt sind auch Quellen, die im Rahmen der Berechnungen im DSS neben Datensätzen (siehe Abschnitt 17.1.1), Daten aus eigenen Erhebungen und Berechnungen usw. verwendet wurden.

Dehoust, G.; Dinkel, F.; Pladerer, C. (2008): Vergleichende Ökobilanz verschiedener Bechersysteme beim Getränkeausschank an Veranstaltungen. Wien, Basel, Darmstadt: Österreichisches Ökologie-Institut, Firma Carbotech AG, Öko-Institut e. V.. https://carbotech.ch/cms/wp-content/uploads/oekobilanz_bechersysteme.pdf. Letzter Datenabruf 30.12.2024

Dinkel, F. (2005): Ökologisch orientierte Geschirrwahl. https://carbotech.ch/cms/wp-content/uploads/Oekobilanz_Geschirrwahl_Carbotech2006.pdf. Letzter Datenabruf 30.12.2024

Dubrikow, K.-M.; Jaekel, U. D.; Schmidt-Räntsch, A.; Eggers, H.-H.; Kase, D. (2010): Leitfaden für die nachhaltige Organisation von Veranstaltungen. Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Berlin, Dessau, Eigenverlag.

Gallego-Schmid, A., Manuel, J., Mendoza, F., Azapagic, A. (2018): Improving the environmental sustainability of reusable food containers in Europe, Science of The Total Environment, Volumes 628–629, S. 979-989, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.128>.

Green Box (2025): Nachhaltige Mehrwegschale aus Lignocellulose-Bio-Compound. <https://www.biologischverpacken.de/mehrweg-schalen-merways-bowl-650-ml-oe-150-mm-pfeffer-grau/dfc00828>. Letzter Datenabruf 17.03.2025

Kauertz, Benedikt; Schlecht, Samuel; Markwardt, Stefanie (2019): Untersuchung der ökologischen Bedeutung von Einweggetränkebechern im Außer-HausVerzehr und mögliche Maßnahmen zur Verringerung des Verbrauchs. Unter Mitarbeit von Florian Knappe, Sahra Reischl und Gesa Pauer. Hrsg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Quelle: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-02-20_texte_29-2019_einweggetraenkebechern_im_ausser-haus-verzehr_final.pdf, letzter Datenabruf 14.03.2025

Lewis, Y.; Gower, A.; Notten, P. (2021): Single-Use Plastic Tableware and Its Alternatives – Recommendations from Life Cycle Assessments. United Nations Environment Programme. https://www.lifecycleinitiative.org/wp-content/uploads/2021/03/UNEP-D001-Tableware-Report_Lowres.pdf. Letzter Datenabruf 30.12.2024

LG (2025): Gewerbetrockner, GIANT- E_ Abluft, 10 kg, <https://www.wasch-und-buegeltechnik.de/de/trockner-lg-giant-tr10-ablufttrockner.html>. Letzter Datenabruf 14.03.2025

LG (2025): Gewerbewaschmaschine, Titan C LP, 16 kg, <https://www.wasch-und-buegeltechnik.de/de/waschmaschine-lg-titan.html>. Letzter Datenabruf 14.03.2025

Meiko (2025): Untertischspülmaschinen für Gläser, Geschirr und Utensilien 130.022.05.11.22/DE/digital, M-iClean UM, Quelle: <https://www.meiko.com/de-de/produkte/spuelmaschinen/untertischspuelmaschinen/m-iclean-u/technische-daten>.

Letzter Datenabruf 14.03.2025

Nanya (2025): Geschirrerstellungsmaschine, TF-10D, <https://de.pulpmolded.com/pulp-tableware-machine/automatic-tableware-machine/automatic-sugarcane-bagasse-tableware-making.html>. Letzter Datenabruf 17.03.2025

Pålsson, H.; Olsson, J. (2023): Current state and research directions for disposable versus reusable packaging: A systematic literature review of comparative studies. Packaging Technology and Science. <https://doi.org/10.1002/pts.2722>. Letzter Datenabruf 30.12.2024

Schmidt, A., Bick, C. & Kauertz, B. (2022): „Take-away ohne Müll“ – Ein Diskussionsbeitrag [aus dem Forschungsprojekt Innoredux]. Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg.

https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/Take_away_ohne_M%C3%BCll_Diskussionsbeitrag.pdf. Letzter Datenabruf 30.12.2024

Schwarz, T. (2014): Qualitative Umweltbewertung von komplexen Produkten. Österreichische Wasser und Abfallwirtschaft. Oktober 2014, S. 392-397 Springer-Verlag Wien. DOI 10.1007/s00506-014-0190-y

Searates by DP World (2023): Searates. Quelle: <https://www.searates.com/services/distances-time/>. Letzter Datenabruf 14.03.2025

Stamminger, Rainer (2004): Geschirrspülen in Europa. Hg. v. Aid infodienst Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz e.V. Online verfügbar unter https://www.forum-hausbau.de/data/aid_0604_spuelen_in_europa.pdf, letzter Datenabruf 14.03.2025

Statistisches Bundesamt (2023): Stromverbrauch der privaten Haushalte nach Haushaltsgrößenklassen. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/private-haushalte/Tabellen/stromverbrauch-haushalte.html>, Letzter Datenabruf 30.12.2024

17 Anhang

17.1 IPCC, AR5, Global Warming Potential Values



Global Warming Potential Values

The following table includes the 100-year time horizon global warming potentials (GWP) relative to CO₂. This table is adapted from the IPCC Fifth Assessment Report, 2014 (AR5)ⁱ. The AR5 values are the most recent, but the second assessment report (1995) and fourth assessment report (2007) values are also listed because they are sometimes used for inventory and reporting purposes. For more information, please see the IPCC website (www.ipcc.ch). The use of the latest (AR5) values is recommended. Please note that the GWP values provided here from the AR5 for non-CO₂ gases do not include climate-carbon feedbacks.

Global warming potential (GWP) values relative to CO₂

Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP values for 100-year time horizon		
		Second Assessment Report (SAR)	Fourth Assessment Report (AR4)	Fifth Assessment Report (AR5)
Carbon dioxide	CO ₂	1	1	1
Methane	CH ₄	21	25	28
Nitrous oxide	N ₂ O	310	298	265

Substances controlled by the Montreal Protocol

CFC-11	CCl ₃ F	3,800	4,750	4,660
CFC-12	CCl ₂ F ₂	8,100	10,900	10,200
CFC-13	CClF ₃		14,400	13,900
CFC-113	CCl ₂ FCClF ₂	4,800	6,130	5,820
CFC-114	CClF ₂ CClF ₂		10,000	8,590
CFC-115	CClF ₂ CF ₃		7,370	7,670
Halon-1301	CBrF ₃	5,400	7,140	6,290
Halon-1211	CBrClF ₂		1,890	1,750
Halon-2402	CBrF ₂ CBrF ₂		1,640	1,470
Carbon tetrachloride	CCl ₄	1,400	1,400	1,730
Methyl bromide	CH ₃ Br		5	2
Methyl chloroform	CH ₃ CCl ₃	100	146	160



GREENHOUSE
GAS PROTOCOL

Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP values for 100-year time horizon		
		Second assessment report (SAR)	Fourth Assessment Report (AR4)	Fifth Assessment Report (AR5)
HCFC-21	CHCl ₂ F			148
HCFC-22	CHClF ₂	1,500	1,810	1,760
HCFC-123	CHCl ₂ CF ₃	90	77	79
HCFC-124	CHClFCF ₃	470	609	527
HCFC-141b	CH ₃ CCl ₂ F	600	725	782
HCFC-142b	CH ₃ CClF ₂	1,800	2,310	1,980
HCFC-225ca	CHCl ₂ CF ₂ CF ₃		122	127
HCFC-225cb	CHClFCF ₂ CClF ₂		595	525
Hydrofluorocarbons (HFCs)				
HFC-23	CHF ₃	11,700	14,800	12,400
HFC-32	CH ₂ F ₂	650	675	677
HFC-41	CH ₃ F ₂	150		116
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	2,800	3,500	3,170
HFC-134	CHF ₂ CHF ₂	1000		1,120
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	1,300	1,430	1,300
HFC-143	CH ₂ FCHF ₂	300		328
HFC-143a	CH ₃ CF ₃	3,800	4,470	4,800
HFC-152	CH ₂ FCH ₂ F			16
HFC-152a	CH ₃ CHF ₂	140	124	138
HFC-161	CH ₃ CH ₂ F			4
HFC-227ea	CF ₃ CHFCF ₃	2,900	3,220	3,350
HFC-236cb	CH ₂ FCF ₂ CF ₃			1,210
HFC-236ea	CHF ₂ CHFCF ₃			1,330
HFC-236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	6,300	9,810	8,060
HFC-245ca	CH ₂ FCF ₂ CHF ₂	560		716
HFC-245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃		1,030	858
HFC-365mfc	CH ₃ CF ₂ CH ₂ CF ₃		794	804
HFC-43-10mee	CF ₃ CHFCFCF ₂ CF ₃	1,300	1,640	1,650



GREENHOUSE
GAS PROTOCOL

Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP values for 100-year time horizon		
		Second assessment report (SAR)	Fourth Assessment Report (AR4)	Fifth Assessment Report (AR5)
Perfluorinated compounds				
Sulfur hexafluoride	SF ₆	23,900	22,800	23,500
Nitrogen trifluoride	NF ₃		17,200	16,100
PFC-14	CF ₄	6,500	7,390	6,630
PFC-116	C ₂ F ₆	9,200	12,200	11,100
PFC-218	C ₃ F ₈	7,000	8,830	8,900
PFC-318	c-C ₄ F ₈	8,700	10,300	9,540
PFC-31-10	C ₄ F ₁₀	7,000	8,860	9,200
PFC-41-12	C ₅ F ₁₂	7,500	9,160	8,550
PFC-51-14	C ₆ F ₁₄	7,400	9,300	7,910
PCF-91-18	C ₁₀ F ₁₈		>7,500	7,190
Trifluoromethyl sulfur pentafluoride	SF ₅ CF ₃		17,700	17,400
Perfluorocyclopropane	c-C ₃ F ₆			9,200
Fluorinated ethers				
HFE-125	CHF ₂ OCF ₃		14,900	12,400
HFE-134	CHF ₂ OCHF ₂		6,320	5,560
HFE-143a	CH ₃ OCF ₃		756	523
HCFE-235da2	CHF ₂ OCHClCF ₃		350	491
HFE-245cb2	CH ₃ OCF ₂ CF ₃		708	654
HFE-245fa2	CHF ₂ OCH ₂ CF ₃		659	812
HFE-347mcc3	CH ₃ OCF ₂ CF ₂ CF ₃		575	530
HFE-347pcf2	CHF ₂ CF ₂ OCH ₂ CF ₃		580	889
HFE-356pcc3	CH ₃ OCF ₂ CF ₂ CHF ₂		110	413
HFE-449sl (HFE-7100)	C ₄ F ₉ OCH ₃		297	421
HFE-569sf2 (HFE-7200)	C ₄ F ₉ OCH ₂ H ₅		59	57
HFE-43-10pccc124 (H-Galden 1040x)	CHF ₂ OCF ₂ OC ₂ F ₄ OCHF ₂		1,870	2,820
HFE-236ca12 (HG-10)	CHF ₂ OCF ₂ OCHF ₂		2,800	5,350

Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP values for 100-year time horizon		
		Second assessment report (SAR)	Fourth Assessment Report (AR4)	Fifth Assessment Report (AR5)
HFE-338pcc13 (HG-01)	CHF ₂ OCF ₂ CF ₂ OCHF ₂		1,500	2,910
HFE-227ea	CF ₃ CHFOCF ₃			6,450
HFE-236ea2	CHF ₂ OCHF ₂ CF ₃			1,790
HFE-236fa	CF ₃ CH ₂ OCF ₃			979
HFE-245fa1	CHF ₂ CH ₂ OCF ₃			828
HFE 263fb2	CF ₃ CH ₂ OCH ₃			1
HFE-329mcc2	CHF ₂ CF ₂ OCF ₂ CF ₃			3,070
HFE-338mcf2	CF ₃ CH ₂ OCF ₂ CF ₃			929
HFE-347mcf2	CHF ₂ CH ₂ OCF ₂ CF ₃			854
HFE-356mec3	CH ₃ OCF ₂ CHFCF ₃			387
HFE-356pcf2	CHF ₂ CH ₂ OCF ₂ CHF ₂			719
HFE-356pcf3	CHF ₂ OCH ₂ CF ₂ CHF ₂			446
HFE 365mcf3	CF ₃ CF ₂ CH ₂ OCH ₃			<1
HFE-374pc2	CHF ₂ CF ₂ OCH ₂ CH ₃			627
Perfluoropolyethers				
PPFMIE	CF ₃ OCF(CF ₃)CF ₂ OCF ₂ OCF ₃		10,300	9,710
Hydrocarbons and other compounds - direct effects				
Chloroform	CHCl ₃	4		16
Methylene chloride	CH ₂ Cl ₂	9	8.7	9
Methyl chloride	CH ₃ Cl		13	12
Halon-1201	CHBrF ₂			376

IPCC data sources for more information:

- AR4 values: https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html
- AR5 values: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf (p. 73-79)

ⁱ Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang, 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

17.1.1 Verwendete Datensätze

Tabelle 3: Im Rahmen der ökobilanziellen Untersuchungen verwendete Datensätze (Material)

Datensatz	Bezeichnung	Bezeichnung Datensatz Ecolivent	Link	Funktionelle Einheit (FE)	Methode	Datenbank- Version	Jahr	zeitlicher Geltungsbereich	geographischer Geltungsbereich	Beurteilung der:			GWP 100 (kg CO ₂ e/FE)	Eutrophierung Boden (mol N-Aq/FE)	Eutrophierung Früchweiser (kg P-Aq/FE)	photochemische Oxidantbildung (kg NBVOC-Aq/FE)	Versauerung (mol H-Aq/FE)	Energieerzeugung- verbrauch fossil (MJ/kWh pro FE)	Landverbrauch (soil quality index) d/m ² /years	Ressourcen- verbrauch Metalle/ Minerale (kg Sb-Aq/FE)	Wasserverbrauch (l/ world- Aq/m ² /FE)	IPCC 2021 GWP 100 (kg CO ₂ e/FE)
										TiR	TeR	GeR										
M1	PP Herstellung primär	polypropylene production, granulate	https://ecology.ecolivent.org/3.10/cutoff/dataset/5915/impact_assessment	kg	EF v3.1	3.10	2021	2011-2023	Europa	2	1	2	2,37E+00	1,47E-02	4,25E-04	1,28E-02	7,16E-03	7,55E+01	6,69E+00	2,14E-05	5,19E-01	2,37E+00
M2	PC Herstellung primär	polycarbonate production	https://ecology.ecolivent.org/3.10/cutoff/dataset/1121/documentation	kg	EF v3.1	3.10	2022	2016-2024	Europa	1	1	2	6,17E+00	4,53E-02	1,74E-03	2,50E-02	2,41E-02	1,26E+02	1,82E+01	6,68E-05	1,46E+00	6,17E+00
M3	PS Herstellung primär	polystyrene, general purpose	https://ecology.ecolivent.org/3.10/cutoff/dataset/1505/documentation	kg	EF v3.1	3.10	2011	2001-2023	Europa	4	1	2	3,65E+00	2,28E-02	3,46E-05	9,62E-03	1,36E-02	8,29E+01	4,97E-02	4,79E-07	2,27E+00	3,65E+00
M4	SAN Herstellung primär	styrene-acrylonitrile copolymer	https://ecology.ecolivent.org/3.10/cutoff/dataset/2798/documentation	kg	EF v3.1	3.10	2011	1996-2023	Europa	4	1	2	4,22E+00	1,96E-02	1,89E-04	9,57E-03	1,05E-02	8,97E+01	5,59E-01	2,25E-06	2,24E+00	4,22E+00
M5	PE- Folien Herstellung	packaging film production, low density polyethylene	https://ecology.ecolivent.org/3.10/cutoff/dataset/2968/documentation	kg	EF v3.1	3.10	2011	1993-2023	Europa	4	2	2	3,69E+00	2,90E-02	9,81E-04	1,84E-02	1,38E-02	9,14E+01	1,61E+01	2,38E-05	1,99E+00	3,69E+00
M6	Bi-Kunststoff aus Stärke Herstellung primär	polyester-complexed starch biopolymer production	https://ecology.ecolivent.org/3.10/cutoff/dataset/5894/documentation	kg	EF v3.1	3.10	2011	2000-2023	Europa	4	1	2	1,73E+00	2,61E-02	6,61E-04	8,91E-03	1,16E-02	4,45E+01	3,58E+01	1,71E-05	1,68E+00	1,73E+00
M7	Melamin	melamine production	https://ecology.ecolivent.org/3.10/cutoff/dataset/1678/documentation	kg	EF v3.1	3.10	2017	2000-2023	Europa	3	2	2	4,59E+00	7,24E-02	7,78E-04	1,55E-02	2,35E-02	1,01E+02	9,84E+00	4,96E-05	1,11E+01	4,59E+00
M8	PET Herstellung primär	polyethylene terephthalate production, granulate, bottle grade	https://ecology.ecolivent.org/3.10/cutoff/dataset/8807/impact_assessment	kg	EF v3.1	3.10	2021	1015-2023	Europa	2	1	2	3,26E+00	2,42E-02	7,81E-04	1,39E-02	1,36E-02	7,48E+01	9,61E+00	3,75E-04	9,34E+01	3,26E+00
M9	PLA Herstellung primär	polylactic acid production, granulate	https://ecology.ecolivent.org/3.10/cutoff/dataset/4137/documentation	kg	EF v3.1	3.10	2012	2006-2023	Global	4	1	3	3,12E+00	6,21E-02	1,22E-03	1,24E-02	1,98E-02	3,74E+01	1,02E+02	2,09E-05	5,43E+00	3,12E+00
M10	Kunststoff mit 30% Glasfaseranteil	glass fibre reinforced plastic production, polyamide, injection moulded	https://ecology.ecolivent.org/3.10/cutoff/dataset/5583/documentation	kg	EF v3.1	3.10	2022	2000-2023	Europa	1	1	2	8,52E+00	5,70E-02	6,31E-04	2,08E-02	3,53E-02	1,31E+02	7,81E+00	2,03E-05	8,89E+00	8,52E+00
M11	Kraftpapier	kraft paper production	https://ecology.ecolivent.org/3.10/cutoff/dataset/2318/documentation	kg	EF v3.1	3.10	2023	2018-2023	Europa	1	1	2	6,62E-01	1,45E-02	1,25E-03	4,55E-03	4,62E-03	1,02E+01	1,88E+02	2,82E-06	5,68E-01	6,62E-01
M12	Serviette	tissue paper production, virgin	https://ecology.ecolivent.org/3.10/cutoff/dataset/2117/documentation	kg	EF v3.1	3.10	2012	1998-2023	Global	4	2	2	3,99E+00	4,93E-02	2,42E-03	1,44E-02	3,17E-02	4,28E+01	1,44E+02	8,24E-06	2,21E+00	3,99E+00
M13	Serviette rec.	tissue paper production	https://ecology.ecolivent.org/3.10/cutoff/dataset/8324/documentation	kg	EF v3.1	3.10	2020	2000-2023	Europa	2	1	2	1,60E+00	1,72E-02	1,06E-03	4,58E-03	7,27E-03	2,27E+01	2,31E+01	5,57E-06	1,22E+00	1,60E+00
M14	Pergamentersatzpapier	paper production, woodcontaining, supercalendered	https://ecology.ecolivent.org/3.10/cutoff/dataset/4176/impact_assessment	kg	EF v3.1	3.10	2020	2000-2023	Europa	2	2	2	1,04E+00	1,39E-02	7,79E-04	4,43E-03	6,33E-03	1,93E+01	1,21E+02	5,15E-06	1,15E+00	1,04E+00
M15	Glas	packaging glass production, white	https://ecology.ecolivent.org/3.10/cutoff/dataset/5753/documentation	kg	EF v3.1	3.10	2013	1996-2023	Deutschland	4	1	1	5,86E-01	7,10E-03	1,45E-04	2,22E-03	2,92E-03	7,60E+00	7,29E+00	4,04E-06	1,13E-01	5,86E-01
M16	Keramik	sanitary ceramics production	https://ecology.ecolivent.org/3.10/cutoff/dataset/2418/documentation	kg	EF v3.1	3.10	2011	1998-2023	Schweiz	4	2	3	9,86E-01	8,00E-03	1,19E-04	2,90E-03	2,82E-03	1,52E+01	6,65E+00	1,46E-05	5,88E-01	9,86E-01
M17	Bambus	flattened bamboo production	https://ecology.ecolivent.org/3.10/cutoff/dataset/2508/documentation	kg	EF v3.1	3.10	2023	210-2023	China	1	2	2	6,26E-01	9,95E-03	1,94E-04	3,23E-03	4,36E-03	5,55E+00	2,64E+01	1,53E-05	1,54E-01	6,26E-01
M18	Keks/Waffel	breadcrumbs production	https://ecology.ecolivent.org/3.10/cutoff/dataset/20281/documentation	kg	EF v3.1	3.10	2018	2011-2023	Europa	3	3	2	1,07E+00	5,55E-02	1,88E-03	3,91E-03	1,34E-02	7,94E+00	1,54E+02	6,16E-06	9,39E+00	1,07E+00

Fortsetzung Tabelle 3: Im Rahmen der ökobilanziellen Untersuchungen verwendete Datensätze (Material)

Datensatz	Bezeichnung	Bezeichnung Datensatz Ecoinvent	Link	Funktionelle Einheit (FE)	Methode	Datenbank- Version	Jahr	zeitlicher Geltungsbereich	geographischer Geltungsbereich	Beurteilung der:			GWP 100 [kg CO ₂ e/FE]	Eutrophierung Boden [mol N-Aq./FE]	Eutrophierung Früchwasser [kg P-Aq./FE]	photochemische Oxidantbildung [kg NMVOC-Aq./FE]	Versauerung [mol H-Aq./FE]	Energieressourcen- verbrauch fossil [MJ _{th} -Aq./FE]	Lebensqualität [soil quality index] dimensionless	Ressourcen- verbrauch Metalle [kg Sb-Aq./FE]	Wasserverbrauch [m ³ world- Aq.deprived/FE]	POC 2021 GWP-100 [kg CO ₂ e-Aq./FE]			
										TiR	TeR	GeR													
M19	Saat-Baumwollproduktion, konventionell	seed-cotton production, conventional	https://ecoinvent.org/3.10/cutoff/dataset/196/42/impact_assessment	kg	EF v3.1	3.10	2023	2016-2023	Rest der Welt	1	1	2	9,96E-01	8,91E-02	9,39E-04	3,35E-03	2,10E-02	5,48E+00	9,74E+01	6,44E-06	1,55E+01	9,96E-01			
M20	Faserproduktion, Baumwolle, Entkörnung	fbre production, cotton, ginning	https://ecoinvent.org/3.10/cutoff/dataset/217/46/documentation	kg	EF v3.1	3.10	2019	2016-2023	Rest der Welt	2	1	2	2,17E+00	1,87E-01	2,01E-03	7,28E-03	4,43E-02	1,27E+01	2,03E+02	1,35E-05	3,23E+01	2,17E+00			
M21	Garnproduktion, Baumwolle, Open-End- Spinnerei	yarn production, cotton, open end spinning	https://ecoinvent.org/3.10/cutoff/dataset/219/44/documentation	kg	EF v3.1	3.10	2021	2015-2023	Rest der Welt	3	1	2	5,54E+00	4,05E-01	5,07E-03	2,09E-02	9,87E-02	4,49E+01	3,15E+02	3,07E-05	2,00E+02	5,54E+00			
M22	Textilproduktion, Baumwolle, Weberei	textile production, cotton, weaving	https://ecoinvent.org/3.10/cutoff/dataset/211/46/documentation	kg	EF v3.1	3.10	2019	2016-2023	Rest der Welt	2	1	2	1,09E+01	5,20E-01	8,10E-03	3,78E-02	1,37E-01	1,05E+02	3,86E+02	4,55E-05	2,38E+02	1,09E+01			
M23	Zuckerrohr Anbau	sugarcane production	https://ecoinvent.org/3.10/cutoff/dataset/890/46/documentation	kg	EF v3.1	3.10	2020	1996-2023	Rest der Welt	2	1	2	1,01E-01	3,63E-03	8,98E-06	8,37E-05	8,55E-04	2,09E-01	8,15E+00	2,89E-07	1,08E+00	1,01E-01			
M24	Bagasse Herstellung	sugarcane processing, traditional annexed plant	https://ecoinvent.org/3.10/cutoff/dataset/201/46/documentation	kg	EF v3.1	3.10	2019	2012-2023	Rest der Welt	2	1	2	2,16E-02	1,26E-03	6,58E-06	1,00E-04	2,93E-04	1,03E-01	1,97E+00	9,51E-08	1,89E-01	2,16E-02			
M25	Edelstahl	steel production, electric, chromium steel 199	https://ecoinvent.org/3.10/cutoff/dataset/148/2/impact_assessment	kg	EF v3.1	3.10	2021	2013-2023	Europa	1	1	2	4,74E+00	4,93E-02	1,62E-03	1,55E-02	2,64E-02	5,40E+01	2,52E+01	1,26E-04	1,28E+00	4,74E+00			
M26	Epoxidharzproduktion	epoxy resin production, liquid	https://ecoinvent.org/3.10/cutoff/dataset/248/73/documentation	kg	EF v3.1	3.10	2023	2015-2023	Rest der World	1	2	3	6,28E+00	5,07E-02	1,66E-03	2,41E-02	6,85E-05	1,14E+02	1,84E+01	6,85E-05	1,45E+00	6,28E+00			
M27	Laubholzforstwirtschaft, Buche, nachhaltige Waldbewirtschaftung	hardwood forestry, beech, sustainable forest management	https://ecoinvent.org/3.10/cutoff/dataset/133/41/documentation	m3	EF v3.1	3.10	2021	2010-2023	Deutschland	2	1	1	1,46E+01	2,54E-01	1,22E-02	2,85E-01	6,45E-02	1,93E+02	6,12E+04	3,57E-05	4,59E+00	1,46E+01			
M28	Laubholzforstwirtschaft, Buche, nachhaltige Waldbewirtschaftung	hardwood forestry, beech, sustainable forest management	https://ecoinvent.org/3.10/cutoff/dataset/113/41/documentation	kg	EF v3.1	3.10	2021	2010-2023	Deutschland	1	1	1	2,35E-02	4,10E-04	1,97E-05	4,60E-04	1,04E-04	3,11E-01	9,87E+01	5,76E-08	7,40E-03	2,35E-02			
Mittelwert Beurteilung										2	1	2													
TiR: Zeitliche Repräsentativität																									
TeR: Technische Repräsentativität																									
GeR: Geographische Repräsentativität																									

Tabelle 4: Im Rahmen der ökobilanziellen Untersuchungen verwendete Datensätze (Sonstiges)

Datensatz	Bezeichnung	Bezeichnung Datensatz Ecoinvent	Link	Funktionelle Einheit (FE)	Methode	Datenbank- Version	Jahr	zeitlicher Geltungsbereich	geographischer Geltungsbereich	Beurteilung der:			GWP 100 (kg CO ₂ -Äq./FE)	Eutrophierung Boden (mol N-Äq./FE)	Eutrophierung Früschwasser (kg P-Äq./FE)	Abiochemische Oxidation (kg MMVOC-Äq./FE)	Versauerung (mol H ⁺ -Äq./FE)	Energieressourcen- verbrauch (MJnet/Var) pro FE	Landnutzungs- index (kg CO ₂ -Äq./FE)	Ressourcen- verbrauch Metalle Mineralien (kg Sb-Äq./FE)	Wasserverbrauch (l/ world Äq.dipr/nd/FE)	IPCC 2021 GWP 100 (kg CO ₂ -Äq./FE)			
										TiR	TeR	GeR													
D1	Seife	soap production	https://ecoinvent.org/3.10/cutoff/dataset/7025/documentation	kg	EF v3.1	3.10	2017	1992-2023	Europa	3	2	2	2,36E+00	4,78E-02	4,13E-04	6,45E-03	1,29E-02	1,05E+01	1,06E+02	1,90E-05	5,38E+00	2,36E+00			
D2	Abwasser	treatment of wastewater, average, wastewater treatment	https://ecoinvent.org/3.10/cutoff/dataset/2558/documentation	m ³	EF v3.1	3.10	2023	2010-2023	Europa ohne Schweiz	1	1	2	3,35E-01	5,56E-03	1,29E-03	1,09E-03	1,74E-03	3,83E+00	1,75E+00	1,64E-06	1,63E-01	3,35E-01			
D3	Frischwasser Europa	tap water production, conventional treatment	https://ecoinvent.org/3.10/cutoff/dataset/11775/documentation	kg	EF v3.1	3.10	2021	2012-2023	Europa ohne Schweiz	2	1	2	2,18E-04	1,87E-06	1,63E-07	6,37E-07	1,42E-06	4,50E-03	1,04E-03	1,42E-09	1,69E-04	2,18E-04			
D4	Strom (Strommix DE); ecoinvent	market for electricity, low voltage, DE	https://ecoinvent.org/3.10/cutoff/dataset/5468/documentation	kWh	EF v3.1	3.10	2023	2020-2023	Deutschland	1	1	1	3,93E-01	2,14E-03	5,32E-04	6,90E-04	1,13E-03	6,10E+00	1,73E+00	4,96E-06	1,01E-01	3,93E-01			
D5	Thermoformung, mit Kalendrieren	thermoforming, with calendaring	https://ecoinvent.org/3.10/cutoff/dataset/5944/documentation	kg	EF v3.1	3.10	2023	1993-2023	Europa	1	2	2	5,60E-01	4,61E-03	3,64E-04	1,78E-03	2,53E-03	1,16E+01	9,53E+00	1,88E-06	1,97E+00	5,60E-01			
D6	Strom (Strommix China); ecoinvent	market group for electricity, low voltage	https://ecoinvent.org/3.10/cutoff/dataset/3484/impact_assessment	kwh	EF v3.1	3.10	2019	2015-2023	China	1	1	1	9,62E-01	1,16E-02	1,92E-04	3,10E-03	5,31E-03	9,35E+00	2,17E+00	4,04E-06	1,15E-01	9,62E-01			
D7	Frischwasser Rest der Welt	tap water production, conventional treatment	https://ecoinvent.org/3.10/cutoff/dataset/10674/documentation	kg	EF v3.1	3.10	2021	2012-2023	Rest der World	2	1	3	4,40E-04	4,60E-06	1,52E-07	1,38E-06	2,41E-06	5,27E-03	1,13E-03	2,61E-09	1,25E-04	4,40E-04			
D8	Strom und Wärme aus Erdgas im 100 MW Kraftwerk	heat and power co-generation, natural gas, conventional power plant, 100MW electrical	https://ecoinvent.org/3.10/cutoff/dataset/3395/documentation	MJ	EF v3.1	3.10	2023	1990-2023	Rest der World	1	1	3	3,45E-02	1,36E-04	5,70E-07	8,74E-05	3,55E-05	5,61E-01	1,20E-02	2,50E-08	2,60E-03	3,45E-02			
D9	Herstellung/ Holzprodukte; WPC	oriented strand board	https://ecoinvent.org/3.10/cutoff/dataset/5587/documentation	kg	EF v3.1	3.10	2019	2012-2023	Europa	2	3	2	3,92E-01	1,16E-02	1,78E-04	4,09E-03	3,21E-03	8,20E+00	1,71E+02	2,64E-06	1,24E-01	2,38E+00			
D10	Containerschiff	transport, freight, sea, container ship	https://ecoinvent.org/3.10/cutoff/dataset/21616/documentation	Mg km ⁻¹	EF v3.1	3.10	2018	2007-2023	Global	3	1	2	1,02E-02	8,32E-04	3,24E-07	2,25E-04	3,01E-04	1,25E-01	9,65E-03	1,00E-08	3,42E-04	1,02E-02			
D11	Anlieferung des Geschirrs	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6	https://ecoinvent.org/3.10/cutoff/dataset/10979/impact_assessment	Mg km ⁻¹	EF v3.1	3.10	2019	2009-2023	Europa	2	1	2	5,71E-01	2,73E-03	4,55E-05	1,83E-03	1,15E-03	7,94E+00	3,33E+00	2,54E-06	4,49E-02	5,71E-01			
D12	LKW Transport >32 Tonnen	transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6	https://ecoinvent.org/3.10/cutoff/dataset/11457/documentation	Mg km ⁻¹	EF v3.1	3.10	2022	209-2023	Europa	1	1	2	1,04E-01	6,94E-04	7,29E-06	4,25E-04	2,45E-04	1,55E+00	1,56E+00	2,97E-07	7,81E-03	1,04E-01			
D13	Hausmüllverbrennung	treatment of municipal solid waste, municipal incineration - DE - municipal solid waste	https://ecoinvent.org/3.10/cutoff/dataset/30466/ncat	kg	EF v3.1	3.10	2023	2006-2023	Deutschland	1	1	1	5,19E-01	1,37E-03	4,45E-05	3,62E-04	2,91E-04	3,53E-01	1,88E-01	1,03E-07	6,83E-02	5,19E-01			
D14	Strom und Wärme aus Erdgas im 100 MW Kraftwerk	heat and power co-generation, natural gas, conventional power plant, 100MW electrical	https://ecoinvent.org/3.10/cutoff/dataset/12938/documentation	MJ	EF v3.1	3.10	2023	1990-2023	Deutschland	1	2	1	3,10E-02	1,09E-04	4,72E-07	6,79E-05	2,47E-05	4,93E-01	1,06E-02	1,84E-08	2,15E-03	3,10E-02			
D15	Fahrrad Produktion	bicycle production	https://ecoinvent.org/3.10/cutoff/dataset/2923/documentation	Stk.	EF v3.1	3.10	2023	2000-2023	Europa	1	1	1	1,49E+02	1,55E+00	4,71E-02	5,14E-01	8,83E-01	1,62E+03	3,62E+02	7,34E-04	4,16E+01	1,49E+02			
Mittelwert Beurteilung										2	1	2													
TiR: Zeitliche Repräsentativität																									
TeR: Technische Repräsentativität																									
GeR: Geographische Repräsentativität																									