



Abschlussbericht
(06/02/2018)

**Carbon Footprint
von Verpackungssystemen für
Obst- und Gemüsetransporte in
Europa**

Im Auftrag der

**Stiftung
Initiative
Mehrweg**



Fraunhofer
IBP

Titel der Studie: **Carbon Footprint von Verpackungssystemen für
Obst- und Gemüsetransporte in Europa**

Kunde: **Stiftung Initiative Mehrweg**

Geschäftsstelle

Ansprechpartnerin:

Martina Gehrmann

Geschäftsführerin und Syndikusanwältin



Kurfürstendamm 217

10719 Berlin

Germany

Phone: +49 (0)30 3300 838 50

E-Mail: m.gehrmann@stiftung-mehrweg.de

Datum: **06. Februar 2018**

Autoren:

Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi)

Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP)



Dipl. oec. Hannes Krieg

Dipl.-Ing. Florian Gehring

Dipl.-Ing. Matthias Fischer

Dr.-Ing. Stefan Albrecht

Wankelstraße 5

70563 Stuttgart

Telefon +49 (0) 711 970 3174

Fax +49 (0) 711 970 3190

E-Mail hannes.krieg@ibp.fraunhofer.de

Internet www.ibp.fraunhofer.de

Bildquelle:

Alle Bilder der Titelseite von Isabel Schestak
© Isabel Schestak

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	2
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	4
TABELLENVERZEICHNIS	5
KURZFASSUNG	6
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	8
GLOSSAR	9
1. EINFÜHRUNG UND ZIEL DER STUDIE	10
2. UNTERSUCHUNGSRAHMEN	11
2.1 PRODUKTSYSTEME	11
2.2 PRODUKTFUNKTION UND FUNKTIONELLE EINHEIT	13
2.3 SYSTEMGRENZE	14
2.4 ALLOKATIONSVERFAHREN	15
2.5 ABSCHNEIDEKRITERIEN	15
2.6 AUSWAHL DES TREIBHAUSPOTENTIALS (GWP) ALS UMWELTWIRKUNGSKATEGORIE	15
2.7 LIMITIERUNGEN DER STUDIE	16
2.8 ANFORDERUNGEN AN DIE DATENQUALITÄT	16
2.9 ART UND FORMAT DES BERICHTES	17
2.10 SOFTWARE UND DATENBANK	17
2.11 KRITISCHE PRÜFUNG	17
3. SACHBILANZ	17
<i>Referenzbehälter</i>	18
3.1 HERSTELLUNG DER BEHÄLTER	19
<i>Wiederverwendbarer Kunststoffbehälter (RPC)</i>	19
<i>Einweg-Kartonbehälter (CB)</i>	20
3.2 NUTZUNG DER BEHÄLTER	21
<i>Transportrouten, -distanzen und -mengen und Euroklassen</i>	21
<i>Inspektion und Reinigung der wiederverwendbaren Kunststoffbehälter</i>	24
3.3 LEBENSENDE DER BEHÄLTER	25
<i>Stoffliche Verwertung</i>	25
<i>Energetische Verwertung</i>	26
<i>Angenommene Verteilungsquote</i>	26
4. ERGEBNISSE	27
4.1 LEBENSZYKLUS MEHRWEG-KUNSTSTOFFBEHÄLTER (RPC)	27
4.2 LEBENSZYKLUS EINWEG-KARTONBEHÄLTER (CB)	28
5. INTERPRETATION	30
5.1 VERGLEICH DER SYSTEME	30
5.2 SENSITIVITÄTSANALYSE	32
5.2.1 HERSTELLUNG	34
<i>Anteil des verwendeten Primärgranulats bei der Herstellung von RPC (Parametervariation 3a/3b)</i>	34
5.2.2 NUTZUNG UND TRANSPORT	34
<i>Umläufe RPC (Parametervariation 4a/4b)</i>	34
<i>Transportdistanz Lebensmittelproduzent zu Distributionszentrum (RPC & CB; Parametervariation 5a/5b)</i>	35

5.2.3	LEBENSENDE	36
	<i>Stoffliche Verwertung der RPC (Parametervariation 8a/8b)</i>	<i>36</i>
5.3	BREAK-EVEN-ANALYSE	37
6.	FAZIT	38
	LITERATUR	40
	ANHANG	42
A1 –	SENSITIVITÄTSANALYSE	42
	<i>Transportdistanz Holzanbau zur Zellstoffproduktion (Parametervariation 1a/1b)</i>	<i>42</i>
	<i>Entfernung RPC-Herstellung – Lebensmittelproduzent (Parametervariation 2a/2b)</i>	<i>42</i>
	<i>Transportdistanz Distributionszentrum zu Einzelhandel (RPC & CB; Parametervariation 6a/6b)</i>	<i>43</i>
	<i>BHKW zur Energieerzeugung bei der Reinigung (Parametervariation 7)</i>	<i>43</i>
	<i>Stoffliche Verwertung der CB (Parametervariation 9a/9b)</i>	<i>44</i>
	<i>Gutschrift für thermische Energie (Parametervariation 10)</i>	<i>45</i>
A2 –	BIOGENE CO ₂ -BILANZ	46
A3 –	KOHLENSTOFFKREISLAUF	48
A4 –	TREIBHAUSPOTENTIAL ALS WIRKKATEGORIE	49
A5 –	ERGEBNISSE JE TRANSPORTUMLAUF	50
A6 –	ERGEBNISSE JE BELADENEM LKW	51
A7 –	ERGEBNISSE DER SACHBILANZ IM BASISFALL	52
A8 –	DOKUMENTATION DER HINTERGRUNDDATEN	53
	<i>Treibstoffe und Energie</i>	<i>53</i>
	<i>Rohstoffe und Prozesse</i>	<i>53</i>
	<i>Transporte</i>	<i>54</i>
A9 –	PRÜFBERICHT DER KRITISCHEN PRÜFUNG	56

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1:	SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER JEWELIGEN LEBENSZYKLEN DER BETRACHTETEN VERPACKUNGSSYSTEME.....	6
ABBILDUNG 2:	GEGENÜBERSTELLUNG DER TREIBHAUSGASEMISSIONEN VON RPC UND CB	7
ABBILDUNG 3:	SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER JEWELIGEN LEBENSZYKLEN DER BETRACHTETEN VERPACKUNGSSYSTEME.....	11
ABBILDUNG 4:	SYSTEMGRENZEN UND UMLAUFAZAHLEN BEIDER VERPACKUNGSSYSTEME (IN STÜCK).....	14
ABBILDUNG 5:	WIEDERVERWENDBARER KUNSTSTOFFBEHÄLTER [7], [16].....	19
ABBILDUNG 6:	ABLAUF DER HERSTELLUNG DER WIEDERVERWENDBAREN KUNSTSTOFFBEHÄLTER	19
ABBILDUNG 7:	EINWEG-KARTONBEHÄLTER [13]	20
ABBILDUNG 8:	ABLAUF DER HERSTELLUNG DER EINWEG-KARTONBEHÄLTER	20
ABBILDUNG 9:	TRANSPORTROUTEN DER ZWEI VERPACKUNGSSYSTEME	21
ABBILDUNG 10:	INSPEKTION UND REINIGUNG DER RPC IM SERVICEZENTRUM.....	24
ABBILDUNG 11:	LEBENSENDE DER BETRACHTETEN VERPACKUNGSSYSTEME.....	25
ABBILDUNG 12:	GEGENÜBERSTELLUNG DER TREIBHAUSGASEMISSIONEN VON RPC UND CB	30
ABBILDUNG 13:	PARAMETERVARIATION - RELATIVE ABWEICHUNG DER BEITRÄGE ZUM GWP VOM JEWELIGEN BASISFALL, SORTIERT NACH GRÖÖE DES EINFLUSSES	33
ABBILDUNG 14:	BREAK-EVEN-ANALYSE IN ABHÄNGIGKEIT DER RPC-ÜMLÄUFE	37
ABBILDUNG 15:	SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES BIOGENEN KOHLENSTOFFKREISLAUFES.....	48
ABBILDUNG 16:	ANTHROPOGENER TREIBHAUSEFFEKT [22].....	49
ABBILDUNG 17:	TREIBHAUSGASEMISSIONEN EINES DURCHSCHNITTlichen TRANSPORTÜMLAUFES.....	50
ABBILDUNG 18:	DURCHSCHNITTliche TREIBHAUSGASEMISSIONEN DER BETRACHTETEN VERPACKUNGSSYSTEME JE BELADENEN LKW	51

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1:	TECHNISCHE EIGENSCHAFTEN DER REFERENZBEHÄLTER	12
TABELLE 2:	BASISDATEN UND MODELLIERTE REFERENZBEHÄLTER AUS [8], [10], [15]	18
TABELLE 3:	DURCHSCHNITTliche TRANSPORTENTFERNUNGEN EINES DURCHSCHNITTlichen TRANSPORTUMLAUFES DER BEIDEN VERPACKUNGSSYSTEME IN DEUTSCHLAND, SPANIEN, ITALIEN, FRANKREICH UND DEN NIEDERLANDEN	22
TABELLE 4:	EURO-KLASSEN MIX DER VERWENDETEN LKW FÜR BEIDE VERPACKUNGSSYSTEME	23
TABELLE 5:	BELADUNG VON LKW MIT 27 T UND 17,3 T NUTZLAST.....	23
TABELLE 6:	TREIBHAUSGASEMISSIONEN DES MEHRWEGSYSTEMS ÜBER DEN GESAMTEN LEBENSZYKLUS.....	27
TABELLE 7:	DETAILLIERTE DARSTELLUNG DER TREIBHAUSGASEMISSIONEN DES MEHRWEGSYSTEMS.....	27
TABELLE 8:	TREIBHAUSGASEMISSIONEN DES EINWEGSYSTEMS ÜBER DEN GESAMTEN LEBENSZYKLUS.....	28
TABELLE 9:	DETAILLIERTE DARSTELLUNG DER TREIBHAUSGASEMISSIONEN DES EINWEGSYSTEMS.....	29
TABELLE 10:	VERGLEICH VON RPC UND CB ÜBER DEN LEBENSZYKLUS	31
TABELLE 11:	PARAMETERVARIATIONEN	32
TABELLE 12:	AUSWIRKUNGEN VON PARAMETERVARIATION 3A & 3B DER RPC IM VERGLEICH ZUM BASISFALL	34
TABELLE 13:	AUSWIRKUNGEN VON PARAMETERVARIATION 4A & 4B DER RPC IM VERGLEICH ZUM BASISFALL	34
TABELLE 14:	AUSWIRKUNGEN VON PARAMETERVARIATION 5A & 5B DER RPC IM VERGLEICH ZUM BASISFALL	35
TABELLE 15:	AUSWIRKUNGEN VON PARAMETERVARIATION 5A & 5B DER CB IM VERGLEICH ZUM BASISFALL	35
TABELLE 16:	AUSWIRKUNGEN VON PARAMETERVARIATION 8A & 8B DER RPC IM VERGLEICH ZUM BASISFALL	36
TABELLE 17:	TRANSPORTENTFERNUNGEN BEI DER HERSTELLUNG VON SCF UND KL IN ANLEHNUNG AN [11].....	42
TABELLE 18:	AUSWIRKUNGEN VON PARAMETERVARIATION 1A & 1B DER CB IM VERGLEICH ZUM BASISFALL	42
TABELLE 19:	AUSWIRKUNGEN VON PARAMETERVARIATION 2A & 2B DER RPC IM VERGLEICH ZUM BASISFALL	42
TABELLE 20:	AUSWIRKUNGEN VON PARAMETERVARIATION 6A & 6B DER RPC IM VERGLEICH ZUM BASISFALL	43
TABELLE 21:	AUSWIRKUNGEN VON PARAMETERVARIATION 6A & 6B DER CB IM VERGLEICH ZUM BASISFALL	43
TABELLE 22:	AUSWIRKUNGEN VON PARAMETERVARIATION 7 DER RPC IM VERGLEICH ZUM BASISFALL	43
TABELLE 23:	AUSWIRKUNGEN VON PARAMETERVARIATION 9A & 9B DER CB IM VERGLEICH ZUM BASISFALL	44
TABELLE 24:	AUSWIRKUNGEN VON PARAMETERVARIATION 8 DER RPC IM VERGLEICH ZUM BASISFALL.....	45
TABELLE 25:	AUSWIRKUNGEN VON PARAMETERVARIATION 8 DER CB IM VERGLEICH ZUM BASISFALL.....	45
TABELLE 26:	BIOGENE CO ₂ -BILANZ DES MEHRWEGSYSTEMS.....	46
TABELLE 27:	BIOGENE CO ₂ -BILANZ DES EINWEGSYSTEMS	47
TABELLE 28:	GWP (EXKL. BIOGENEM C) FÜR BEIDE VERPACKUNGSSYSTEME	47
TABELLE 29:	TREIBHAUSGASEMISSIONEN EINES DURCHSCHNITTlichen TRANSPORTUMLAUFES.....	50
TABELLE 30:	DURCHSCHNITTliche TREIBHAUSGASEMISSIONEN DER BETRACHTETEN VERPACKUNGSSYSTEME JE BELADENEM LKW	51
TABELLE 31:	MENGENMÄßIGE EMISSIONEN BEZOGEN AUF DIE FUNKTIONELLE EINHEIT DES BASISFALLS	52
TABELLE 32:	ENERGIE-DATENSÄTZE IN DER SACHBILANZ.....	53
TABELLE 33:	MATERIAL- UND PROZESS-DATENSÄTZE IN DER SACHBILANZ.....	54
TABELLE 34:	DATENSÄTZE ZU TRANSPORTMITTEL.....	55

Kurzfassung

Frisches Obst und Gemüse sind aus dem Einzelhandel nicht mehr wegzudenken. Die ganzjährige Bereitstellung bedingt dabei komplexe logistische Prozesse, bei denen größtenteils zwei unterschiedliche Verpackungssysteme eingesetzt werden: Mehrwegverpackungen aus Kunststoff (RPC) sowie Einwegverpackungen aus Kartonagen (CB).

Im Auftrag der Stiftung Initiative Mehrweg (SIM) erstellte das Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi), nach den Vorgaben der Normen ISO 14040 und ISO 14044 einen CO₂-Fußabdruck zur Quantifizierung der Treibhausgasemissionen des Lebensmitteltransportes der beiden Verpackungssysteme. Dadurch trägt die Studie zur Entscheidungsunterstützung von Marktteilnehmern bei und kann einen Beitrag zu betrieblichen Nachhaltigkeitsberichten (wie z.B. GRI oder GHG Protocol) leisten.

Betrachtet werden Herstellung, Nutzung und Lebensende beider Verpackungssysteme. Die jeweiligen Lebenszyklen werden analysiert und anschließend miteinander verglichen. Dabei werden die Treibhausgasemissionen auf Basis der tatsächlich von den Firmen EPS und IFCO erbrachten Transportleistung in Mehrwegverpackungen einer identischen Transportleistung in Einwegverpackungen gegenübergestellt. Grundlage für den Vergleich ist der Transport von 1.000 t Obst oder Gemüse in den betrachteten Ländern Deutschland, Frankreich, Italien, den Niederlanden sowie Spanien. Abbildung 1 stellt die zu Grunde liegenden Lebenszyklen der betrachteten Verpackungssysteme schematisch dar. Während beim Einwegsystem für jeden Transportvorgang eine neue Kiste gefertigt werden muss, werden im Mehrwegsystem die Kisten nach Inspektion und Reinigung annahmegemäß 50-mal wiederverwendet.

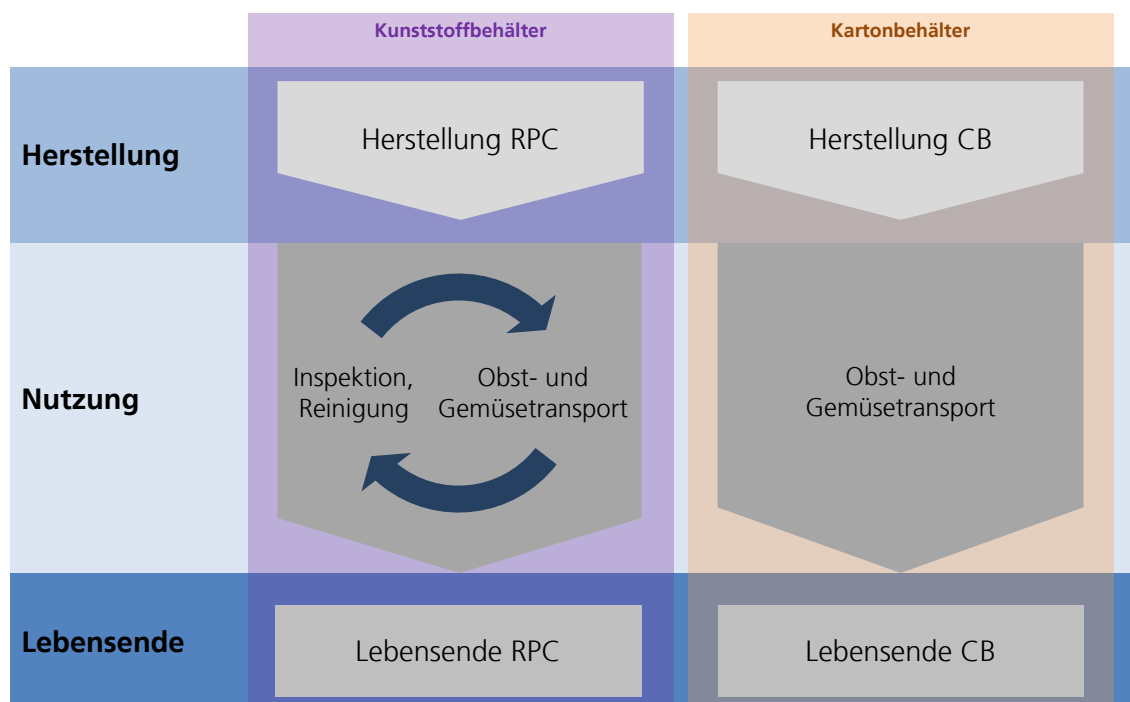


Abbildung 1: Schematische Darstellung der jeweiligen Lebenszyklen der betrachteten Verpackungssysteme

Es zeigt sich, dass die Treibhausgasemissionen für die Erbringung der definierten Transportleistung bei Verwendung des Mehrwegsystems um rund 60 % unter den Treibhausgasemissionen des Einwegsystems liegen, wie in Abbildung 2 dargestellt.

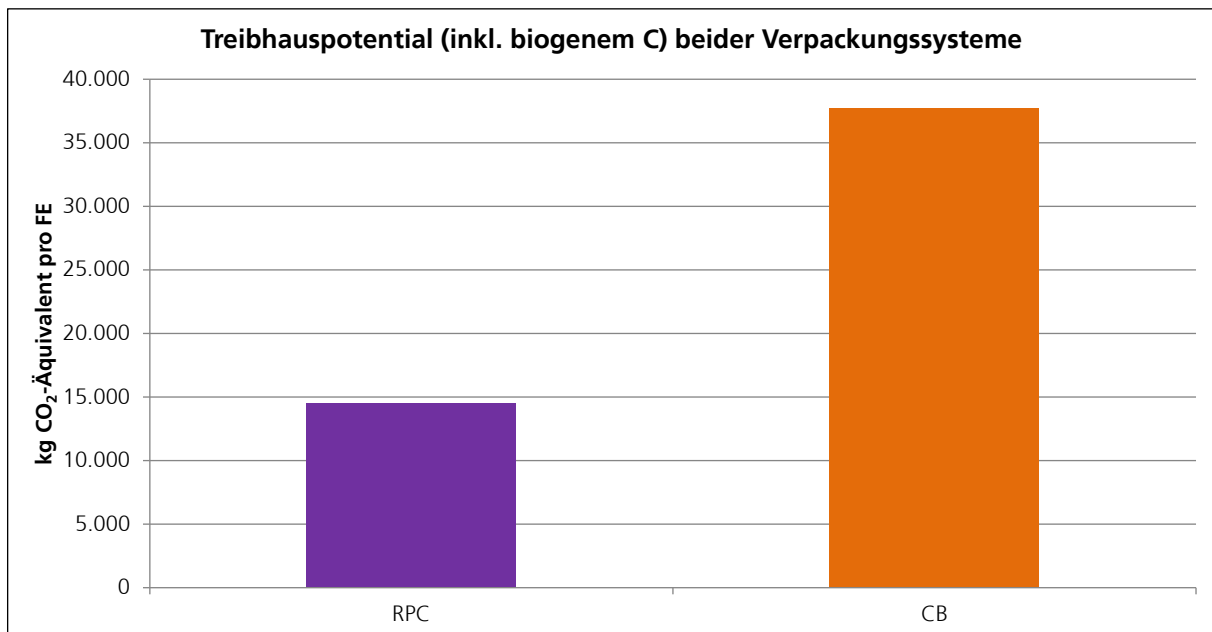


Abbildung 2: Gegenüberstellung der Treibhausgasemissionen von RPC und CB

Bezogen auf den Transport von 1.000 t Obst und Gemüse verursacht das Mehrwegsystem (RPC) rund 14,5 t CO₂-Äquivalent, das Einwegsystem (CB) hingegen 37,7 t CO₂-Äquivalent. Während der initiale Herstellungsaufwand für die Mehrwegverpackungen höher ist als bei den Einwegsystemen, amortisiert sich dies im Laufe der Nutzung und führt über den Lebenszyklus zu niedrigeren Treibhausgasemissionen.

Die der Studie zu Grunde liegenden Annahmen wurden im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse auf ihre Auswirkungen auf das Ergebnis überprüft. Dabei zeigt sich, dass das Mehrwegsystem in allen betrachteten Variationen deutlich niedrigere Treibhausgasemissionen als das Einwegsystem aufweisen, die Annahmen und das Hintergrundmodell also eine hohe Stabilität aufweisen. Die Studie beschränkt sich auf die Analyse des Treibhauspotentials. Weitere Wirkungskategorien werden definitionsgemäß nicht betrachtet. Zusätzliche Limitierungen der Ergebnisse werden in der Studie beschrieben.

Eine nach ISO 14040 und ISO 14044 erforderliche kritische Prüfung der Studie bei vergleichenden Aussagen wurde durchgeführt. Der Prüfbericht befindet sich im A9 – Prüfbericht der kritischen Prüfung.

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
C	Kohlenstoff
CB	Einweg-Kartonbehälter (englisch Cardboard Box; CB)
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
EPS	Euro Pool System GmbH
FEFCO	European Federation of Corrugated Board Manufacturers
GWP	Treibhauspotential (englisch Global Warming Potential)
IFCO	IFCO Systems GmbH
ILCD	The International Reference Life Cycle Data System
ISO	International Standardisation Organisation
kg	Kilogramm
km	Kilometer
L	Liter
LCA	Ökobilanz (englisch Life Cycle Assessment)
LKW	Lastkraftwagen
PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
RPC	Wiederverwendbarer, klappbarer Kunststoffbehälter (englisch Reusable foldable Plastic Container; RPC)
SIM	Stiftung Initiative Mehrweg
t	Tonne
ts	thinkstep

Glossar

Deutsch	Englisch	Erklärung
Verpackungssystem	Packaging system	Oberbegriff für die analysierten Verpackungen
Wiederverwendbare Kunststoffbehälter (RPC)	Reusable Plastic Container (RPC)	
Einweg-Kartonbehälter (CB)	Single use cardboard box (CB)	
Treibhausgasemissionen	Greenhouse gas emissions	Die Emission von treibhausrelevanten Gasen entlang des Produktlebenszyklus
Distributionszentrum	Distribution Center	Lebensmittelgroßhändler, Zentrallager, Verteilzentrum
Servicezentrum	Service Center	Inspektions- und Reinigungszentrum
Einzelhändler	Retail	Verkaufspunkt, Point of Sale
Durchschnittliche Bruchrate	Average breakage rate	Anteil defekter RPC je Umlauf
CO ₂ -Fußabdruck	Carbon Footprint	Systematische Analyse treibhausgasrelevanter Emissionen entlang des Produktlebenszyklus
Treibhausgasemissionen	Greenhouse gas emissions	Die Emission von treibhausrelevanten Gasen. Neben Kohlenstoffdioxid (CO ₂) fallen hierunter auch unter anderem Methan, Distickstoffmonoxid, Fluorkohlenwasserstoffe sowie Schwefelhexafluorid und Stickstofftrifluorid
Biogenes CO ₂	Biogenic CO ₂	Kohlenstoffdioxid mit Kohlenstoff aus rezenter Herkunft. Der Kohlenstoff wird während des Wachstums von Biomasse aus der Atmosphäre aufgenommen.
Treibhauspotential	Global Warming Potential (GWP)	Umweltwirkungskategorie. Treibhausrelevante Emissionen werden gruppiert und auf eine Referenzeinheit (hier kg CO ₂ -Äquivalent) umgerechnet.
Anthropogener verursachter Klimawandel	Anthropogenic climate change	Durch menschliche Aktivitäten verursachte Änderung des Klimas

1. Einführung und Ziel der Studie

Die vorliegende Studie dient zur Ermittlung der Treibhausgasemissionen (CO₂-Fußabdruck) von Verpackungssystemen für Obst- und Gemüsetransporte in Europa. Untersucht werden die zwei Verpackungssysteme mit der größten Marktrelevanz. Hierbei handelt es sich um wiederverwendbare, klappbare Kunststoffbehälter (englisch *reusable plastic container*, RPC) und Einweg-Kartonbehälter (englisch *cardboard box*, CB) [2].

Hauptziel dieser Studie ist die Quantifizierung der Treibhausgasemissionen der wiederverwendbaren, klappbaren Kunststoffbehälter (RPC) und der Einweg-Kartonbehälter (CB) sowie deren anschließender Vergleich. Zur Erreichung des Hauptziels werden Prozesse entlang der gesamten Wertschöpfungskette beider Verpackungssysteme betrachtet. Dabei werden die Lebenszyklusphasen Herstellung, Nutzung und Lebensende analysiert.

Die Studie wurde im Auftrag der Stiftung Initiative Mehrweg (SIM) erstellt. Das Hauptziel leitet sich aus dem erklärten Ziel der Stiftung ab, der Reduktion von Treibhausgasemissionen beim Obst- und Gemüsetransport in Europa. Mit der Auftragserteilung verwirklicht die Stiftung den Stifterwillen, wie er in § 2 Abs. 1 der Stiftungssatzung Ausdruck gefunden hat, nämlich durch „Förderung der Allgemeinheit auf den Gebieten ... des Umweltschutzes“ mit dem Ziel, „einen Beitrag zum Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen und Ressourcen“ zu leisten. Der Schutz des Klimas stellt in diesem Kontext eine der größten Herausforderungen dar. Die Studie wird auf Grund des Interesses von Stakeholdern (wie beispielsweise Logistikunternehmen oder Handel) und Öffentlichkeit erstellt.

Die Stiftung will die gewonnenen Erkenntnisse den Marktbeteiligten zur Verfügung stellen. Das sind Akteure der Verpackungs- und Lebensmittelindustrie, Logistikunternehmen und die Kunden (private und gewerbliche Endverbraucher). Die Erkenntnisse sollen dazu dienen, Prozessketten zu analysieren. Zudem wird das Wissen um die Einordnung der Treibhausgasemissionen des Mehrweg- und Einwegsystems verbessert. Die Ergebnisse der Studie sind grundsätzlich dafür geeignet im Rahmen von betrieblichen Umweltberichten weiterverwendet zu werden, beispielsweise zur Unterstützung eines Umweltmanagementsystems oder für Berichte nach dem GHG Protocol oder Global Reporting Initiative (GRI).

Des Weiteren soll die Studie der Öffentlichkeit Informationen zu den Treibhausgasemissionen der jeweiligen Verpackungssysteme bereitstellen und von der Stiftung Initiative Mehrweg und ihren Mitgliedern zur Kommunikation genutzt werden. Die Studie knüpft an vorangegangene Ökobilanzen im Auftrag der Stiftung Initiative Mehrweg an [13], fokussiert aber auf Beiträge zum Treibhauspotential als derzeit wichtige ökologische Herausforderung. Betrachtungsgegenstand sind die am Markt relevantesten Verpackungssysteme (RPC und CB).

Den Herstellern und Abnehmern von Mehrweg- und Einwegsysteme ermöglicht die Studie, Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette zu identifizieren.

Die Studie wird von der Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi) des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik (IBP) erstellt. Sie ist nach den Anforderungen von ISO 14040 [19] und ISO 14044 [20] durchgeführt.

Im Rahmen der Studie werden vergleichende Aussagen zwischen den betrachteten Verpackungssystemen getroffen. Entsprechend den Anforderungen von ISO 14040 [19] und ISO

14044 [20] wurde eine kritische Prüfung durch unabhängige, externe Experten durchzuführen. Weitere Informationen zur kritischen Prüfungen sind in Kapitel 2.11 dargestellt. Der Prüfbericht der kritischen Prüfung befindet sich im Anhang A9 – Prüfbericht der kritischen Prüfung.

2. Untersuchungsrahmen

Der nachfolgend festgelegte Untersuchungsrahmen der Studie gewährleistet die Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit der gewonnenen Ergebnisse. Die detaillierte Beschreibung des Untersuchungsrahmens stellt zudem sicher, dass die Analyse der betrachteten Verpackungssysteme auf Grundlage einer konsistenten Datenbasis erfolgt.

2.1 Produktsysteme

In der Studie werden die beiden Verpackungssysteme mit der derzeit größten Marktrelevanz für Obst- und Gemüsetransporte in Europa untersucht [2]. Hierbei handelt es sich um ein Mehrweg- und ein Einwegverpackungssystem. Beim Mehrwegsystem werden wiederverwendbare, klappbare Kunststoffbehälter (RPC) und beim Einwegsystem Einweg-Kartonbehälter (CB) betrachtet.

Die vorliegende Studie bewertet die Verpackungssysteme gemäß den Anforderungen der zugrunde liegenden Normen ISO 14040 [19] und ISO 14044 [20].

In Abbildung 3 wird der Lebenszyklus beider Produktsysteme schematisch dargestellt.

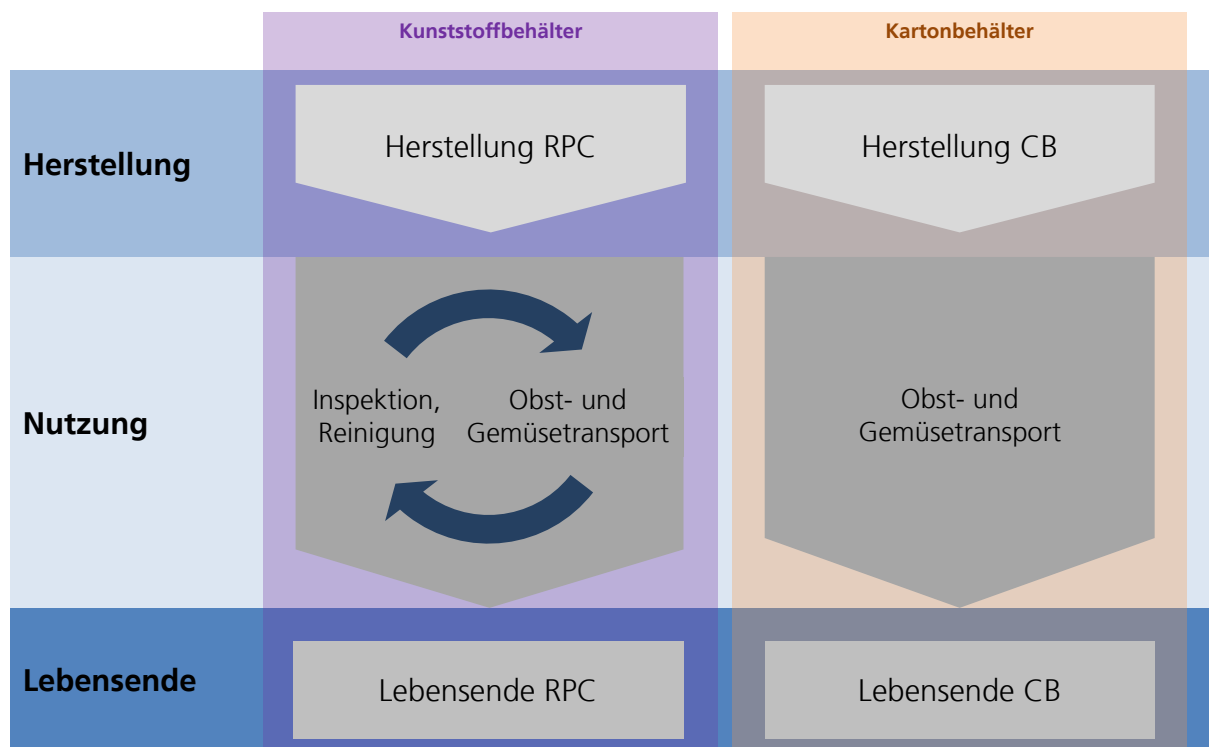


Abbildung 3: Schematische Darstellung der jeweiligen Lebenszyklen der betrachteten Verpackungssysteme

Die wiederverwendbaren Kunststoffbehälter werden nach der Herstellung mehrfach bis zu ihrem technischen Lebensende genutzt. Die Einweg-Kartonbehälter werden nach der Herstellung und einer einmaligen Nutzung direkt der Verwertung am Lebensende zugeführt. Sie werden somit nicht im Kreislauf geführt.

Da beide Behältersysteme Unterschiede aufweisen, wird für die spätere Bewertung ein Referenzbehälter definiert (siehe Kapitel 3.1). Die technischen Eigenschaften des Referenzbehälters des jeweiligen Verpackungssystems sind in Tabelle 1 gelistet.

Tabelle 1: Technische Eigenschaften der Referenzbehälter

	Wiederverwendbare Kunststoffbehälter (RPC)	Einweg-Kartonbehälter (CB)
Material	Polypropylen und Polyethylen	Kartonage
Nutzungsart	Mehrwegsystem	Einwegsystem
Vorbereitung der Wiederverwendung	Distribution, Inspektion und Reinigung	-
Anzahl Umläufe	50	1
Durchschnittliche Bruchrate	0,53 %	-
Lebensende	Energetische Verwertung, stoffliche Verwertung	
Gewicht des Behälters [kg]	1,82	0,78
Abmessungen [mm]	600x400x210	
Beladungsgewicht [kg]	15	
Behälter je Palette [-]	40	
Lagen je Palette [-]	10	
Paletten je LKW [-]	33	
RPC zusammengeklappt je Palette/LKW [-]	304 / 10.032	-
Referenzzeitraum der Datenerhebung [Jahr]	2012-2017	2012-2017
Geographische Repräsentativität Vordergrundsystem	Deutschland, Frankreich, Niederlande, Spanien, Italien	
Geographische Repräsentativität Hintergrundsystem	Europäische Durchschnittswerte (EU)	
Technische Repräsentativität	Europäische Industrie- und Verbandsdaten zu Herstellung und Nutzung	

Die Referenzbehälter weisen identische Transport- und Ladekapazitäten sowie Innen- und Außenabmessungen auf. Unterschiede gibt es bei den verwendeten Materialien, der Nutzungsart sowie dem Gewicht. Weiterhin können die RPC für den Leertransport zusammengeklappt werden.

Es wird eine Beladung mit je 15 kg Obst und Gemüse für beide Verpackungssysteme zu Grunde gelegt.

Durch die Verwendung von europäischen Industrie- und Verbandsdaten sowie Hintergrunddaten wird eine grundsätzliche Übertragbarkeit der Ergebnisse im europäischen Kontext ermöglicht. Hierzu ist eine Anpassung der Transportentfernungen nötig. Dies wird im Rahmen von Parametervariationen durchgeführt.

Betrachtet wird der Transport von Lebensmitteln per LKW, da dies die Kerntätigkeit der Mitglieder der SIM darstellt. Andere Transportarten oder intermodale Transporte werden in dieser Studie nicht betrachtet.

2.2 Produktfunktion und funktionelle Einheit

Um eine Vergleichbarkeit verschiedener Verpackungssysteme zu gewährleisten, muss die funktionelle Einheit für alle betrachteten Systeme identisch sein. Die funktionelle Einheit beschreibt den quantifizierten Nutzen der zu vergleichenden Systeme. Die berechneten Treibhausgasemissionen beziehen sich, sofern nicht anders ausgewiesen, immer auf die funktionelle Einheit.

Die vorliegende Studie untersucht die Treibhausgasemissionen des Obst- und Gemüsetransportes in Europa. Die funktionelle Einheit wird als der Transport von 1.000 t Obst und Gemüse innerhalb der betrachteten Länder Deutschland, Frankreich, den Niederlanden, Spanien und Italien definiert und ist somit:

Die Distribution von 1.000 t Obst oder Gemüse in Kunststoffmehrwegbehältern RPC oder in Kartoneinwegbehältern CB

Zur Erfüllung der funktionellen Einheit müssen bei einer Ladekapazität von 15 kg je Behälter somit 66.667 Befüllungen stattfinden.

In den betrachteten Ländern befinden sich rund 55 % der Anbaufläche für Obst und 58 % der Anbaufläche für Gemüse in Europa [6], gleichzeitig leben in den betrachteten Ländern rund 54 % der EU-Bevölkerung [5]. Hierdurch wird ein relevanter Teil des Lebensmittelmarktes in Europa abgebildet.

Seit der Einführung der Kunststoffmehrwegkiste befindet sich eine Vielzahl an RPC im Umlauf. Mehrwegsysteme sind am Markt etabliert und werden seit Jahren stabil betrieben, im Mittel erreichen RPC in ihrem Lebenszyklus 50 Umläufe mit durchschnittlich 5 Umläufen pro Jahr [7], [16]. Dies entspricht einer rechnerischen Nutzungsdauer von 10 Jahren. Unter Berücksichtigung einer durchschnittlichen Bruchrate von 0,53 % [7], [16] pro Umlauf ergibt sich somit ein Bedarf von insgesamt 1.687 RPC für die Erfüllung der funktionellen Einheit. Die Berücksichtigung der Umläufe über den Lebenszyklus entspricht der üblichen Vorgehensweise bei der Betrachtung von Mehrwegsystemen [17]. Dies setzt sich aus einem Bedarf von 1.334 RPC (66.667 Befüllungen / 50 Umläufe pro RPC) sowie 353 auszutauschenden RPC zusammen ($1.334 \text{ RPC} \cdot 0,53 \% \text{ Bruchrate} \cdot 50 \text{ Umläufe}$). Belastungen der RPC beispielsweise durch UV-Strahlung oder Versprödung des Materials spiegelt sich in der Bruchrate wieder. Bei einem Gewicht von 1,82 kg je RPC entspricht dies insgesamt 3.070 kg Kunststoff [8], [15].

Im Falle des Einwegsystems CB wird für jede der 66.667 Befüllungen ein neuer Behälter benötigt. Bei einem Gewicht einer CB von 0,78 kg entspricht dies dem Bedarf an insgesamt 52.200 kg Karton.

2.3 Systemgrenze

Die vorliegende Studie untersucht die Treibhausgasemissionen beider Verpackungssysteme entlang des gesamten Lebenszyklus. In Abbildung 4 sind die Lebenszyklen und Systemgrenzen beider Verpackungssysteme dargestellt. Sie umschließen die Phasen Herstellung, Nutzung und Lebensende.

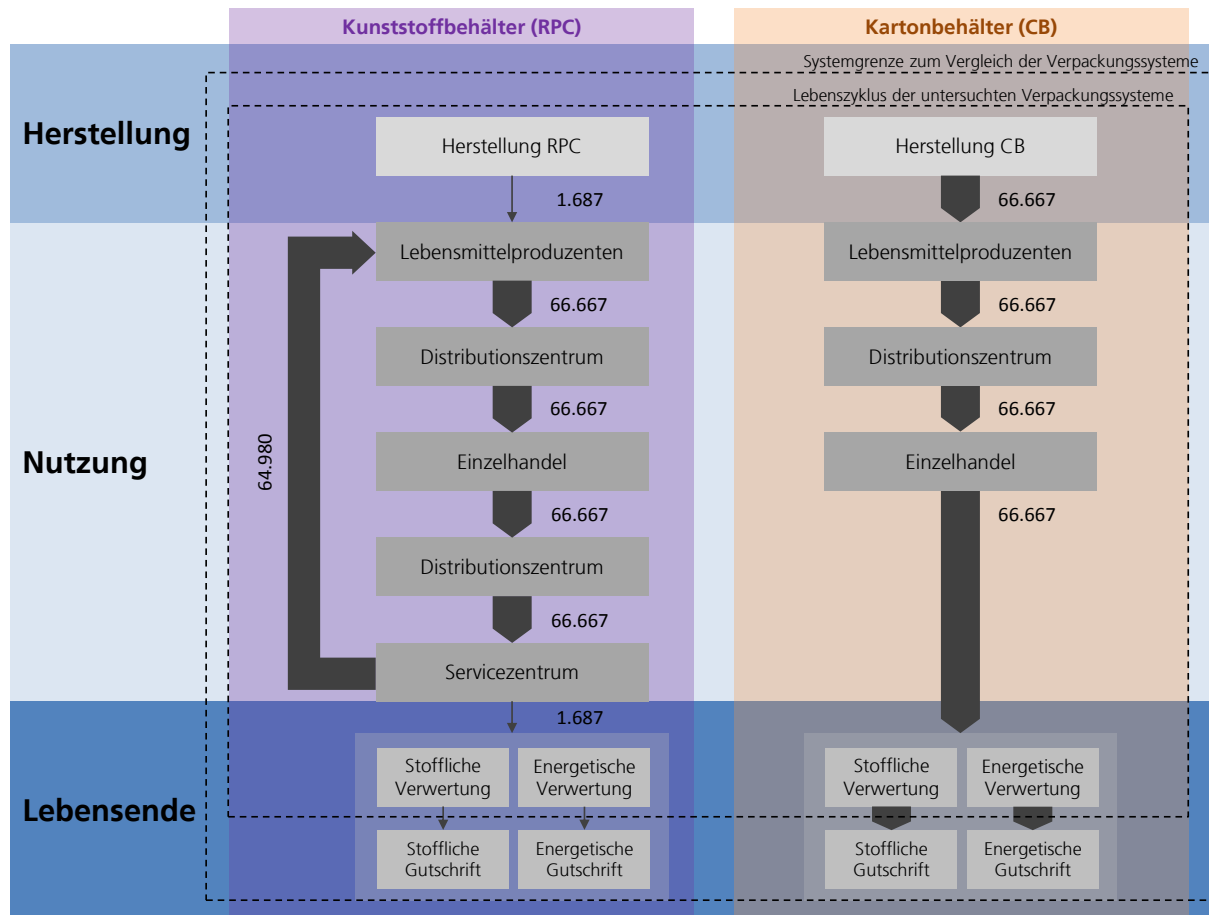


Abbildung 4: Systemgrenzen und Umlaufzahlen beider Verpackungssysteme (in Stück)

Für beide Verpackungssysteme umfasst die Systemgrenze die Bereitstellung von Rohmaterialien, die Produktion und Distribution der leeren und vollen Kisten sowie die Aufwendungen und Gutschriften der stofflichen und energetischen Verwertung.

Eigenschaften wie beispielsweise Gestaltungsmöglichkeiten (Form, Farbe und Größe), Bedruckbarkeit, Produkthygiene, Produktschutz oder Handhabungskomfort werden im Rahmen dieser Studie nicht betrachtet, die Systeme werden auf Grund der gleichen Abmessungen sowie Transportkapazitäten für die weiterführende Betrachtung als gleichwertig angesehen.

Es wird der ordnungsgemäße Betrieb beider Verpackungssysteme unterstellt, es werden also kein Schwund (beispielsweise durch Diebstahl oder Weiterverwendung durch andere Zwecke) und keine unsachgemäße Entsorgung für beide Systeme angenommen.

2.4 Allokationsverfahren

Im Hintergrundsystem, d.h. bei verwendeten Prozessen aus der GaBi-Datenbank [26], finden Allokationen entsprechend ISO 14040/44 [19], [20] statt. Die Dokumentation der Allokationsverfahren sind online verfügbar [25].

Im Vordergrundsystem findet eine Allokation bei den verwendeten Materialien statt. Für die in den RPC eingesetzten Kunststoffe wird zur Berücksichtigung einer Materialdegradation im Rahmen der stofflichen Verwertung eine ökonomische Allokation eingesetzt. Bei den CB erfolgt eine Allokation über die Recyclingrate und die daraus resultierenden durchschnittlichen Materiallebenszyklen des eingesetzten Zellstoffes. Weitere Informationen hierzu finden sich in Kapitel 3.3.

2.5 Abschneidekriterien

Für diese Studie sind keine generellen Abschneidekriterien festgelegt. Wie in Kapitel 2.3 beschrieben, wird die Systemgrenze in Hinblick auf die Relevanz hinsichtlich des Ziels der Studie definiert. Für Prozesse innerhalb der Systemgrenze wurden alle verfügbaren Energie- und Stoffstromdaten in das Modell aufgenommen. In dieser Studie werden die Herstellung, die Nutzung und das Lebensende beider Verpackungssysteme betrachtet. Von der Betrachtung ausgeschlossen ist die Herstellung von Infrastruktur (Gebäude, Maschinen, etc.). In Fällen, in denen keine passenden Inventardaten verfügbar sind, um einen Input oder Output abzubilden, wurden Näherungsdaten auf Basis konservativer Annahmen hinsichtlich der Wirkung auf das Treibhauspotential verwendet.

Bei der Herstellung der RPC werden die vom Hersteller [3] angegebenen Energie- und Massenflüsse für Werkstoffe, Energie, Hilfs- und Betriebsstoffe wie Schmieröl, Additive (UV-Absorber, Antioxidantien) sowie Packmaterialien (PP-Band und LDPE-Folie) abgebildet (in Abbildung 6 unter Hilfs- und Betriebsstoffe zusammengefasst). Die Herstellung der CB berücksichtigt die in FEFCO (2015) [11] berichteten Massen- und Energieflüsse für Rohmaterialien, Energie, Additive (Stärke, Druckfarbe, NaOH, etc.) und Packmaterialien (PE-Folie, etc.) (in Abbildung 8 unter Hilfs- und Betriebsstoffe zusammengefasst). Insgesamt ist der Einfluss der betrachteten Hilfs- und Betriebsstoffe auf das Gesamtergebnis bei beiden Verpackungssystemen gering.

2.6 Auswahl des Treibhauspotentials (GWP) als Umweltwirkungskategorie

Die Förderung des Umweltschutzes und die Reduzierung von Treibhausgasemissionen ist erklärtes Ziel der Stiftung Initiative Mehrweg (SIM) [24]. Gleichzeitig herrscht mittlerweile breiter Konsens, dass der Klimawandel ein wichtiges Handlungsfeld darstellt und die Reduzierung von Treibhausgasemissionen in allen Bereichen des täglichen Lebens von großer Wichtigkeit ist [4], [27], [28].

Auf Grund der Relevanz von Treibhausgasemissionen und deren Reduktion fokussiert sich die Studie auf den anthropogen (durch menschliche Aktivitäten) verursachten Klimawandel. Frühere Studien haben weitere Wirkungskategorien betrachtet, hierbei hat sich gezeigt, dass das GWP die Umweltrelevanz der hier betrachteten Systeme gut repräsentiert [13]. Die zugehörige Umweltwirkungskategorie ist das Treibhauspotential (englisch *Global Warming Potential*, GWP), welches in kg CO₂-Äquivalent ausgedrückt wird. Im Rahmen eines CO₂-Fußabdruckes werden alle treibhausrelevanten Stoffe identifiziert und mittels Charakterisierungsfaktoren in CO₂-Äquivalente umgerechnet. Die Umweltwirkungskategorie Treibhauspotential wird für eine Zeit-

spanne von 100 Jahren (GWP100) analysiert. Dazu wird die in Version v1.09 der vom ILCD empfohlenen Charakterisierungsfaktoren [21] verwendet, die aus dem IPCC 2007-Bericht entnommen sind [18], welche die Emission und Einbindung von biogenem Kohlenstoff¹ beinhalten. Die Aufnahme und Emission von biogenem Kohlenstoff wird im Rahmen der Studie separat ausgewiesen.

Bei der Wirkungskategorie handelt es sich um ein *Wirkpotential*, es handelt sich dabei also um Annäherung an eine Umweltwirkung, die eintreten kann. Voraussetzung hierfür ist, dass die Emissionen dem zu Grunde liegenden Wirkmechanismus folgen und in der Umwelt auf bestimmte Randbedingungen treffen. Weiterhin sind in der Sachbilanz nur der Teil der Umweltlasten beinhaltet, der der funktionellen Einheit zuzurechnen ist. Die Ergebnisse einer Wirkungsabschätzung liefern daher relative Aussagen und machen keine Angaben über Auswirkungen auf Wirkendpunkte oder Schwellenwertüberschreitungen.

2.7 Limitierungen der Studie

Die vorliegende Studie beschränkt sich wie in Ziel und Untersuchungsrahmen festgelegt auf die Analyse des Treibhauspotentials. Weitere Wirkungskategorien werden definitionsgemäß nicht betrachtet.

Die erhobenen Vordergrunddaten beziehen sich zum einen auf die Konfiguration der Transportkisten gemäß Herstellerangaben und zum anderen auf tatsächliche Transportentfernungen von EPS und IFCO in den betrachteten Ländern. Die Hintergrunddaten (beispielsweise für Materialien und Energie) sind europäische Durchschnittsdaten, wodurch eine grundsätzliche Übertragbarkeit der Ergebnisse im europäischen Kontext ermöglicht wird. Dies würde voraussetzen, dass für das betrachtete Land die Herstell- und Transportprozesse den gewählten europäischen Durchschnittswerten entsprechen. Die Übertragbarkeit setzt zudem voraus, dass Primärdaten zu Kistenkonfiguration und Transportentfernungen vorliegen. Außerdem setzt die Berechnung für das Mehrwegsystem voraus, dass ein etabliertes und stabiles System² vorliegt, da andernfalls die Erstausrüstung mit Transportkisten berücksichtigt werden müsste.

2.8 Anforderungen an die Datenqualität

Die erhobenen Daten für das Vordergrundsystem, insbesondere für Transportentfernungen und -mengen, Bruchraten der wiederverwendbaren Kunststoffbehälter sowie deren Reinigung beziehen sich auf die Basisjahre 2016 und 2017. Die erhobenen Daten sind gemessen, berechnet oder durch Experten abgeschätzt und mittels Literaturwerten validiert. Auf die Datenaufnahme und Annahmen wird in Kapitel 3 eingegangen. Im Modell verwendete Daten für das Hintergrundsystem wie die Herstellung von Rohmaterialien, Bereitstellung von thermischer und elektrischer Energie entstammen der GaBi-Datenbank [26]. Die Vordergrunddaten bestimmen hauptsächlich das System (Transportdistanzen, Masse der Transportbehälter, etc.). Das eigentliche Umweltprofil resultiert aus der Verknüpfung mit den Hintergrunddaten. Der Einfluss der Vordergrunddaten wurde im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse überprüft.

¹ Kohlenstoff, der während des Wachstums von Biomasse aus der Atmosphäre aufgenommen wird.

² Das Mehrwegsystem ist ein seit Jahren etabliertes und stabil betriebenes Poolsystem in einem relativ konstanten Markt. Der bestehende Pool an Mehrwegbehältern und die Erstausrüstung stellt die Erfüllung der funktionellen Einheit sicher.

2.9 Art und Format des Berichtes

Die Struktur des Berichtes ist gemäß den Anforderungen der ISO-Normen 14040/44 [19], [20] aufgebaut. Wie in den Normen vorgeschrieben, sind die Ergebnisse der Studie vollständig, korrekt und unvoreingenommen dargestellt. Der Bericht dient Lesern zur Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse, d.h. Daten und Annahmen werden mit hinreichendem Detaillierungsgrad dokumentiert.

2.10 Software und Datenbank

Das Ökobilanz-Modell (LCA-Modell) wurde in der GaBi Software [26] erstellt und liefert die Grundlage zur Berechnung der Treibhausgasemissionen. Die verwendete Datenbank ist auf aktuellem Stand (Service Pack 34, 2017). Eine Liste der verwendeten Datensätze befindet sich in Anhang A8 – Dokumentation der Hintergrunddaten.

2.11 Kritische Prüfung

Entsprechend den Anforderungen von ISO 14040/44 [19], [20] ist für zur Veröffentlichung vorgesehene Studien mit vergleichenden Aussagen eine kritische Prüfung durch unabhängige externe Gutachter durchzuführen. Für die vorliegende Studie wurde eine kritische Prüfung durchgeführt. Die Prüfer sind

- Christina Bocher (DEKRA); Vorsitz des Prüfpanels
- Ivo Mersiowsky (Quiridium)
- Sebastian Spierling (Hochschule Hannover)

Der Prüfbericht befindet sich in Anhang A9 – Prüfbericht der kritischen Prüfung.

3. Sachbilanz

Für die zwei betrachteten Verpackungssysteme werden Bilanzierungsmodelle zur Ermittlung der Treibhausgasemissionen erstellt. Der Lebenszyklus der Verpackungssysteme und die zugehörigen Systemgrenzen sind in Abbildung 4 in Kapitel 2.3 schematisch dargestellt.

Die neu produzierten sowie die inspizierten und gereinigten RPC werden an den Lebensmittelproduzenten geliefert, befüllt und an Distributionszentren verteilt. Von dort werden sie an den Einzelhandel weiterversandt. Nach dem Gebrauch werden die RPC zusammengeklappt, gestapelt und an Distributionszentren zurückgeschickt. Dort werden die RPC gesammelt und an Servicezentren versandt. Im Servicezentrum werden die RPC inspiziert. Beschädigte RPC werden aussortiert und stofflich verwertet (wobei theoretisch auch eine energetische Verwertung möglich ist). Nicht beschädigte RPC werden gereinigt, ggf. zwischen Servicezentren ausgetauscht (regrouping) und wieder dem Lebensmittelhersteller zur weiteren Nutzung zur Verfügung gestellt.

Bei den CB Behältern gibt es keine Wiederverwendung, d.h. die Behälter werden nach dem Gebrauch direkt einer stofflichen oder energetischen Verwertung zugeführt. Dadurch entfallen die Rücktransporte zu den Distributionszentren sowie die Transporte zu Servicezentren und zum Lebensmittelhersteller. Allerdings müssen mehr Behälter produziert werden um die funktionelle Einheit zu erfüllen.

Referenzbehälter

Die Definition eines Referenzbehälters ist wesentliche Grundlage des Vergleichs beider Verpackungssysteme. Identisch sind die Beladungsmenge (15 kg) und die Außenmaße der Behälter (600x400x210 mm). Die Behälter mit einer Höhe von 210 mm haben sich in den letzten Jahren als Standard bei Mehrwegverpackungssystemen etabliert und dienen deshalb als Grundlage der Betrachtung. Unterschiede weisen sie in Bezug auf Materialien, Leergewicht und weiteren Eigenschaften auf. Tabelle 2 zeigt die sich im Einsatz befindenden Behälter aus Kunststoff (EPS [8], IFCO [15]) und Karton (FEFCO [10]) und den jeweils modellierten Referenzbehälter mit der identischen Zuladungsmenge sowie gleichen Innen- und Außenmaßen. Die Werte für den jeweiligen Referenzbehälter wurden berechnet.

Tabelle 2: Basisdaten und modellierte Referenzbehälter aus [8], [10], [15]

	Mehrweg-Kunststoffbehälter (RPC)			Einweg-Kartonbehälter (CB)	
Modell	Modell 216	Modell LL6420	Modellierte Referenz-RPC	FEFCO CF 1	Modellierte Referenz-CB
Material	HD-PE	PP	HD-PE/PP-Mix	Kartonage	Kartonage
Behältergewicht [kg]	1,82	1,83	1,82	0,69	0,78
Dimension außen [mm]	600x400x 211	600x400x 216	600x400x 210	600x400x 180	600x400x 210
Max. Beladungsgewicht [kg]	20	20	15	10	15
Behälter je Palette (befüllt)	44	40	40	Nicht festgelegt	40
Lagen je Palette (befüllt)	11	10	10	Nicht festgelegt	10
Paletten je LKW (27 t Nutzlast)	33	33	33	Nicht festgelegt	33
Schichten je Palette (zusammengeklappt)	76	78	76		-

In den folgenden Kapiteln wird näher auf die Sachbilanzdaten der Herstellung (Kapitel 3.1), der Nutzung (Kapitel 3.2) und des Lebensendes (Kapitel 3.3) eingegangen.

3.1 Herstellung der Behälter

Zur Erfüllung der funktionellen Einheit (siehe Kapitel 2.2) müssen vom Einwegsystem mehr Behälter als vom Mehrwegsystem bereitgestellt werden. Nachfolgend wird die Modellbildung der Herstellung der wiederverwendbaren Kunststoffbehälter (RPC) und der Einweg-Kartonbehälter (CB) dargestellt.

Wiederverwendbarer Kunststoffbehälter (RPC)

Die in der Studie betrachteten wiederverwendbaren Kunststoffbehälter (RPC) bestehen entweder aus Polypropylen (PP) oder aus Polyethylen hoher Dichte (HD-PE). Abbildung 5 zeigt beispielhaft leere RPC Behälter aus Polypropylen sowie aus HD-PE.

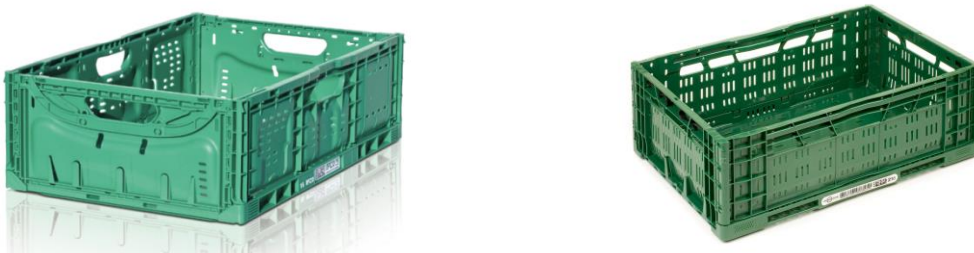


Abbildung 5: Wiederverwendbarer Kunststoffbehälter [7], [16]

Die Herstellung beider Kunststoffbehälter aus Polypropylen (PP) bzw. Polyethylen hoher Dichte (HD-PE) wird im LCA-Modell mit Datensätzen von PlasticsEurope [23] abgebildet. Diese beinhalten Durchschnittsdaten der europäischen Kunststoffindustrie zur Herstellung des Granulats inklusive der Vorketten. Abbildung 6 zeigt schematisch das LCA-Modell zur Herstellung des RPC.

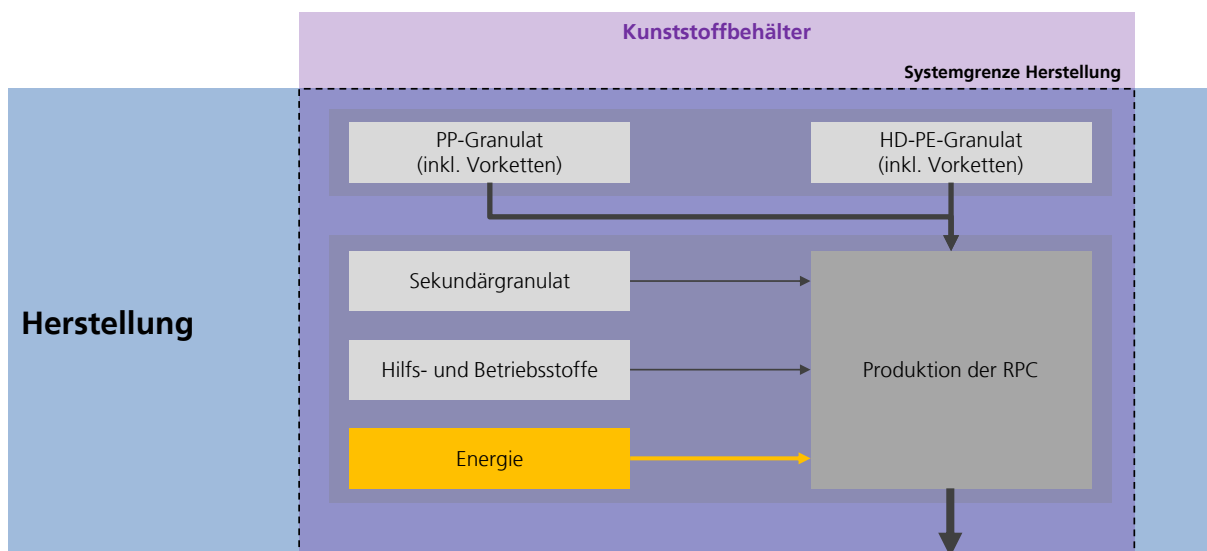


Abbildung 6: Ablauf der Herstellung der wiederverwendbaren Kunststoffbehälter

Das HD-PE- und PP-Granulat wird annahmegemäß jeweils 300 km zum Produktionsstandort transportiert. Die von IFCO eingesetzten RPC sind aus PP [15]; die von EPS eingesetzten RPC aus HD-PE [8] hergestellt. Die RPC werden im Modell durch einen Material- und Technologiemark abgeleitet, der sich über die jeweiligen Umlaufmengen der RPC in den betrachteten Ländern berechnet. Die modellierten Referenzkisten besteht somit zu 49,5 % aus PP und zu 50,5 % aus

HD-PE [7], [16]. Grundsätzlich ist eine Beimischung von aufbereitetem Sekundärgranulat zum Primärgranulat möglich. Derzeit beträgt das Mischverhältnis 100 % Primärgranulat zu 0 % Sekundärgranulat bei den aus HD-PE hergestellten RPC [7]; bei den aus PP hergestellten RPC wird zu 20 % Sekundärgranulat eingesetzt [16]. Das eingesetzte Sekundärgranulat wird aus beschädigten RPC rückgewonnen. Durch Additive werden die Beständigkeit gegen Licht, Hitze, etc. gewährleistet. Anschließend wird der RPC mittels Spritzgussverfahren hergestellt und an die Lebensmittelproduzenten verteilt. Nach der Erstauslieferung beginnt die Nutzungsphase des RPC.

Einweg-Kartonbehälter (CB)

Die Daten für die in der Studie betrachteten Einweg-Kartonbehälter (CB) wurden vom Industrieverband FEFCO (European Federation of Corrugated Board Manufacturers) publiziert. Die zur Verfügung stehenden Daten sind in einer adäquaten Detailtiefe verfügbar [10], [11]. Die Inventardaten der Quellen wurden vollständig in die Modellierung übernommen. Abbildung 7 zeigt beispielhaft einen Einweg-Kartonbehälter.



Abbildung 7: Einweg-Kartonbehälter [13]

Abbildung 8 zeigt schematisch das LCA-Modell der Herstellung eines CB.

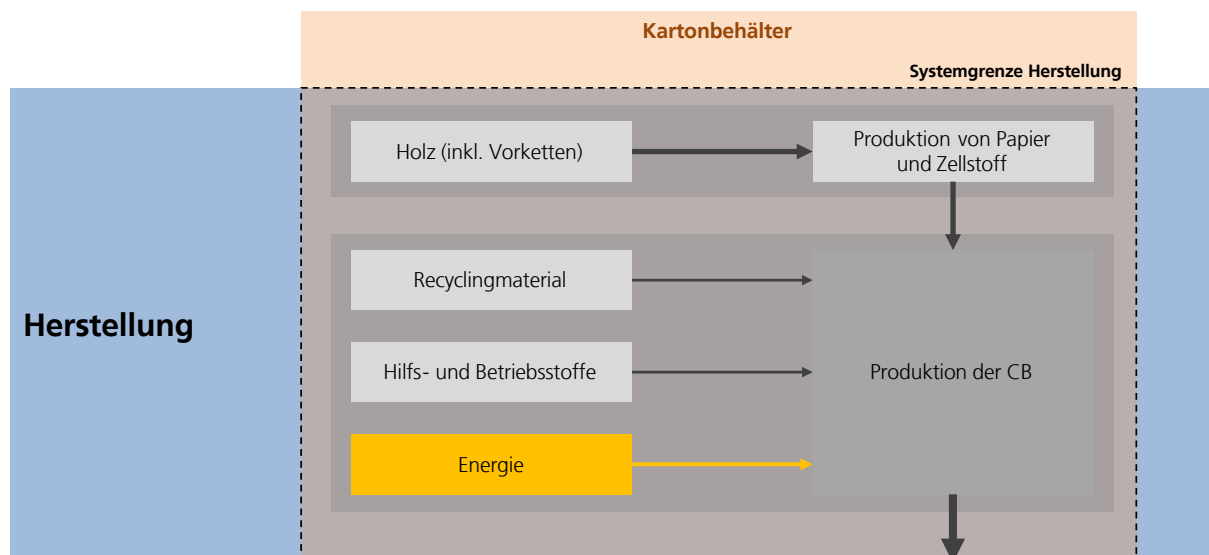


Abbildung 8: Ablauf der Herstellung der Einweg-Kartonbehälter

Zur Herstellung des CB wird Zellstoff aus Holz (Hart- und Weichholz [11]) gewonnen und geht in die Kistenproduktion ein. Zusätzlich zum Holz wird zu kleineren Anteilen Recyclingmaterial verwendet. Kraftliner und Semichemical Fluting als Zwischenprodukt bilden dabei den Hauptbe-

standteil. Je Tonne Semichemical Fluting werden dabei 0,09 t recyceltes Papier sowie 0,95 t Holz verwendet, je Tonne Kraftliner 0,36 t recyceltes Papier sowie 1,11 t Holz. Für 1 t Kartonagen für die hier betrachteten CB werden insgesamt 1,1 t der Vorprodukte benötigt [11], davon rund 0,7 t Semichemical Fluting und 0,4 t Kraftliner [10]. Der hergestellte Karton wird weiter bearbeitet und die fertige CB anschließend an die Lebensmittelhersteller verteilt. Nach der Auslieferung beginnt die Nutzungsphase des CB.

3.2 Nutzung der Behälter

Um die Vergleichbarkeit beider Behältersysteme zu gewährleisten, muss eine identische Funktion erfüllt werden. Für den vorliegenden Fall wurde dies in Kapitel 2.2 als Transport von 1.000 t Obst und Gemüse in den betrachteten Ländern Deutschland, Spanien, Italien, Frankreich und den Niederlanden festgelegt. Nachfolgend wird auf die Modellbildung der Nutzungsphase beider Verpackungssysteme eingegangen.

Transportrouten, -distanzen und -mengen und Euroklassen

Zur Festlegung der Transportrouten und Berechnung der Entfernungen werden Daten von EPS, IFCO und aus der Literatur herangezogen.

In Abbildung 9 werden die verschiedenen Transportschritte beider Verpackungssysteme grafisch dargestellt und nummeriert, sowie die jeweiligen Transportentfernungen angegeben.

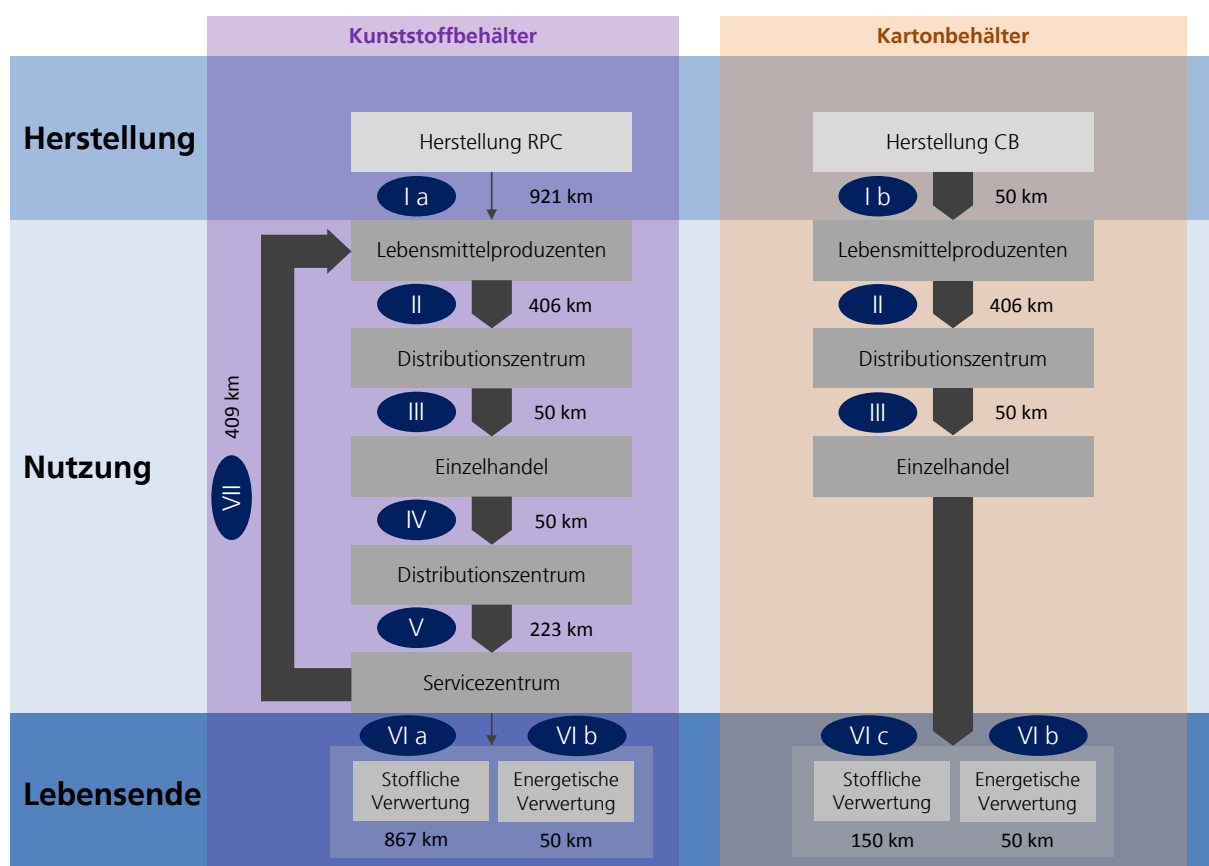


Abbildung 9: Transportrouten der zwei Verpackungssysteme

Die Transportdistanzen der Routen II, III und VI b sind in beiden Verpackungssystemen identisch und wurden berechnet oder recherchiert. Unterschiedlich sind die Transportdistanzen I a und I b sowie VI a und VI c. Die Transportdistanzen IV, V und VII treten nur im RPC-System auf. Die

Transportdistanzen I a, I b, IV, V, VI a, VI c und VII wurden von IFCO [16], EPS [7] und FEFCO [11] zur Verfügung gestellt.

In Tabelle 3 sind die jeweils erhobenen Transportentfernungen dokumentiert.

Tabelle 3: Durchschnittliche Transportentfernungen eines durchschnittlichen Transportumlaufes der beiden Verpackungssysteme in Deutschland, Spanien, Italien, Frankreich und den Niederlanden

Transportstrecke	Distanz [km]		LKW		Datenherkunft	
	RPC	CB	Nutzlast [t]	Auslastung [%]	RPC	CB
I a und I b	921	50	27	73	[7], [16]	[9]
II	409	409	27	70	Annahme	
III	50	50	17,3	70	[1]	
IV	50	-	17,3	70	[1]	n/a
V	223	-	27	70	[7], [16]	n/a
VI a und VI c	867	150	27	92	[7], [16]	Annahme
VI b	50	50	27	92	Annahme	
VII	409	-	27	60	[7], [16]	n/a

Die Informationen zu den Transportentfernungen stammen zu großen Teilen aus einer Primärdatenerhebung bei EPS [7] und IFCO [16], welche mit den Sekundärquellen ADEME [1] und FEFCO [9] und Annahmen ergänzt wurde. Die Transporte IV, V und VII kommen im Einwegsystem nicht vor. Die von EPS und IFCO erhobenen Daten sind die Grundlage für die mengengewichtete Transportdistanz in den betrachteten Ländern dar. In der Auslastung sind auch teilweise anfallende Leerfahrten beinhaltet.

Die 2016 veröffentlichte Jahresstatistik von FEFCO listet 672 Produktionsanlagen für Kartonbehälter in Europa auf (davon 125 in Deutschland, 81 in Italien, 89 in Spanien und 61 in Frankreich) [9]. Wenn die Anzahl der Produktionsstätten (unter der Annahme einer gleichmäßigen Verteilung) in Relation zur Fläche der untersuchten Länder gesetzt wird, ergibt sich näherungsweise eine Distanz von 50 km. Dieser Wert wird deshalb als Transportentfernung für die Erstauslieferung I b angenommen.

Die Entfernung für Transportstrecke II ergibt sich aus der Annahme, dass die Auslieferungsentfernung zu transportierenden Lebensmittel gleich zur Transportentfernung der Rücktransporte (Transportstrecke VII) ist. Bei den Rücktransporten (Transportstrecke VII) wird den RPC nur der zusätzliche Kraftstoffverbrauch zugewiesen, da die LKW unabhängig von der Mitnahme der RPC zur Abholung von Lebensmitteln nach Süden fahren.

Es gibt eine Vielzahl an Müllverbrennungsanlagen in den betrachteten Ländern, die sich oftmals in der Nähe von Ballungsgebieten befinden. Somit wird angenommen, dass die Transportentfernung für die energetische Verwertung bei beiden Systemen jeweils 50 km beträgt. Die Anzahl von Recyclingunternehmen für Kartonagen ist geringer, somit wird die Transportentfernung als 150 km angenommen.

Die LKW-Flotte setzt sich aus verschiedenen Euro Klassen zusammen. Tabelle 4 zeigt die prozentuale Verteilung der gemittelten aktuellen LKW-Flotte von IFCO [16] und EPS [7]. Diese Flotten-

zusammensetzung wird für alle Transportfahrten beider Verpackungssysteme zu Grunde gelegt. Verwendete Hintergrunddaten (wie beispielsweise Diesel) sind europäische Durchschnittsdaten.

Tabelle 4: Euro-Klassenmix der verwendeten LKW für beide Verpackungssysteme

Euro Schadstoffklasse	Anteil am Flottenmix
Euro4	7 %
Euro5	33 %
Euro6	60 %

Die Kapazität und Außenabmessungen des Referenzbehälters sind identisch (vgl. Kapitel 3.1). Die Beladung mit Obst und Gemüse beläuft sich bei 40 Behältern je Palette auf 600 kg. Dazu kommt das Leergewicht der Kisten (RPC 1,82 kg; CB 0,78 kg) und der Paletten (12 kg). Die gesamte Beladungskapazität pro LKW mit 27 t Nutzlast beläuft sich auf 33 Paletten und somit auf 1.320 Behälter, bei einem LKW mit einer Nutzlast von 17,3 t auf 18 Paletten oder 720 Behälter. Tabelle 5 zeigt die Beladungsmenge für LKW mit 27 t bzw. 17,3 t Nutzlast je Behältersystem.

Tabelle 5: Beladung von LKW mit 27 t und 17,3 t Nutzlast

	Maximale LKW Beladung	
	RPC	CB
Füllgewicht der Behälter [kg]	15	15
Behältergewicht [kg]	1,82	0,78
Palettengewicht [kg]	12	12
Behälter pro Palette [Stück]	40	40
Gewicht der vollen Palette [kg]	685	643
Paletten pro LKW (27 t Nutzlast) [Stück]	33	33
Beladungsmenge LKW (27 t Nutzlast) [kg]	22.598	21.230
Paletten pro LKW (17,3 t Nutzlast) [Stück]	18	18
Beladungsmenge LKW (17,3 t Nutzlast) [kg]	12.326	11.580

Hauptsächlich werden die Behälter mit einem LKW mit einer Nutzlast von 27 t transportiert (Transportrouten I, II und V-VII). Allerdings werden für die Transportschritte III und IV (Anlieferung an den Einzelhandel beider Systeme sowie Rückführung der RPC vom Einzelhandel zum Distributionszentrum) kleinere LKW mit einer Nutzlast von 17,3 t verwendet. Wie Tabelle 5 zeigt ist das Beladungsgewicht des LKW in beiden Fällen nicht überschritten, die Transportmenge wird dementsprechend durch das zur Verfügung stehende Volumen limitiert.

Inspektion und Reinigung der wiederverwendbaren Kunststoffbehälter

Die Inspektion und Reinigung der Behälter wird nur beim Mehrwegsystem durchgeführt. Der Ablauf von Inspektion und Reinigung ist schematisch in Abbildung 10 dargestellt.

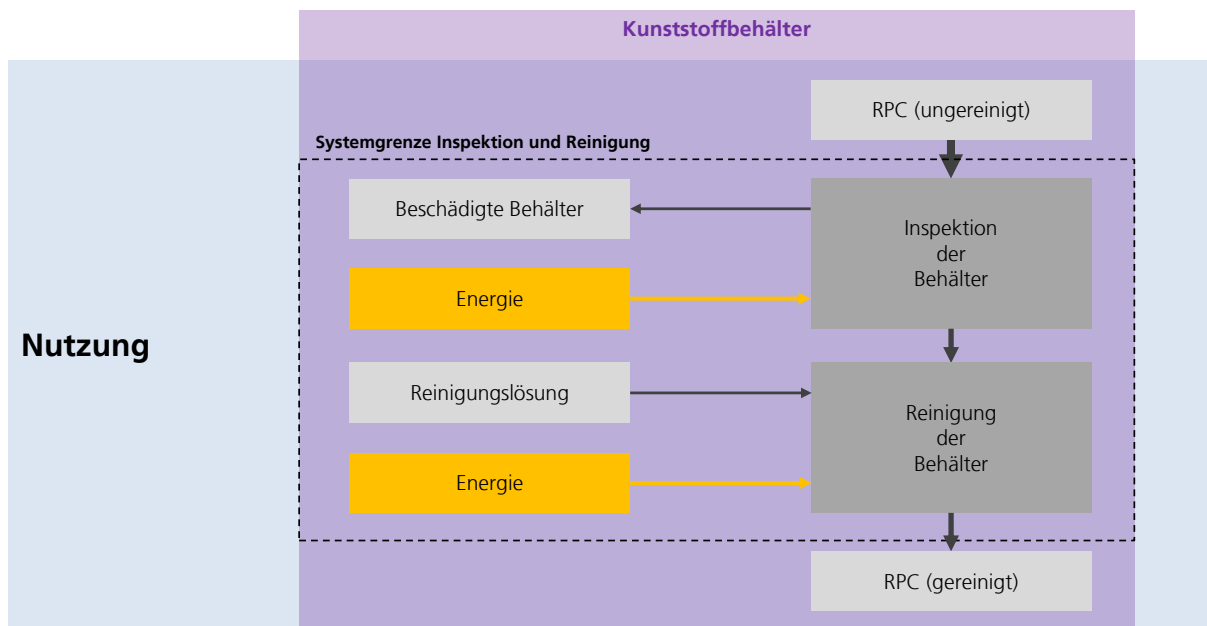


Abbildung 10: Inspektion und Reinigung der RPC im Servicezentrum

Nach jeder Nutzung findet zuerst eine Überprüfung der Behälterfunktionalität statt, wobei beschädigte Behälter aussortiert und dem Lebensende zugeführt werden. Die intakten Behälter werden nach der Inspektion gespült. Hierzu werden je Behälter durchschnittlich 0,97 L Wasser, 0,003 L Reinigungsmittel benötigt. Für Inspektion und Reinigung werden zudem elektrische und thermische Energie benötigt. Rund die Hälfte des Energiebedarfs bei der Reinigung ist thermisch [7], [16]. Im Rahmen einer Parametervariation wird die mögliche Bereitstellung der thermischen Energie durch ein Blockheizkraftwerk (BHKW) untersucht. Nach der Reinigung werden die Behälter wieder an die Lebensmittelproduzenten verteilt. Neu produzierte Behälter durchlaufen die Inspektion und Reinigung bei der ersten Auslieferung nicht. Der RPC hat eine Nutzungsdauer von 50 Umläufen und eine durchschnittliche Bruchrate je Umlauf von 0,53 % [7], [16]. Dies deckt sich mit Werten anderer, kritisch geprüfter Studien [12], [13]. Die Daten zur Inspektion und Reinigung stammen von IFCO und EPS.

3.3 Lebensende der Behälter

In diesem Kapitel wird das Lebensende beider Verpackungssysteme beschrieben. Es besteht jeweils die Möglichkeit einer stofflichen oder energetischen Verwertung. Zur stofflichen Verwertung müssen die Materialien jeweils zerkleinert und in weiteren Schritten bearbeitet werden. Bei diesen Bearbeitungsschritten wird Energie benötigt und es entstehen zusätzliche Treibhausgasemissionen, jedoch wird für die Vermeidung der Herstellung von Primärmaterialien eine Gutschrift vergeben. Bei der energetischen Verwertung werden im Rahmen der Verbrennung Treibhausgase freigesetzt. Gleichzeitig kann aber auch nutzbare elektrische Energie erzeugt werden, wofür eine entsprechende Gutschrift vergeben wird. In Abbildung 11 wird das Lebensende beider Verpackungssysteme schematisch dargestellt.

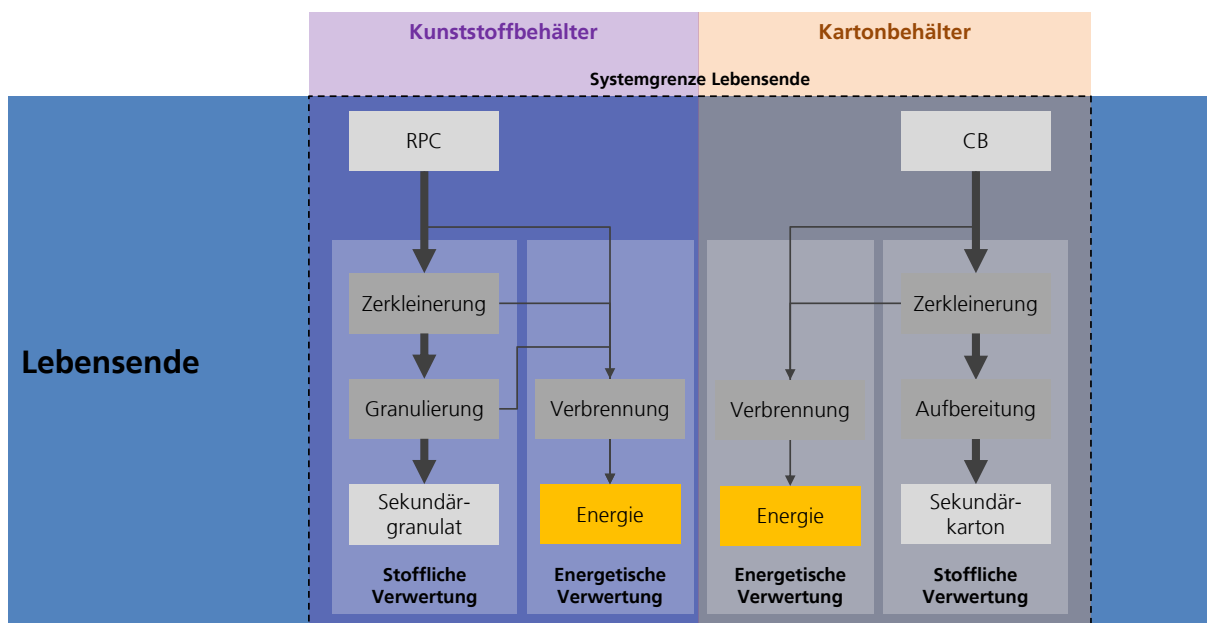


Abbildung 11: Lebensende der betrachteten Verpackungssysteme

Bei beiden Systemen findet im Basisfall anteilig sowohl eine stoffliche Verwertung als auch eine energetische Verwertung statt. Bei der stofflichen Verwertung wird der benötigte Sekundärmaterialanteil aufbereitet und im Kreislauf geführt, der zur Herstellung der CB und RPC notwendig ist (siehe Kapitel 3.1). Der verbleibende Anteil wird entsprechend der nachfolgenden beschriebenen stofflichen oder energetischen Verwertung im Modell berücksichtigt. Die angenommenen Verteilungsquoten werden im Anschluss daran beschrieben.

Stoffliche Verwertung

Bei der stofflichen Verwertung werden die verwendeten Materialien beider Verpackungssysteme aufbereitet und für die Wiederverwertung oder Weiterverwertung für weitere Anwendungen zur Verfügung gestellt, wodurch die Herstellung von (Primär-)Materialien für diese vermieden wird. In beiden Systemen müssen die Materialien zuerst verkleinert werden ehe sie weiteren Bearbeitungsschritten zugeführt werden können. Im LCA-Modell gibt es für die stoffliche Verwertung und die dadurch vermeidbare Herstellung von Primärmaterialien am Lebensende eine Gutschrift. Im Rahmen der Bewertungsmethodik werden zeitliche Aspekte der Emission von Treibhausgasen definitionsgemäß nicht betrachtet. Die Kunststoffe stehen systembedingt am Lebensende sortenrein zur Verfügung. Dies ermöglicht eine stoffliche Wiederverwertung oder Weiterverwertung in ähnlichen Anwendungsfällen. Dadurch wird die Kreislaufführung des Ma-

terials begünstigt. Das Sekundärmaterial der CB findet hauptsächlich Anwendung zur Herstellung anderer Produkte, wie Wellenstoff und Testliner [11].

Energetische Verwertung

Bei der energetischen Verwertung werden beide Verpackungssysteme jeweils in einer Müllverbrennungsanlage verbrannt und zu elektrischer und thermischer Energie umgewandelt. In der GaBi-Datenbank gibt es spezifizierte Datensätze für die Verbrennung von Karton und Kunststoff. Diese werden zur Bewertung herangezogen. Die entstehende elektrische Energie wird beim Systemvergleich als Gutschrift berücksichtigt, entstehende thermische Energie wird als Abwärme betrachtet und erfährt somit keine Gutschrift.

Angenommene Verteilungsquote

Die Verteilungsquote der Materialien am Lebensende ergibt sich aus Annahmen zur technisch möglichen Lebensdauer der Materialien. Bei Kartonagen wird davon ausgegangen, dass das Fasermaterial durchschnittlich insgesamt 6,7 Lebenszyklen durchläuft, wodurch sich der Anteil der energetischen Verwertung berechnet ($100 / 6,7 = 15 \%$) [10]. In den weiteren Lebenszyklen wird davon ausgegangen, dass das Fasermaterial für andere Anwendungen als zur Herstellung von CB verwendet wird. Durch jede stoffliche Verwertung sinkt die Faserlänge. Zu kurze Fasern werden aussortiert und zur Herstellung von Hygienepapier genutzt.

Im Falle von Kunststoff kommt es durch die stoffliche Verwertung zu einer Verkürzung der Polymerketten, wodurch die technische Qualität der Kunststoffe sinkt. Der Preis von Sekundärgranulat beläuft sich auf rund 70-85 % des Preises von Primärmaterialien. In der Betrachtung wird der Mittelwert von 77,5 % als Restwert des Sekundärmaterials angesetzt. Der Wertverlust je Nutzungszyklus des Materials beläuft sich also auf 22,5 % [3]. Wird der Kunststoff sortenrein erfasst und im Kreislauf geführt, d.h. es werden daraus identische Mehrwegbehälter produziert, kann dadurch Primärmaterial ersetzt werden und das Material erfährt keinen nennenswerten Qualitätsverlust. Im derzeitigen Basisfall beträgt die rückgeführte Menge an Sekundärmaterial ungefähr 10 % [16], die restlichen Materialien gehen annahmegemäß in eine nicht näher spezifizierte Sekundärnutzung.

4. Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der einzelnen Lebenszyklen beider Verpackungssysteme dargestellt. Grafisch sind die Lebenszyklusphasen und -abschnitte in dem vorherigen Kapitel 3 der Sachbilanz dargestellt. Betrachtet wird die in Kapitel 2.6 vorgestellte Wirkungskategorie Treibhauspotential inklusive biogenem Kohlenstoff (inkl. biogenem C).

4.1 Lebenszyklus Mehrweg-Kunststoffbehälter (RPC)

Basierend auf den zuvor ermittelten Sachbilanzwerten wird ein LCA-Modell für den Lebenszyklus des RPC Verpackungssystems erstellt und ausgewertet. Die Beiträge zum Treibhauspotential (inkl. biogenem C) sind in Tabelle 6 entlang der einzelnen Lebenszyklusphasen dargestellt.

Tabelle 6: Treibhausgasemissionen des Mehrwegsystems über den gesamten Lebenszyklus

Lebenszyklusphase	GWP (inkl. biogenem C) [kg CO ₂ -Äq.]	Relativer Beitrag
Herstellung	5.255	36 %
Nutzung	10.864	75 %
Lebensende	-1.593	-11 %
Gesamt	14.526	100 %

Ersichtlich wird, dass die Nutzungsphase der RPC einen relevanten Einfluss auf den gesamten Lebenszyklus hat. Insgesamt beträgt der anteilige Beitrag an den Treibhausgasemissionen 75 %. Dies ist zurückzuführen auf die Anzahl der Logistikprozesse sowie die Reinigung und Inspektion der RPC. In der Herstellungsphase treten 36 % der Treibhausgasemissionen auf. Aufgrund der angenommenen Nutzungsdauer von 50 Umläufen je RPC wird der anteilig zurechenbare Herstellungsaufwand relativ gering. In der Folge sinken dadurch auch die Aufwände bzw. Gutschriften am Lebensende, die durch Rückgewinnung von Material zu einer Gutschrift in Höhe von -11 % der Treibhausgasemissionen entlang des Lebenszyklus führen.

In Tabelle 7 ist eine detaillierte Darstellung der Lebensphasen und deren dazugehörigen Treibhausgasemissionen (inkl. biogenem C) der RPC aufgeführt.

Tabelle 7: Detaillierte Darstellung der Treibhausgasemissionen des Mehrwegsystems

Lebenszyklusabschnitt		GWP (inkl. biogenem C) [kg CO ₂ -Äq.]	Relativer Beitrag
Herstellung	Kunststoffgranulat	4.775	33 %
	Herstellung RPC	332	2 %
	Transport	147	1 %
Nutzung	Transport	7.632	53 %
	Inspektion und Reinigung	3.233	22 %
Lebensende	Transport	110	1 %
	Zerkleinerung und Granulierung	376	3 %
	Verbrennung	2.022	14 %
	Elektrische Energierückgewinnung	-408	-3 %
	Rückgewonnenes Sekundärgranulat	-3.693	-25 %
Gesamt		14.526	100 %

Ein Großteil der Treibhausgasemissionen in der Herstellungsphase wird durch die Produktion von Kunststoffgranulat verursacht (33 %). Die eigentliche Herstellung der RPC durch ein Spritzgussverfahren (2 %) sowie die Erstausslieferung an die Lebensmittelproduzenten (1 %) tragen nur zu geringeren Teilen bei.

Im Rahmen der Nutzung tritt der größte Teil der Treibhausgasemissionen durch Transporte (53 %) auf. Neben dem Transport der Lebensmittel an die Distributionszentren sind hierbei insbesondere der Rücktransport der gereinigten RPC zu den Lebensmittelproduzenten sowie der Transport von den Distributionszentren zu den Servicezentren relevant. Die Inspektion und das Waschen der RPC verursacht rund 22 % der Treibhausgasemissionen. Dies ist insbesondere auf den Energiebedarf zur Inspektion und Reinigung der RPC zurückzuführen.

Am Lebensende wird ein Großteil der Emissionen durch die Verbrennung von RPC (14 %) verursacht. Obwohl anteilig nur für 22,5 % der in den RPC verwendeten Materialien am Lebensende der energetischen Verwertung zugeführt werden, sind die Treibhausgasemissionen deutlich höher als durch die Zerkleinerung und die Granulierung. Zwar wird die aus der Verbrennung freigesetzte Energie zur elektrischen Energierückgewinnung genutzt, die dadurch entstehenden Gutschriften (-3 %) gleichen die Verbrennungsemissionen aber bei weitem nicht aus. Das durch die stoffliche Verwertung rückgewonnene Sekundärgranulat führt hier zu deutlich größeren Gutschriften (-25 %) und ist somit mit Blick auf die Treibhausgasemissionen als vorteilhafteres Verwertungsverfahren für die RPC zu bewerten. Die biogene CO₂-Bilanz befindet sich in Anhang A2 – Biogene CO₂-Bilanz.

4.2 Lebenszyklus Einweg-Kartonbehälter (CB)

Analog zum Vorgehen in Kapitel 4.1 wird ein LCA-Modell für den Lebenszyklus des CB Verpackungssystems erstellt und ausgewertet. Die Beiträge zum Treibhauspotential (inklusive biogenem C) sind Tabelle 8 entlang der einzelnen Lebenszyklusphasen dargestellt.

Tabelle 8: Treibhausgasemissionen des Einwegsystems über den gesamten Lebenszyklus

Lebenszyklusphase	GWP (inkl. biogenem C) [kg CO ₂ -Äq.]	Relativer Beitrag
Herstellung	-39.681	-105 %
Nutzung	1.157	3 %
Lebensende	76.246	202 %
Gesamt	37.723	100 %

Ersichtlich ist, dass die Nutzungsphase der CB nur einen geringen Einfluss auf die gesamten Treibhausgasemissionen hat (3 %). Gleichzeitig sind allerdings die Lebenszyklusphasen Herstellung (-105 %) und Lebensende (202 %) deutlich relevanter.

Bei der Betrachtung des Treibhauspotentials (inkl. biogenem C) wird deutlich, dass in der Herstellungsphase durch die Einbindung von biogenem Kohlenstoff eine insgesamt negative Emission auftritt. Der hier eingebundene Kohlenstoff wird jedoch am Lebensende wieder freigesetzt, wodurch die Emissionen am Lebensende deutlich höher sind.

In Tabelle 9 sind die Treibhausgasemissionen inklusive biogenem C der CB detailliert dargestellt.

Tabelle 9: Detaillierte Darstellung der Treibhausgasemissionen des Einwegsystems

Lebenszyklusabschnitt		GWP (inkl. biogenem C) [kg CO ₂ -Äq.]	Relativer Beitrag
Herstellung	Rohstoffgewinnung	-115.256	-306 %
	Papier- und Zellstoffproduktion	70.182	186 %
	Herstellung CB	5.196	14 %
	Transport	198	1 %
Nutzung	Transport	1.157	3 %
Lebensende	Transport	476	1 %
	Zerkleinerung und Aufbereitung	20.741	55 %
	Verbrennung	15.053	40 %
	Elektrische Energierückgewinnung	-2.083	-6 %
	Rückgewonnenes Sekundärmaterial ³	42.060	111 %
Gesamt		37.723	100 %

Im Rahmen der Rohstoffgewinnung fällt zunächst die große CO₂-Einbindung auf (-306 %). Während des Wachstums der verwendeten Bäume wird eine entsprechende Menge an Kohlenstoff eingebunden, wodurch der bilanzmäßig negative Beitrag zustande kommt. Jedoch werden während der Papier- und Zellstoffproduktion (vornehmlich Kraftliner und Semichemical Fluting) hauptsächlich durch den Energiebedarf große Mengen an Treibhausgasen (186 %) emittiert. Die eigentliche Herstellung der CB trägt nur in geringerem Umfang zu den Herstellungsemissionen bei (14 %). Kaum ins Gewicht fällt der Transportprozess zu den Lebensmittelproduzenten (1 %).

Im Rahmen der Nutzungsphase fallen bei den CB lediglich durch Transporte verursachte Emissionen an (3 %).

Das Lebensende der CB verursacht über den Lebenszyklus betrachtet die höchsten Treibhausgasemissionen. Das Aufbereiten ist energieintensiv und verursacht dementsprechend hohe Emissionen (55 %). Zwar kann durch die energetische Verwertung von Kartonagen die gebundene Energie rückgewonnen werden, die Gutschriften (-6 %) dafür gleichen jedoch nicht die bei der Verbrennung freiwerdenden Emissionen (40 %) aus. Auch die Rückgewinnung von Zellstoff trägt in großem Umfang zu den Treibhausgasemissionen bei, da der Prozess einerseits energieintensiv ist, andererseits aber auch keine Einbindung von biogenem Kohlenstoff (wie bei Primärmaterialien) gutgeschrieben werden kann (111 %). Die biogene CO₂-Bilanz befindet sich in Anhang A2 – Biogene CO₂-Bilanz.

³ Stofflich gebundener Kohlenstoff, welcher in den nächsten Materiallebenszyklus weitergeführt wird. Solange nicht eine Einbindung für mindestens 100 Jahre gewährleistet ist, muss der Kohlenstoff rechnerisch wieder aus dem System geführt und in den nächsten Lebenszyklus übertragen werden (siehe Anhang A2—3).

5. Interpretation

Im Rahmen der Interpretation werden die beiden Verpackungssysteme in Hinblick auf ihre Treibhausgasemissionen verglichen. Weiterhin wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um Parameter zu identifizieren die Einfluss auf das Gesamtergebnis haben um die Stabilität des Modells des Modells sicherzustellen.

5.1 Vergleich der Systeme

Das Hauptziel der Studie ist neben der Identifikation der jeweiligen Treiber beider Verpackungssysteme der Vergleich hinsichtlich ihrer Treibhausgasemissionen entlang des gesamten Lebenszyklus. Hierzu werden die ermittelten Emissionen der einzelnen Lebenszyklusphasen des jeweiligen Verpackungssystems aufsummiert und gegenübergestellt.

Abbildung 12 stellt die Treibhausgasemissionen inklusive der Einbindung und Emission von biogenem Kohlenstoff der beiden Systeme entlang ihres jeweiligen Lebenszyklus gegenüber.

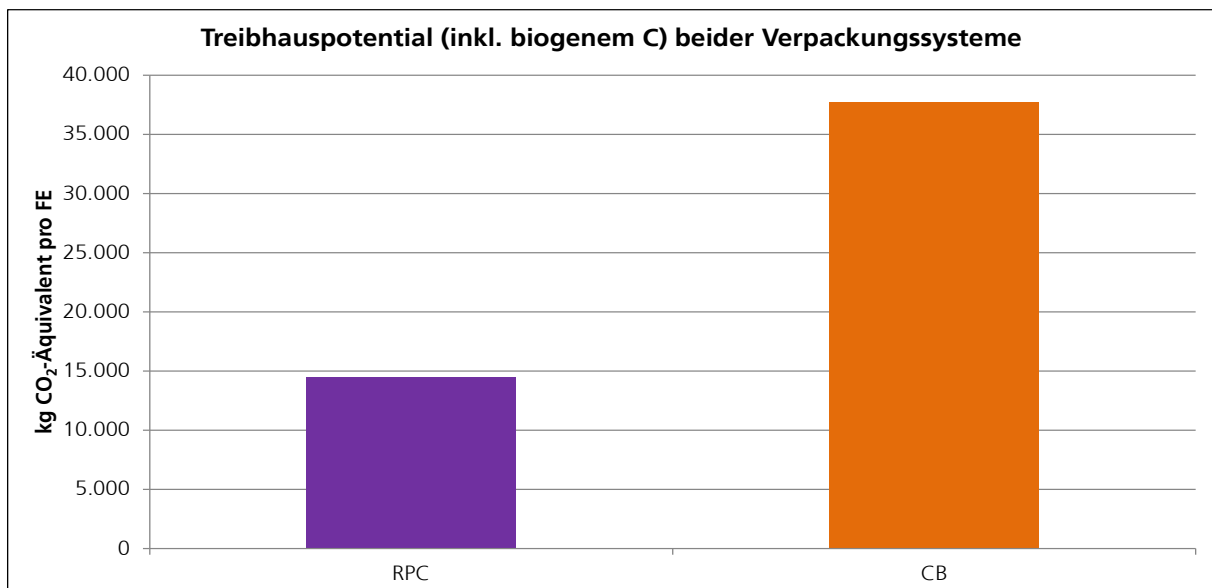


Abbildung 12: Gegenüberstellung der Treibhausgasemissionen von RPC und CB

Dabei zeigt sich, dass die RPC (violett) zur Erfüllung der als funktionellen Einheit definierten Transportaufgabe von 1.000 t Obst und Gemüse um rund 60 % geringere Treibhausgasemissionen über den Lebenszyklus als die CB (orange) verursachen.

Tabelle 10 stellt die absoluten Beiträge zum GWP (inkl. biogenem C) über den Lebenszyklus aufgeschlüsselt nach den Lebenszyklusphasen dar.

Tabelle 10: Vergleich von RPC und CB über den Lebenszyklus

Lebenszyklusphase	GWP (inkl. biogenem C) [kg CO ₂ -Äq.]	
	RPC	CB
Herstellung	5.255	-39.681
Nutzung	10.865	1.157
Lebensende	-1.593	76.246
Gesamt	14.526	37.723

Bei den RPC ist die Nutzung die dominierende Lebenszyklusphase. Dies ist auf die im Vergleich zu den CB aufwändigere Logistik durch Rückführung zu Servicezentren und die Wiederauslieferung zu Lebensmittelproduzenten sowie die Inspektion und Reinigung zurückzuführen. Die RPC haben im Vergleich zu den CB zudem ein höheres Gewicht, dementsprechend resultiert aus ihrem Transport ein höherer Dieselverbrauch der LKWs. Durch effiziente Recyclingprozesse können die Materialien mit geringen Qualitätsverlusten wieder zur Verfügung gestellt werden; wofür entsprechende Gutschriften vergeben werden. Dies ist hier durch eine negative Emission⁴ dargestellt. Die Herstellung der RPC trägt insgesamt rund ein Drittel zu den Treibhausgasemissionen über den Lebenszyklus bei, was insbesondere durch die Herstellung des Kunststoffgranulats verursacht wird.

Bei den CB hat die Nutzung geringere Treibhausgasemissionen. Dies resultiert vor allem aus dem im Vergleich zu den RPC geringeren Logistikaufwand sowie dem geringeren Gewicht der CB. Im Rahmen der Herstellung treten negative Emissionen auf, was auf die Einbindung von biogenem Kohlenstoff durch das zur Papier- und Zellstoffherstellung verwendete Holz zurückzuführen ist. Am Lebensende wird der gebundene biogene Kohlenstoff jedoch entweder durch Verbrennung wieder freigesetzt oder im Rahmen einer stofflichen Weiterverwendung dem nächsten Lebenszyklus zugewiesen. Dazu wird die dem Material ursprünglich zugeschriebene biogene Kohlenstoffeinbindung auf den nächsten Lebenszyklus übertragen, da eine Einbindung von mindestens 100 Jahre in diesem Produkt nicht zu erwarten ist. Eine separate Darstellung des biogenen Anteils des GWP findet sich in Anhang A2 – Biogene CO₂-Bilanz, eine erläuternde Darstellung in Anhang A3 – Kohlenstoffkreislauf.

Über den Lebenszyklus betrachtet wird der höhere Herstellungsaufwand der RPC durch die Wiederverwendung kompensiert und resultiert dadurch in insgesamt niedrigeren Treibhausgasemissionen. Je öfter die RPC wiederverwendet werden, desto geringer werden die Treibhausgasemissionen zur Erfüllung der funktionellen Einheit. Weitere Untersuchungen zu den Umlaufzahlen der RPC finden sich in Kapitel 5.2.2, Kapitel 5.3 und Anhang A1 – Sensitivitätsanalyse.

⁴ Durch die Vermeidung der primären Herstellung von Kunststoffen bedingt.

5.2 Sensitivitätsanalyse

Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse werden Annahmen identifiziert, die potentiell einen relevanten Einfluss auf die betrachteten Systeme haben und in Abstimmung mit dem Auftraggeber als plausibel und technisch möglich eingestuft wurden. Durch einer Variation dieser Annahmen (Parametervariation) werden die Auswirkungen der variierten Werte oder geänderten Annahmen auf das Gesamtsystem hin untersucht. Die untersuchten Parametervariationen sind in Tabelle 11 aufgeführt. Dabei ist für jeden Parameter der Basiswert sowie der variierte Wert aufgeführt. Zudem liefert diese Tabelle einen Überblick über den relativen Einfluss der Parametervariationen auf die betrachteten Verpackungssysteme. Alle relativen Angaben beziehen sich dabei auf den Basisfall der jeweiligen Verpackungssysteme.

Tabelle 11: Parametervariationen

Beschreibung und Annahmen der Parametervariation				Ergebnisse	
Nr.	Parameter	Basiswert	Variation	RPC	CB
1a	Entfernung Holzanbau - Zellstoffproduktion	FEFCO 2015 (Tabelle 17) [11]	+20 %	0,0 %	0,2 %
1b	Entfernung Holzanbau - Zellstoffproduktion		-20 %	0,0 %	-0,2 %
2a	Entfernung RPC-Herstellung - Lebensmittelproduzent	921 km	600 km	-0,4 %	0,0 %
2b	Entfernung RPC-Herstellung - Lebensmittelproduzent	921 km	1.200 km	0,3 %	0,0 %
3a	Anteil Primärgranulat RPC-Herstellung	90,1 %	50 %	-7,9 %	0,0 %
3b	Anteil Primärgranulat RPC-Herstellung	90,1 %	0 %	-17,7 %	0,0 %
4a	Umläufe RPC	50	25	19,9 %	0,0 %
4b	Umläufe RPC	50	100	-10,0 %	0,0 %
5a	Transportdistanz Lebensmittelproduzent - Distributionszentrum	409 km	300 km	-10,3 %	-0,7 %
5b	Transportdistanz Lebensmittelproduzent - Distributionszentrum	409 km	600 km	18,0 %	1,2 %
6a	Transportentfernung Distributionszentrum - Einzelhandel	50 km	20 km	-3,4 %	-0,2 %
6b	Transportentfernung Distributionszentrum - Einzelhandel	50 km	100 km	5,6 %	0,4 %
7	BHKW zur Energieerzeugung bei Reinigung (thermische Energie)	0 %	100 %	-1,0 %	0,0 %
8a	Anteil stoffliche Verwertung RPC	77,5 %	100 %	-17,6 %	0,0 %
8b	Anteil stoffliche Verwertung RPC	77,5 %	0 %	60,5 %	0,0 %
9a	Anteil stoffliche Verwertung CB	85 %	100 %	0 %	-1,5 %
9b	Anteil stoffliche Verwertung CB	85 %	0 %	0 %	8,4 %
10	Gutschrift für thermische Energie	0 %	100 %	-5,4 %	-7,6 %

Die Parameter 1 und 2 untersuchen den Einfluss variierender Transportentfernungen bei der Herstellung und Erstausslieferung der Verpackungssysteme. Parameter 3 analysiert den Einfluss unterschiedlicher Mengenanteile von Sekundärgranulat auf die Herstellung der RPC. Die Parameter 4-6 untersuchen unterschiedliche Ausprägungen der Nutzungsphase beider Verpackungssysteme. Parameter 7 analysiert in Abstimmung mit dem Auftraggeber den Einfluss einer alter-

nativen Energiebereitstellung in den Servicezentren. Die Parameter 8-10 variieren das Lebensende und die resultierenden Gutschriften für beide Verpackungssysteme. Die gewählten Variationen werden in der Darstellung der jeweiligen Ergebnisse erläutert.

Abbildung 13 stellt die relativen Abweichungen zum Basisfall grafisch dar, sortiert nach ihrem Einfluss auf das Gesamtergebnis. Dabei wurden Parametervariationen die keinerlei Einfluss auf die betrachteten Verpackungssysteme haben aus Gründen einer besseren Übersichtlichkeit nicht aufgeführt. Es zeigt sich, dass die Variationen 8b, 4a, 5b, 3b, 8a, 5a und 4b die Ergebnisse für die RPC (violett) zu über 10 % beeinflussen, während die Ergebnisse für die CB (orange) bei keiner Parametervariation um mehr als 10 % abweichen. Der Einfluss der untersuchten Parameter auf die RPC ist also stärker als auf die CB.

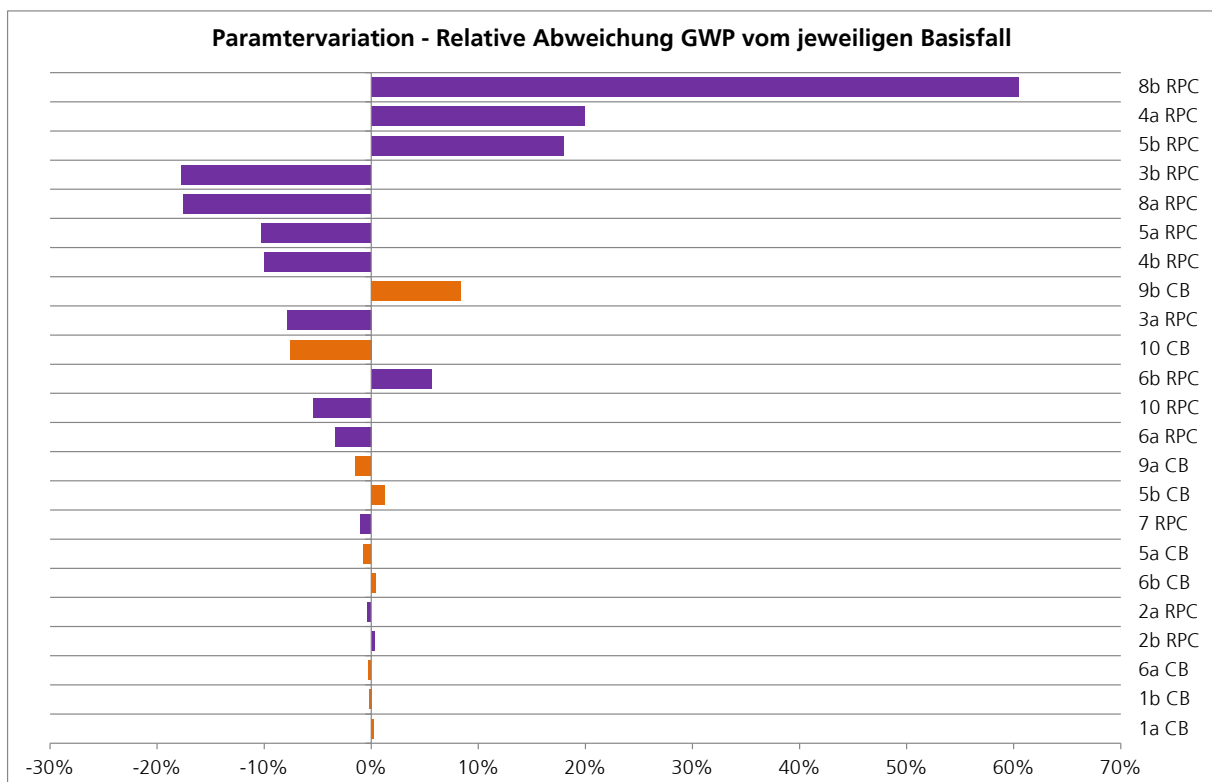


Abbildung 13: Parametervariation - relative Abweichung der Beiträge zum GWP vom jeweiligen Basisfall, sortiert nach Größe des Einflusses

In den folgenden Abschnitten wird die Gruppe der Parametervariationen beschrieben, in der eine Variation das jeweilige Gesamtergebnis um mehr als 10 % beeinflusst. Gruppen in der die gesamte Parametervariation einem geringeren Einfluss hat, werden im Anhang A1 – Sensitivitätsanalyse beschrieben.

5.2.1 Herstellung

Anteil des verwendeten Primärgranulats bei der Herstellung von RPC (Parametervariation 3a/3b)

In dieser Studie wird davon ausgegangen, dass die RPC zu 90 % aus Primärmaterialien gefertigt werden. Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse wird dieser Wert auf 50 % (3a) bzw. 0 % (3b) reduziert. Tabelle 12 zeigt die Auswirkungen der Parametervariation.

Tabelle 12: Auswirkungen von Parametervariation 3a & 3b der RPC im Vergleich zum Basisfall

	3a	3b	Basisfall
Anteil Primärgranulat RPC-Herstellung	50 %	0 %	90,1 %
GWP [kg CO ₂ -Äq.]	13.386	11.950	14.526
Relative Abweichung	-7,9 %	-17,7 %	-

Ersichtlich wird, dass eine Reduzierung des Anteils von Primärmaterialien bei der Herstellung der RPC zu einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen führt.

5.2.2 Nutzung und Transport

Umläufe RPC (Parametervariation 4a/4b)

Die Anzahl der Umläufe der RPC ist im Basisfall auf 50 festgelegt. Dieser Wert wird in der Praxis tendenziell überschritten. Im Rahmen einer Parametervariation wird der Einfluss der Umläufe und damit der technischen Lebensdauer der RPC untersucht; dies deckt auch eine Variation der Bruchrate ab ⁵. Dazu wird die Anzahl der Umläufe je RPC auf 25 halbiert (4a) bzw. auf 100 verdoppelt (4b). Tabelle 13 zeigt die Ergebnisse der Parametervariation.

Tabelle 13: Auswirkungen von Parametervariation 4a & 4b der RPC im Vergleich zum Basisfall

	4a	4b	Basisfall
Umläufe RPC	25	100	50
GWP [kg CO ₂ -Äq.]	17.421	13.079	14.526
Relative Abweichung	19,9 %	-10,0 %	-

Die Halbierung der Umlaufzahlen führt zu einer Erhöhung der Treibhausgasemissionen um fast 20 %, während durch eine Verdoppelung der Umlaufzahlen die Treibhausgasemissionen um rund 10 % reduziert werden können.

Da die tatsächliche Lebensdauer der eingesetzten RPC derzeit im Durchschnitt bei über 50 Umläufen liegt, ist in der Praxis von geringeren Treibhausgasemissionen als im Basisfall auszugehen. Eine Nutzung der RPC über 50 Umläufe hinaus führt zu einer weiteren Reduktion der im Basisfall berechneten Treibhausgasemissionen.

⁵ Die Variation der RPC-Umläufe deckt zusätzlich eine Variation der Bruchrate ab. Beim Basisfall bedeutet die Variante „25 Umläufe“ eine Bruchrate von ca. 1%.

Transportdistanz Lebensmittelproduzent zu Distributionszentrum (RPC & CB; Parametervariation 5a/5b)

Die durchschnittliche Transportentfernung (409 km) vom Lebensmittelproduzenten zu den Distributionszentren des Einzelhandels wurde aus Primärdaten von EPS und IFCO berechnet. Auf Grund der Ausrichtung der Studie ist diese Transportentfernung für RPC und CB als identisch angesetzt. Im Rahmen von Parametervariation 5a und 5b wird die Auswirkung einer kürzeren (300 km) bzw. längeren (600 km) Transportdistanz auf die Treibhausgasemissionen beider Verpackungssysteme untersucht. Bei den RPC wird der Effekt einer Änderung der Transportdistanzen durch den Rücktransport nochmals verstärkt, da eine kürzere Transportentfernung vom Lebensmittelproduzenten zum Distributionszentrum auch zu einer entsprechenden Verkürzung der Rücktransporte von Servicezentrum zu Lebensmittelproduzenten führt. Dies gilt analog auch für eine Erhöhung der Transportentfernung. Bei den CB tritt dieser Effekt auf Grund des fehlenden Rücktransportes nicht auf.

Tabelle 14 und Tabelle 15 stellen die Auswirkungen einer Veränderung der Transportentfernungen zwischen Lebensmittelproduzenten und Distributionszentrum dar.

Tabelle 14: Auswirkungen von Parametervariation 5a & 5b der RPC im Vergleich zum Basisfall

	5a RPC	5b RPC	Basisfall
Transportdistanz Lebensmittelproduzent - Distributionszentrum	300 km	600 km	409 km
GWP [kg CO ₂ -Äq.]	13.034	17.142	14.526
Relative Abweichung	-10,3 %	18,0 %	-

Tabelle 15: Auswirkungen von Parametervariation 5a & 5b der CB im Vergleich zum Basisfall

	5a CB	5b CB	Basisfall
Transportdistanz Lebensmittelproduzent - Distributionszentrum	300 km	600 km	409 km
GWP [kg CO ₂ -Äq.]	37.455	38.192	37.723
Relative Abweichung	-0,7 %	1,2 %	-

Die Ergebnisse der RPC sind hier deutlich stärkeren Änderungen unterworfen. Dies liegt zum einen am zuvor genannten doppelten Einfluss des Parameters, der auch zu einer Änderung der Transportdistanzen für den Rücktransport der gereinigten RPC zum Lebensmittelproduzenten führt. Durch das höhere Gewicht der RPC im Vergleich zu den CB ist wie zuvor beschrieben der Transport im Verhältnis relevanter. Eine Änderung von Transportdistanzen führt deshalb hier zu einer stärkeren Veränderung der Ergebnisse als bei den CB.

5.2.3 Lebensende

Stoffliche Verwertung der RPC (Parametervariation 8a/8b)

Derzeit wird ein Großteil der eingesetzten RPC (77,5 %) am Lebensende stofflich verwertet. Im Rahmen einer Parametervariation wird untersucht, wie sich eine vollständige stoffliche Verwertung (Parametervariation 8a; 100 %) bzw. eine vollständige energetische Verwertung (Parametervariation 8b; 0 %) auf die Treibhausgasemissionen auswirken.

Die aktuelle Annahme zum Anteil der stofflichen Verwertung beläuft sich auf 77,5 % (vgl. Kapitel 3.3). Aktuell gibt es aber Bestrebungen, die RPC zu 100 % mit aus alten RPC gewonnenem Recyclinggranulat herzustellen. Erste Studien hierzu gehen davon aus, dass durch die Verwendung von sortenreinen Materialien eine theoretisch unbegrenzte Anzahl von Lebenszyklen möglich ist. Der Prozess wird derzeit von der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) zertifiziert. Um dies zu bewerten wird im Rahmen von Parametervariation 6a der Anteil der stofflichen Verwertung auf 100 % festgesetzt. Um den Einfluss des Parameters vollständig abzubilden wird als Extremwertszenario eine stoffliche Verwertung von 0 % (also eine vollständige energetische Verwertung) angenommen. Tabelle 16 zeigt die Ergebnisse der Parametervariation.

Tabelle 16: Auswirkungen von Parametervariation 8a & 8b der RPC im Vergleich zum Basisfall

	8a	8b	Basisfall
Anteil stoffliche Verwertung RPC	100 %	0 %	77,5 %
GWP [kg CO ₂ -Äq.]	11.975	23.313	14.526
Relative Abweichung	-17,6 %	60,5 %	-

Eine vollständige stoffliche Verwertung führt zu einer Reduktion der Treibhausgasemissionen um knapp 18 %; eine vollständig energetische Verwertung führt hingegen zu rund 60 % höheren Treibhausgasemissionen. Für die RPC ist die stoffliche Verwertung also mit Blick auf Treibhausgasemissionen die sinnvollere Lösung.

5.3 Break-Even-Analyse

Für jeden Umlauf des Einwegsystems muss ein neuer CB produziert werden. Beim Mehrwegsystem werden die Verpackungen hingegen wiederverwendet. Im Basisfall wird davon ausgegangen, dass eine RPC 50-mal wiederverwendet wird bevor das Material stofflich verwertet wird. In der Praxis liegt die Nutzung aber derzeit bereits über 50 Umläufen.

Um die Auswirkungen der Lebensdauern der RPC auf das Gesamtergebnis darzustellen wurde das durchschnittliche Treibhauspotential je Umlauf eines Behälters in Abhängigkeit der Nutzungszyklen berechnet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 14 dargestellt.

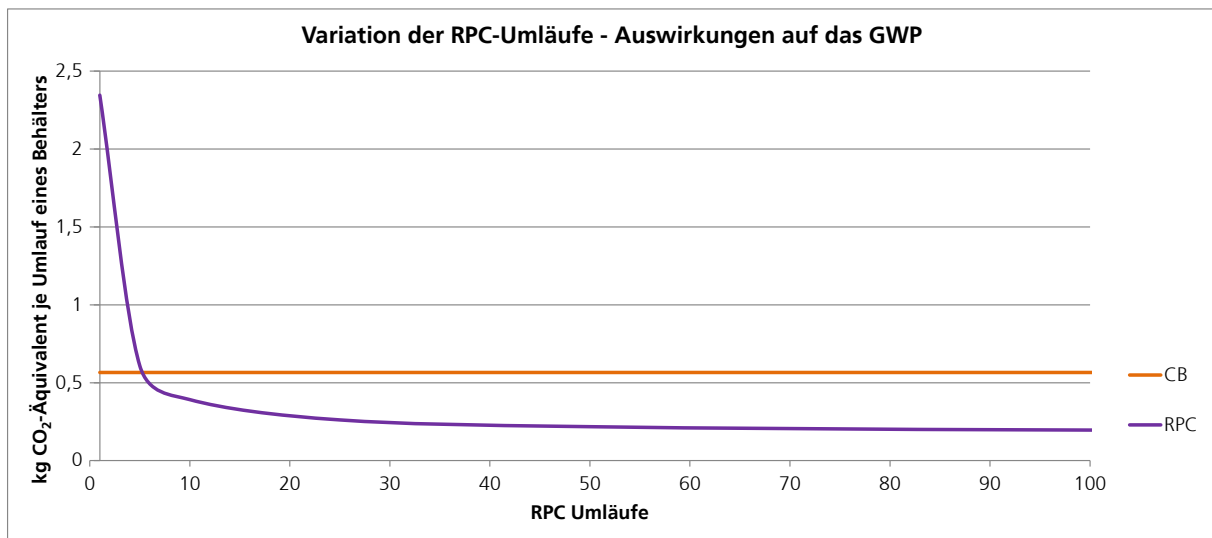


Abbildung 14: Break-Even-Analyse in Abhängigkeit der RPC-Umläufe

Es zeigt sich, dass die Treibhausgasemissionen der RPC bereits ab der 6. Nutzung unter den Treibhausgasemissionen der CB liegen. Gleichzeitig ist auch zu erkennen, dass die Reduktion der Treibhausgasemissionen je Umlauf langsam abnimmt. Bei 100 Nutzungszyklen beläuft sich die Emission auf 0,20 kg CO₂-Äq. Der Grenzwert wird dabei durch die Emission der Nutzungsphase bestimmt, da jeder Umlauf einer RPC einen vollständigen Logistik-Zyklus erfordert. Dieser Grenzwert beläuft sich in der aktuellen Analyse auf 0,16 kg CO₂-Äq. Das zusätzliche Reduktionspotential durch eine Erhöhung der Umläufe sinkt dabei immer weiter. Bei 50 Nutzungszyklen beläuft sich die Treibhausgasemission je Umlauf auf 0,22 kg CO₂-Äq., bei 100 Umläufen auf 0,20 kg CO₂-Äq. Je Umlauf. Dies entspricht einer durchschnittlichen Reduktion um 0,2 % je zusätzlichem Umlauf zwischen 50 und 100 Nutzungszyklen. Bei 500 Nutzungszyklen beläuft sich die Emission auf 0,18 kg CO₂-Äq., je zusätzlichem Umlauf über 100 Nutzungszyklen liegt die Reduktion hier nur noch bei 0,02 %. Die Treibhausgasemissionen der CB liegen bei 0,57 kg CO₂-Äq. je Umlauf.

6. Fazit

Die vorliegende Studie zur Quantifizierung des CO₂-Fußabdrucks von Verpackungssystemen wurde entsprechend der Anforderungen von ISO 14040 [19] und ISO 14044 [20] erstellt.

Untersucht wurden die beiden Verpackungssysteme mit der größten Marktrelevanz. Hierbei handelt es sich um wiederverwendbare, klappbare Kunststoffbehälter (RPC) und Einweg-Kartonbehälter (CB). Für beide Verpackungssysteme wurden dabei Herstellung, Nutzung und Lebensende betrachtet. Ausgeschlossen von der Betrachtung war die Herstellung von Infrastruktur (Gebäude, Produktionsanlagen, LKW für Logistikprozesse).

Die Studie zeigt mit ihrem Ergebnis, dass das Mehrwegsystem (RPC) geringere Treibhausgasemissionen im Vergleich zum Einwegsystem (CB) aufweist. Über den gesamten Lebenszyklus hinweg verursachen die RPC für den betrachteten Basisfall rund 60 % weniger treibhausgasrelevante Emissionen als die CB.

Durch das Wiederverwenden der RPC sind die anteilig zurechenbaren Treibhausgasemissionen von Herstellung und Lebensende unter Berücksichtigung der angenommenen Lebensdauer sehr niedrig. Bei den CB ist im Rahmen der Herstellungsphase der in den nachwachsenden Rohstoffen gebundene biogene Kohlenstoff mit einer Gutschrift belegt, der am Lebensende des Produktes das System im Material gebunden oder als Emission wieder verlässt (siehe Anhang A3 – Kohlenstoffkreislauf). Die Papier- und Zellstoffproduktion ist energieintensiv und damit in der vorliegenden Betrachtung einer der Haupttreiber von Treibhausgasemissionen. Die Nutzungsphase der RPC verursacht im Vergleich zu den CB höhere Emissionen, diese werden jedoch durch die geringeren Emissionen der Herstellung und des Lebensendes der RPC ausgeglichen. Die höheren Treibhausgasemissionen der RPC während der Nutzung sind auf die aufwändigeren Logistikprozesse, das höhere Gewicht der Behälter, sowie die Reinigung der benutzten Behälter zurückzuführen. Die Treibhausgasemissionen wurden auf Basis der tatsächlich erbrachten Transportleistung der RPC von EPS und IFCO berechnet [7], [16]. Zum Vergleich wurden die Treibhausgasemissionen für die Erbringung derselben Transportaufgabe mit CB berechnet. Die Ergebnisse und Erkenntnisse der Studie beziehen sich auf *die Distribution von 1.000 t Obst oder Gemüse in Kunststoffmehrwegbehältern RPC oder in Kartoneinwegbehältern CB* unter den in Ziel und Untersuchungsrahmen zu Grunde gelegten Annahmen und Limitierungen.

Die abschließende Sensitivitätsanalyse zeigt die Stabilität des Modells durch Variation ausgewählter Parameter. Der Einfluss auf das Gesamtergebnis fällt bei den RPC insgesamt größer aus als bei den CB. Jedoch sind die Treibhausgasemissionen der CB über den Lebenszyklus in allen betrachteten Parametervariationen höher als die der RPC.

Die Ergebnisse der Studie sind grundsätzlich auch auf andere europäische Länder übertragbar. Die Einschränkungen und Limitierungen aus Kapitel 2.7 sind dabei zu berücksichtigen. Es kann davon ausgegangen werden, dass Herstellung und Verwertung beider Verpackungssysteme dadurch nicht beeinflusst werden und lediglich Änderungen bei den Transportdistanzen auftreten. Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse zeigt sich, dass bei einer Änderung der Transportdistanzen die grundsätzliche Aussage der Studie, nämlich dass RPC über den Lebenszyklus geringere Treibhausgasemissionen verursachen, weiterhin gültig ist.

Die Studie identifiziert die Treibhausgasemissionen von RPC und CB entlang des Lebenszyklus beider Systeme. Die gewonnen Erkenntnisse können von Stakeholdern und der interessierten

Öffentlichkeit genutzt werden. Durch den Vergleich der Verpackungssysteme wird Akteuren am Markt eine Entscheidungsunterstützung bei der Auswahl von Transportverpackungssystemen im Hinblick auf Klimaeffekte gegeben. In diesem Zusammenhang ist besonders darauf hinzuweisen, dass die hier betrachteten Transportverpackungen vor allem dem Schutz des transportierten Gutes Obst und Gemüse dienen, dessen Carbon Footprint um ein vielfaches höher sein kann. Gleichzeitig können die berechneten Ergebnisse gegebenenfalls in Umweltberichten von Partnerunternehmen oder Kunden Verwendung finden.

Literatur

- [1] ADEME (2000): Analyse du cycle de vie des caisses en bois, carton ondulé et plastic pour pommes (LCA of wooden boxes, cardboard boxes and plastic crates for apples). Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, 2000.
http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/28246_acvs.pdf (Stand: 30.01.2018)
- [2] All4pack (2016): Packaging: Market and Challenges in 2016.
- [3] Bekuplast (2015): Bekuplast GmbH, Industriestraße 1, D-49824 Ringe; Persönliche Kommunikation 15.09.2015.
- [4] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2014): Die deutsche Klimaschutzpolitik <https://www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/nationale-klimapolitik/> (Stand: 30.01.2018)
- [5] Eurostat. (n.d.). Europäische Union: Gesamtbevölkerung in den Mitgliedsstaaten im Jahr 2017 und Prognosen für 2030, 2050 und 2080 (in Millionen Einwohner). In Statista - Das Statistik-Portal. Zugriff am 25. Januar 2018, von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/164004/umfrage/prognostizierte-bevoelkerungsentwicklung-in-den-laendern-der-eu/>.
- [6] EUROSTAT: Pressemitteilung "Äpfel und Tomaten standen 2015 in der EU an der Spitze der Obst- bzw. Gemüseerzeugung" 22.06.2016.
<http://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/7517622/5-22062016-AP-DE.pdf/e1ff4cf0-0422-401b-a1d1-5612a3e11983> (Stand: 30.01.2018)
- [7] Euro Pool Systems (2017): Primärdatenerhebung zu Herstellung, Sekundärgranulatanteil, Transportentfernungen, Transportauslastung, Flottenmix, Umlaufzahlen, Bruchraten, Reinigung, Inspektion und Verwertung; von Fraunhofer IBP durchgeführt.
- [8] Euro Pool Systems (2015): Product datasheet Euro Pool System – Trays. Green Packaging. <http://www.europoolsystem.com/UploadBestanden/bfed4204-8313-400b-88b0-8ab45bfcc846.pdf> (Stand: 30.01.2018)
- [9] FEFCO (2016): Annual Statistics 2016.
http://www.fefco.org/sites/default/files/documents/Fefco_AnnualEvaluation_2016.pdf (Stand: 30.01.2018)
- [10] FEFCO (2012): 2012 European Database for Corrugated Board Life Cycle Studies.
http://www.fefco.org/sites/default/files/documents/LCA%20report%202012_0.pdf (Stand: 30.01.2018)
- [11] FEFCO (2015): European Database for Corrugated Board Life Cycle Studies.
<http://www.fefco.org/sites/default/files/lca-report-2015.pdf> (Stand: 30.01.2018)
- [12] Franklin Associates (2016): Comparative Life Cycle Assessment of Reusable Plastic Containers and Display- and non-display-ready Corrugated Containers used for fresh produce applications.
- [13] Fraunhofer IBP, Universität Stuttgart LBP, PE International (2009): Nachhaltigkeit von Verpackungssystemen für Obst- und Gemüsetransporte in Europa basierend auf einer Lebenszyklusanalyse – Aktualisierung 2009.
- [14] IFCO (2017a): Environmental Responsibility.
<https://www.ifco.com/de/en/responsibility/b44714d87758e685#environmental> (Stand: 30.01.2018)

- [15] IFCO (2017b): Green Lift Lock. Technical Specifications.
<https://cdn1.scrvt.com/f152d078e18222739495b38742ac2b85/c5a6718b25f6c6ca/84a45f1ba571/IFCO-DS-1020-GREEN-LL-DE-DE-03-17.pdf> (Stand: 30.01.2018)
- [16] IFCO (2017c): Primärdatenerhebung zu Herstellung, Anteil an Sekundärgranulat, Transportentfernungen, Transportauslastung, Flottenmix, Umlaufzahlen, Bruchraten, Reinigung, Inspektion und Verwertung; von Fraunhofer IBP durchgeführt.
- [17] Ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (2010); Zusammenfassung der Handreichung zur Diskussion um Einweg- Mehrweggetränkeverpackungen
- [18] IPCC (2007): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [19] ISO 14040 Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework, 2006
- [20] ISO 14044 Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines, 2006
- [21] JRC (2017): Life Cycle Impact Assessment.
http://eplca.jrc.ec.europa.eu/?page_id=1159 (Stand: 30.01.2018)
- [22] Kreissig & Kümmel Kreißig, J. und J. Kümmel (1999): Baustoff-Ökobilanzen. Wirkungsabschätzung und Auswertung in der Steine-Erden-Industrie. Hrsg. Bundesverband Baustoffe Steine + Erden e.V.
- [23] PlasticsEurope (2014): Eco-profiles. <http://www.plasticseurope.org/plastics-sustainability-14017/eco-profiles.aspx> (Stand: 30.01.2018)
- [24] SIM (2013): Satzung der Stiftung Initiative Mehrweg. <http://www.stiftung-mehrweg.de/downloads/satzung.pdf> (Stand: 30.01.2018)
- [25] thinkstep (2017a): GaBi life cycle inventory data documentation. <http://www.gabi-software.com/support/gabi/gabi-database-2017-lci-documentation/> (Stand: 30.01.2018)
- [26] thinkstep (2017b): GaBi Software-System and Database for Life Cycle Engineering. Copyright © 1992-2017, thinkstep AG
- [27] United Nations (2015): Sustainable Development Goals – Climate action.
<http://www.un.org/sustainabledevelopment/climate-change-2/> (Stand: 30.01.2018)
- [28] United Nations Framework Convention on Climate Change (2017): The Paris Agreement http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php (Stand: 30.01.2018)

Anhang

A1 – Sensitivitätsanalyse

Transportdistanz Holzanbau zur Zellstoffproduktion (Parametervariation 1a/1b)

Die Transportentfernungen für die Herstellung von Semichemical Fluting (SCF) und Kraftliner (KL) wurden aus [11] entnommen. Dort sind die Transportentfernungen nach Straßen-, Schienen- und Seetransporten getrennt aufgeführt. Da ein Großteil der Transporte durch LKW erfolgt (80 % bei Kraftliner, 94 % bei Semichemical Fluting) werden nur diese Transportentfernungen variiert, da eine Änderung der Transportentfernungen bei den anderen Transportoptionen auf Grund des kleinen Anteils nur geringe Auswirkungen auf das Gesamtergebnis hat. In Tabelle 17 sind die mengengewichteten Transportentfernungen angegeben, also die durchschnittliche Transportleistung durch LKW bei der Herstellung von SCF und KL. Diese Werte werden im Rahmen der Sensitivitätsanalyse um jeweils 20 % erhöht und reduziert.

Tabelle 17: Transportentfernungen bei der Herstellung von SCF und KL in Anlehnung an [11]

	FEFCO 2015 [11]	1a Max (+20 %)	1b Min (-20 %)
Holz SCF neu	110 km	132,0 km	88,0 km
Holz SCF recovered	419 km	502,8 km	335,2 km
Holz KL neu	94 km	112,8 km	75,2 km
Holz KL recovered	324 km	388,8 km	259,2 km

Die Auswirkungen der Parametervariation sind in Tabelle 18 dargestellt.

Tabelle 18: Auswirkungen von Parametervariation 1a & 1b der CB im Vergleich zum Basisfall

	1a	1b	Basisfall
GWP [kg CO ₂ -Äq.]	37.810	37.635	37.723
Relative Abweichung	0,2 %	-0,2 %	-

Es wird ersichtlich, dass die Auswirkungen auf das Gesamtsystem äußerst gering sind.

Entfernung RPC-Herstellung – Lebensmittelproduzent (Parametervariation 2a/2b)

Die initiale Auslieferungsentfernung nach Herstellung der RPC beträgt für die betrachteten Länder 921 km. Im Rahmen einer Parametervariation wurden diese Werte auf 600 km (2a) bzw. 1.200 km (2b) angepasst. Tabelle 19 stellt die Auswirkungen der Parametervariation dar.

Tabelle 19: Auswirkungen von Parametervariation 2a & 2b der RPC im Vergleich zum Basisfall

	2a RPC	2b RPC	Basisfall
Entfernung RPC-Herstellung - Lebensmittelproduzent	600 km	1.200 km	921 km
GWP [kg CO ₂ -Äq.]	14.475	14.571	14.526
Relative Abweichung	-0,4 %	0,3 %	-

Es wird ersichtlich, dass die Auswirkungen auf das Gesamtsystem äußerst gering sind.

Transportdistanz Distributionszentrum zu Einzelhandel (RPC & CB; Parametervariation 6a/6b)

Die Transportentfernung zwischen Distributionszentrum und Einzelhandel beläuft sich annahmegemäß auf 50 km. Um die Sensitivität dieses Parameters zu identifizieren wird dieser Wert auf eine kürzere (20 km, Parametervariation 6a) und eine längere (100 km, Parametervariation 6b) eingestellt.

Tabelle 20: Auswirkungen von Parametervariation 6a & 6b der RPC im Vergleich zum Basisfall

	6a RPC	6b RPC	Basisfall
Transportentfernung Distributionszentrum - Einzelhandel	20 km	100 km	50 km
GWP [kg CO ₂ -Äq.]	14.035	15.345	14.526
Relative Abweichung	-3,4 %	5,63 %	-

Tabelle 21: Auswirkungen von Parametervariation 6a & 6b der CB im Vergleich zum Basisfall

	6a CB	6b CB	Basisfall
Transportentfernung Distributionszentrum - Einzelhandel	20 km	100 km	50 km
GWP [kg CO ₂ -Äq.]	37.632	37.847	37.723
Relative Abweichung	-0,2 %	0,4 %	-

Tabelle 20 und Tabelle 21 zeigen die Auswirkungen der Parametervariation auf beide Transportsysteme. Wegen der grundsätzlich größeren Relevanz von Transportprozessen im Lebenszyklus der RPC im Vergleich zu den CB hat eine Änderung der Transportdistanz auch einen entsprechend größeren Einfluss auf die RPC, jedoch ist die Auswirkung auf beide Systeme eher gering.

BHKW zur Energieerzeugung bei der Reinigung (Parametervariation 7)

Im Rahmen dieser Parametervariation wird davon ausgegangen, dass die zur Reinigung benötigte thermische Energie in Blockheizkraftwerken in den Servicezentren erzeugt wird. Durch Kraft-Wärme-Kopplung kann zusätzlich noch elektrischer Strom bereitgestellt werden. Im Rahmen der Parametervariation wird der thermische Energiebedarf vollständig durch die Erzeugung im BHKW erzeugt, wodurch auch die Hälfte des benötigten elektrischen Stroms bereitgestellt wird. Tabelle 22 zeigt die Auswirkungen des Einsatzes von Kraft-Wärme-Kopplung.

Tabelle 22: Auswirkungen von Parametervariation 7 der RPC im Vergleich zum Basisfall

	7 RPC	Basisfall
Anteil thermische Energie aus BHKW	100 %	0 %
GWP [kg CO ₂ -Äq.]	14.381	14.526
Relative Abweichung	-1 %	-

Die Treibhausgasemissionen sinken um rund 1 %. Je inspizierter und gereinigter RPC entspricht dies einer Reduktion der Treibhausgasemissionen der Servicezentren um rund 4,5 %⁶.

⁶ Nur auf die Treibhausgasemissionen der Inspektion und Reinigung bezogen.

Stoffliche Verwertung der CB (Parametervariation 9a/9b)

Unter der Annahme, dass es durch stoffliche Verwertung zu einer Reduzierung der Faserlänge und -qualität bei Zellstoff und Papier kommt, wird davon ausgegangen, dass technisch insgesamt 6,7 Lebenszyklen möglich sind, mit Hygienepapier als letzter Anwendung. Je Lebenszyklus werden also folglich $100/6,7=15$ % des Materials „abgenutzt“ und somit einer energetischen Verwertung zugewiesen, während das restliche Material stofflich verwertet wird.

Im Rahmen von Parametervariation 9a wird der Anteil der stofflichen Verwertung der CB auf 100 % gesetzt, es wird also angenommen, dass eine stoffliche Verwertung ohne jeglichen Qualitätsverlust möglich ist. Bei Parametervariation 9b wird eine vollständige energetische Verwertung nach der ersten Nutzung angenommen. Tabelle 23 zeigt die Auswirkungen der Parametervariation auf das Treibhauspotential.

Tabelle 23: Auswirkungen von Parametervariation 9a & 9b der CB im Vergleich zum Basisfall

	9a	9b	Basisfall
Anteil stoffliche Verwertung CB	100 %	0 %	85 %
GWP [kg CO ₂ -Äq.]	37.164	40.891	37.723
Relative Abweichung	-1,5 %	8,4 %	-

Bei den CB führt eine höhere stoffliche Verwertung zu einer leichten Reduktion der Treibhausgasemissionen, während eine vollständige energetische Verwertung zu höheren Emissionen führt. Zwar wird im Rahmen der energetischen Verwertung elektrischer Strom erzeugt, die daraus resultierenden Gutschriften sind jedoch nicht ausreichend um die Emissionen der Verbrennung zu kompensieren. Die stoffliche Verwertung ist bei den CB also einer energetischen Verwertung vorzuziehen.

Gutschrift für thermische Energie (Parametervariation 10)

Im Basisfall wird davon ausgegangen, dass aus energetischer Verwertung gewonnene Wärme nicht genutzt wird. Im Rahmen von Parametervariation 10 wird eine vollständige Einspeisung in Nahwärmenetze angenommen und dementsprechend Gutschriften vergeben. Die Ergebnisse der Parametervariation sind in Tabelle 24 und Tabelle 25 dargestellt.

Tabelle 24: Auswirkungen von Parametervariation 8 der RPC im Vergleich zum Basisfall

	10 RPC	Basisfall
Gutschrift für thermische Energie	100 %	0 %
GWP [kg CO ₂ -Äq.]	13.746	14.526
Relative Abweichung	-5,4 %	-

Tabelle 25: Auswirkungen von Parametervariation 8 der CB im Vergleich zum Basisfall

	10 CB	Basisfall
Gutschrift für thermische Energie	100 %	0 %
GWP [kg CO ₂ -Äq.]	34.863	37.723
Relative Abweichung	-7,6 %	-

Es zeigt sich, dass die Einspeisung in Nahwärmenetze einen positiven Einfluss auf beide betrachteten Verpackungssysteme hat.

A2 – Biogene CO₂-Bilanz

Tabelle 26 gibt einen Überblick über die Emission bzw. die Einbindung von biogenem Kohlenstoff. Die Werte beziehen sich jeweils auf die funktionelle Einheit (Transport von 1.000 t Obst oder Gemüse). Negative Werte stellen dabei eine Einbindung von Kohlenstoff dar, positive Werte die Freisetzung. Die Einbindung und „Rückbuchung“ von Kohlenstoff in das System wird in A3 – Kohlenstoffkreislauf näher erläutert.

Der biogene Anteil der Emissionen beläuft sich beim Mehrwegsystem auf unter 1 %. Dies ist auf die Emission von biogenem Kohlenstoff im Rahmen der Abwasserbehandlung zurückzuführen. Dabei werden auf den RPC verbliebene organische Substanzen abgewaschen und der gebundene Kohlenstoff wird anschließend freigesetzt. Der geringe Anteil an dem biogenen Kohlenstoff ist auf das erdölbasierte Produktsystem zurückzuführen.

Tabelle 26: Biogene CO₂-Bilanz des Mehrwegsystems

Lebenszyklusabschnitt		Biogene CO ₂ -Emissionen [kg CO ₂ -Äq.]
Herstellung	Kunststoffgranulat	-1
	Herstellung RPC	0
	Transport	0
Nutzung	Transport	0
	Inspektion und Reinigung	110
Lebensende	Transport	0
	Zerkleinerung und Granulierung	0
	Verbrennung	0
	Elektrische Energierückgewinnung	0
	Rückgewonnenes Sekundärgranulat	1
Gesamt		110

Die verbleibende Emission von 110 kg biogenem CO₂ ist neben der Freisetzung von auf den RPC verbliebenen organischen Substanzen im Rahmen der Reinigung auf Rundungsungenauigkeiten zurückzuführen. Da die transportierten organischen Substanzen (hier: Lebensmittel) von der Betrachtung ausgeschlossen sind, ist es grundsätzlich möglich die daraus resultierende Emission von 110 kg biogenem CO₂ aus der Betrachtung auszuschließen. Dies wird in der vorliegenden Studie zur Sicherstellung der Konsistenz der Ergebnisse mit dem Hintergrundmodell jedoch unterlassen.

Tabelle 27 zeigt die biogene CO₂-Bilanz des Einwegsystems. Im Rahmen der Rohstoffgewinnung kommt es hier zu großen Einbindungen von biogenem Kohlenstoff. Diese werden teilweise durch die energieintensive Papier- und Zellstoffproduktion kompensiert. Am Lebensende wird der gebundene Kohlenstoff wieder freigesetzt. Hierbei tragen vor allem die energetische Verwertung sowie die Rückgewinnung von Sekundärmaterial bei.

Tabelle 27: Biogene CO₂-Bilanz des Einwegsystems

Lebenszyklusabschnitt		Biogene CO ₂ -Emissionen [kg CO ₂ -Äq.]
Herstellung	Rohstoffgewinnung	-118.894
	Papier- und Zellstoffproduktion	40.233
	Herstellung CB	-66
	Transport	0
Nutzung	Transport	0
Lebensende	Transport	0
	Zerkleinerung und Aufbereitung	-77
	Verbrennung	14.748
	Elektrische Energierückgewinnung	2
	Rückgewonnenes Sekundärmaterial ⁷	63.909
Gesamt		-146

Die verbleibende Emission von -146 kg biogenem CO₂ ist auf Rundungsungenauigkeiten in den genutzten LCA-Datensätzen zurückzuführen.

Es zeigt sich, dass beide CO₂-Bilanzen näherungsweise geschlossen sind, was insbesondere bei den CB auch ein Indikator auf die korrekte Modellierung des betrachteten Systems ist. Der resultierende Einfluss auf das Gesamtergebnis ist auf Grund der geschlossenen biogenen CO₂-Bilanz jedoch gering.

Tabelle 28 stellt zusätzlich das GWP ohne biogenen Kohlenstoffanteil dar.

Tabelle 28: GWP (exkl. biogenem C) für beide Verpackungssysteme

Lebenszyklusphase	GWP (exkl. biogenem C) [kg CO ₂ -Äq.]	
	RPC	CB
Herstellung	5.256	39.047
Nutzung	10.755	1.157
Lebensende	-1.594	-2.336
Gesamt	14.417	37.869

Auch hier zeigen sich die deutlich niedrigeren Treibhausgasemissionen der RPC im Vergleich zum CB. Die geringen Abweichungen sind auf die zuvor genannten Rundungsungenauigkeiten in der biogenen CO₂-Bilanz zurückzuführen.

⁷ Stofflich gebundener Kohlenstoff, welcher in den nächsten Materiallebenszyklus weitergeführt wird. Solange nicht eine Einbindung für mindestens 100 Jahre gewährleistet ist, muss der Kohlenstoff „buchhalterisch“ wieder ausgebucht werden.

A3 – Kohlenstoffkreislauf

In Abbildung 15 wird schematisch der biogene Kohlenstoffkreislauf für das Kartonbehältersystem dargestellt, der Grundlage für die Modellierung des biogenen Anteils des GWP ist.

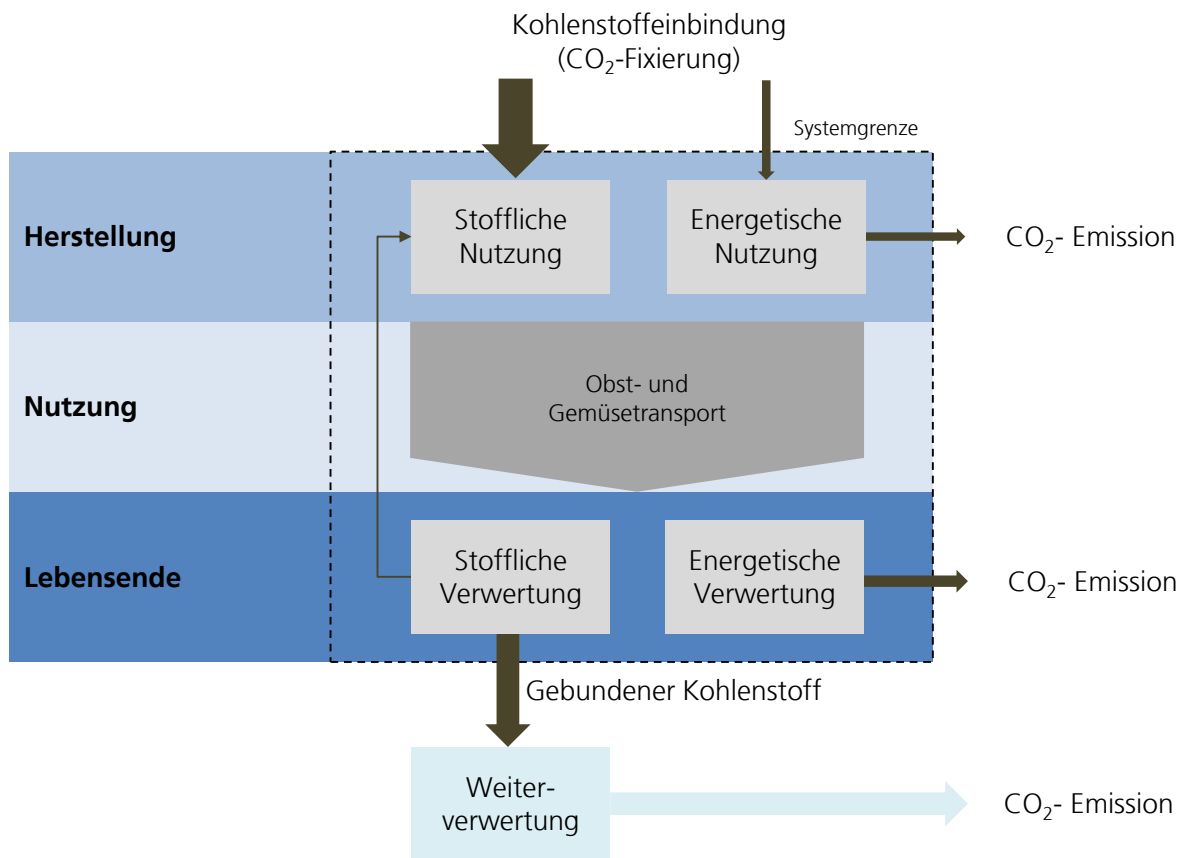


Abbildung 15: Schematische Darstellung des biogenen Kohlenstoffkreislaufes

Über die verwendeten nachwachsenden Rohstoffe wird biogener Kohlenstoff in das System eingebracht. Ein großer Teil dieses Kohlenstoffs wird stofflich umgesetzt, ein kleinerer energetisch in der Herstellung genutzt. Der energetisch genutzte biogene C-Anteil verlässt das betrachtete System als Emission, der stoffliche Anteil hingegen verbleibt vorerst im CB fixiert. Nach der Nutzung als Transportbehälter wird der CB zu großen Teilen stofflich und zu kleineren Teilen energetisch verwertet. Bei der energetischen Verwertung verlässt der biogene C-Anteil als Emission das betrachtete System. Bei einer stofflichen Verwertung verlässt der biogene C-Anteil im Produkt gebunden das betrachtete System. Dadurch wird die Kohlenstoffbilanz geschlossen. Nach einer oder mehreren weiteren Verwertungen wird auch aus dem stofflichen Anteil eine Emission. Dies trifft insbesondere auf kurzlebige Produkte wie Papier und Pappe zu, in denen die Materiallebenszyklen der Weiterverwertung den Betrachtungsraum von 100 Jahren nicht überschreiten.

A4 – Treibhauspotential als Wirkkategorie

Der Wirkungsmechanismus des Treibhauseffektes kann im kleineren Maßstab, wie der Name schon sagt, in Gewächs- oder Treibhäusern beobachtet werden. Dieser Effekt findet auch im globalen Maßstab statt. Die eintreffende kurzwellige Sonnenstrahlung trifft auf die Erdoberfläche und wird dort teilweise absorbiert (was zu einer direkten Erwärmung führt) und teilweise als Infrarotstrahlung reflektiert. Der reflektierte Anteil wird in der Troposphäre durch sogenannte Treibhausgase absorbiert und richtungsunabhängig wieder abgestrahlt, so dass es teilweise wieder zur Erde zurückgestrahlt wird. Dies führt zu einer weiteren Erwärmung.

Zusätzlich zum natürlichen Treibhauseffekt ist auf Grund menschlicher Aktivitäten ein anthropogener Anteil am Treibhauseffekt zu verzeichnen. Zu den anthropogen freigesetzten Treibhausgasen gehören beispielsweise Kohlenstoffdioxid, Methan und FCKWs. Abbildung 16 zeigt die wesentlichen Vorgänge des anthropogenen Treibhauseffekts. Die Bewertung des Treibhauseffekts sollte die mögliche langfristige globale Auswirkung berücksichtigen.

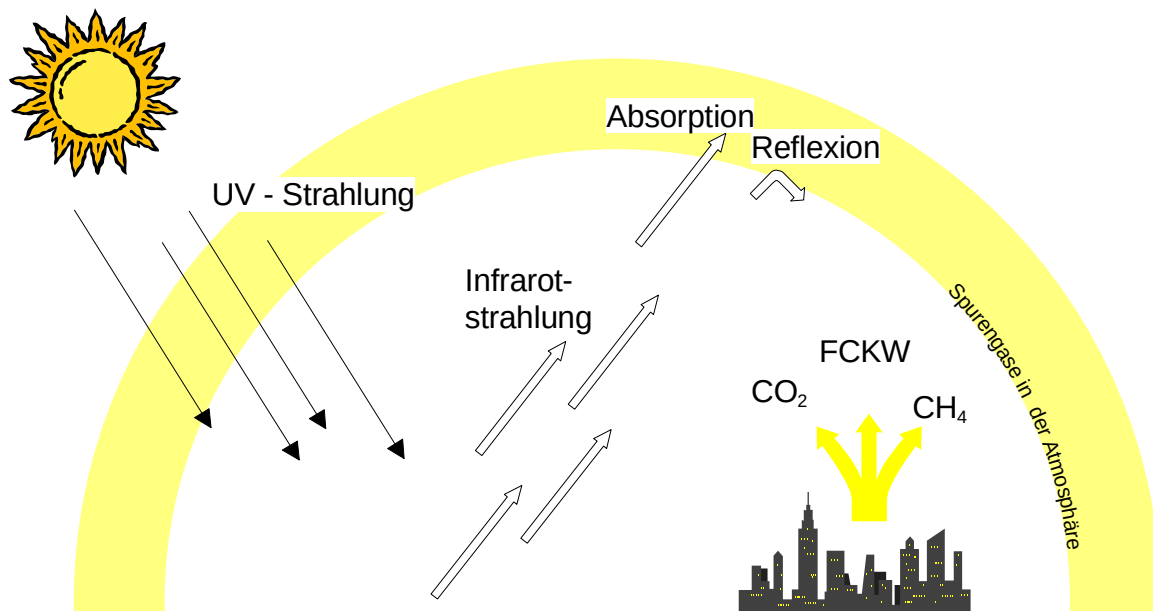


Abbildung 16: Anthropogener Treibhauseffekt [22]

Das Treibhauspotenzial wird in Kohlenstoffdioxid-Äquivalent (CO₂-Äq.) angegeben. Dies bedeutet, dass alle Emissionen bezüglich ihres potentiellen Treibhauseffekts zu CO₂ ins Verhältnis gesetzt werden. Da die Verweildauer der Gase in der Atmosphäre in die Berechnung mit einfließen, muss der für die Abschätzung betrachtete Zeithorizont immer mit angegeben werden. Üblich ist ein Bezug auf 100 Jahre.

A5 – Ergebnisse je Transportumlauf

Tabelle 29 stellt die Treibhausgasemissionen der betrachteten Verpackungssysteme für einen durchschnittlichen Transportumlaufes, also der (anteiligen) Herstellung und Verwertung sowie der Logistikprozesse beider Verpackungssysteme dar. Die Ergebnisse sind in Tabelle 29 gelistet.

Tabelle 29: Treibhausgasemissionen eines durchschnittlichen Transportumlaufes

Lebenszyklusphase	GWP (inkl. biogenem C) [kg CO ₂ -Äq.]	
	RPC	CB
Herstellung	0,08	-0,60
Nutzung	0,16	0,02
Lebensende	-0,02	1,15
Gesamt	0,22	0,57

Abbildung 17 zeigt grafisch die Ergebnisse je Transportumlauf

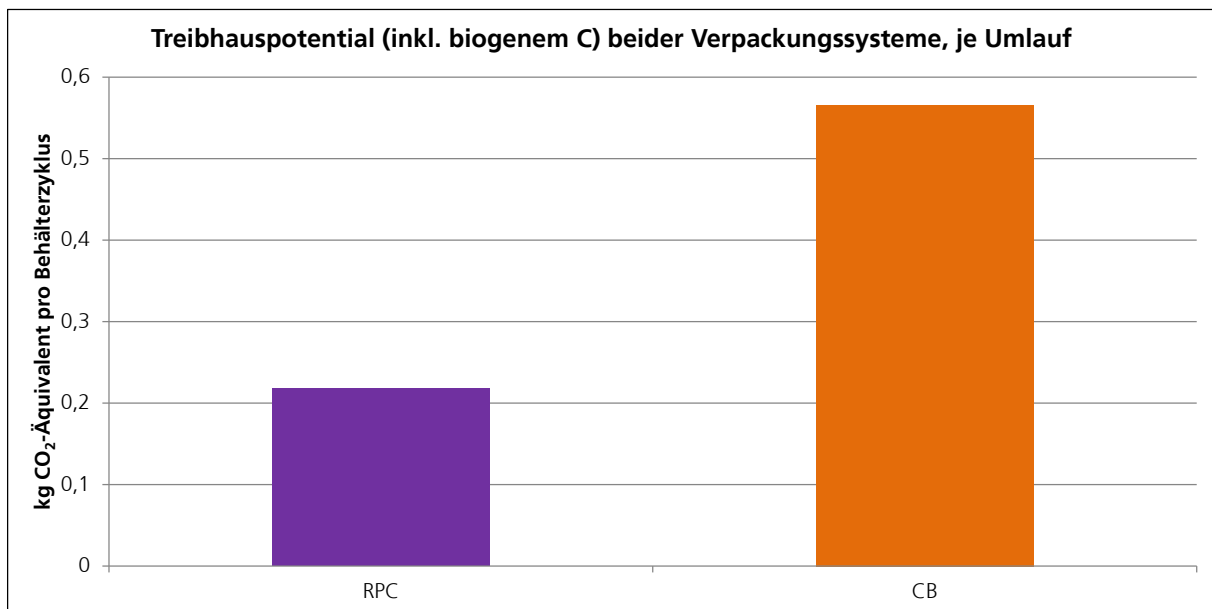


Abbildung 17: Treibhausgasemissionen eines durchschnittlichen Transportumlaufes

A6 – Ergebnisse je beladenem LKW

Die Treibhausgasemissionen je beladenem LKW sind in Abbildung 18 dargestellt. Die Werte beziehen sich auf den Betrachtungsrahmen des Basisfalls. Dabei werden die Treibhausgasemissionen der Beladung mit Lebensmitteln nicht betrachtet sondern lediglich die von den Verpackungen verursachten Treibhausgasemissionen. Tabelle 30 stellt die durchschnittlichen Treibhausgasemissionen des Basisfalls für einen mit 1.320 Verpackungen beladenen LKW dar.

Tabelle 30: Durchschnittliche Treibhausgasemissionen der betrachteten Verpackungssysteme je beladenem LKW

Lebenszyklusphase	GWP (inkl. biogenem C) [kg CO ₂ -Äq.]	
	RPC	CB
Herstellung	104,1	-785,7
Nutzung	215,1	22,9
Lebensende	-31,5	1.509,7
Gesamt	287,7	746,9

Abbildung 18 zeigt die durchschnittlichen Treibhausgasemissionen je mit 1.320 Verpackungen beladenen LKW.

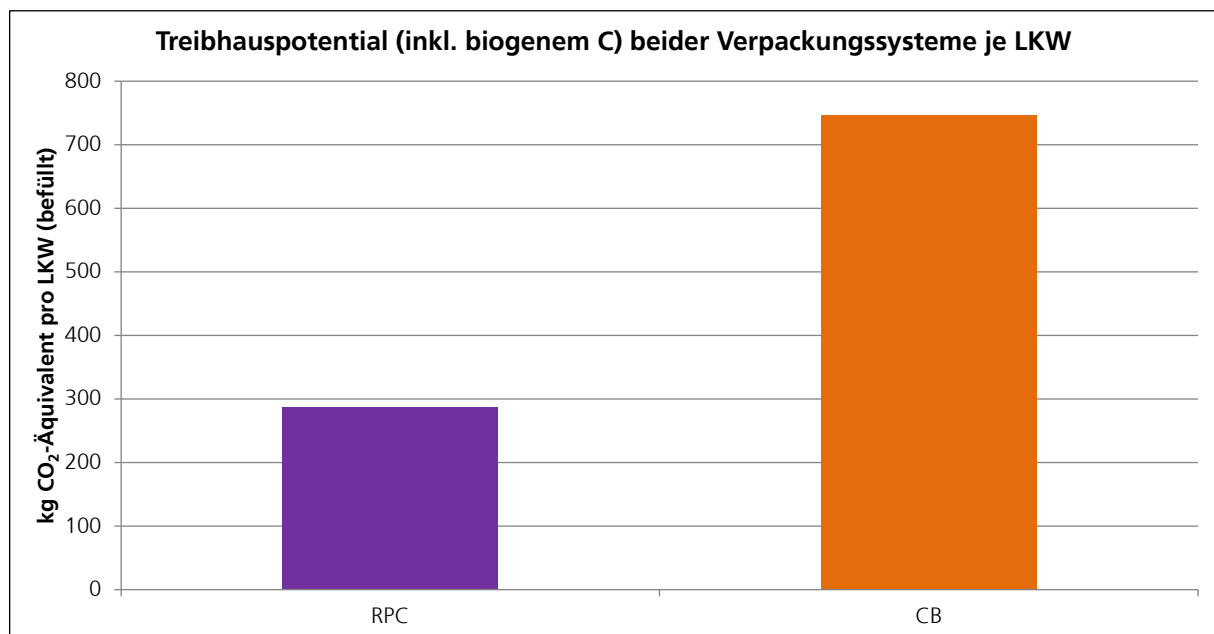


Abbildung 18: Durchschnittliche Treibhausgasemissionen der betrachteten Verpackungssysteme je beladenen LKW

A7 – Ergebnisse der Sachbilanz im Basisfall

Die ISO 14044 definiert das Sachbilanzergebnis als das „Ergebnis der Sachbilanz, das die Flüsse katalogisiert, die die Systemgrenze überschreiten („Elementarflüsse“) und das den Ausgangspunkt für die Wirkungsabschätzung darstellt“. Da die komplette Sachbilanz Hunderte von Flüssen umfasst, stellt Tabelle 31 eine Auswahl an Flüssen dar, welche anhand ihrer Relevanz für die nachfolgende Wirkungsabschätzung ausgewählt wurden, um einen transparenten Bezug zwischen der Sachbilanzergebnissen und den Ergebnissen der Wirkungsabschätzung herzustellen. Die aufgeführten Elementarflüsse stellen die Outputs des LCA-Modells dar, die als Treibhausgase zur Klimaveränderung beitragen.

Tabelle 31: Mengenmäßige Emissionen bezogen auf die funktionelle Einheit des Basisfalls

Treibhausgasemissionen		Mehrwegsystem (RPC)				Einwegsystem (CB)			
Emission	Einheit	Gesamt	Herstellung	Nutzung	Lebensende	Gesamt	Herstellung	Nutzung	Lebensende
Kohlenstoffdioxid (biogen und fossil)	[kg]	13.866,4	4.998,8	10.290,2	-1.422,6	35.741,7	-41.548,6	1.108,4	76.181,8
Distickstoffmonoxid	[kg]	20,9	8,9	18,2	-6,1	61,3	57,8	1,4	2,0
Methan (biogen und fossil)	[kg]	6,3	8,3	3,5	-5,4	16,1	15,8	0,4	-0,1
Flüchtige organische Verbindungen (ohne Methan; NMVOC)	[kg]	0,5	0,1	0,4	-0,1	1,5	1,4	0,0	0,0
Sonstige	[kg]	0,1	0,0	0,1	0,0	1,0	0,9	0,0	0,1

A8 – Dokumentation der Hintergrunddaten

In den nachfolgenden Tabellen werden die für das Ergebnis relevanten Datensätze, die in der Modellierung der Produktsysteme Anwendung gefunden haben, tabellarisch dargestellt. In den Tabellen wird auf die Verwendung der Daten im RPC und/oder CB-Systemmodell (Spalte RPC/CB), den Bezugsort und das Referenzjahr eingegangen. Über die GUID und den verwendeten Datensatzname können die Datendokumentationen unter <http://www.gabi-software.com/support/gabi/gabi-database-2017-lci-documentation/> abgerufen werden.

Treibstoffe und Energie

Nationale Durchschnittswerte für Brennstoffe und Strom-Mixe wurden den GaBi-Datenbanken 2017 entnommen. Tabelle 32 zeigt die in der Modellierung der Produktsysteme verwendeten Datensätze.

Tabelle 32: Energie-Datensätze in der Sachbilanz

RPC /CB	Energie	Ort	Datensatz	Daten-anbieter	Referenz-jahr	GUID
RPC/ CB	Diesel	EU-28	Diesel mix at refinery	ts	2017	{244524ed-7b85-4548-b345-f58dc5cf9dac}
RPC	Erdgas	EU-28	Natural gas mix	ts	2017	{c6387e19-933f-4726-a7ad-7a8050aa418c}
RPC/ CB	Prozess-dampf	EU-28	Process steam from natural gas 95 %	ts	2017	{104dbecc-4f6c-456b-9e44-722bc9c41e75}
RPC/ CB	Strom	EU-28	Electricity grid mix	ts	2017	{001b3cb7-b868-4061-8a91-3e6d7bcc90c6}
RPC/ CB	Thermische Energie	EU-28	Thermal energy from natural gas	ts	2017	{cfe8972e-6b51-4a17-b499-d78477fa4294}

Rohstoffe und Prozesse

Daten für Rohstoffe, Zwischenprodukte und Prozessmodule wurden der GaBi Datenbank 2017 entnommen. Tabelle 33 zeigt die relevanten Datensätze, die in der Modellierung der Produktsysteme Anwendung gefunden haben. Dies umfasst alle verwendeten Datensätze außer den Hilfs- und Betriebsstoffen, Packmaterialien sowie Additiven der Herstellung der beiden Verpackungssysteme.

Tabelle 33: Material- und Prozess-Datensätze in der Sachbilanz

RPC /CB	Material / Prozess	Ort	Datensatz	Datena nbieter	Refer enzja hr	GUID
RPC	Blockheizkra ftwerk	GLO	Gas CHP	ts	2017	{54573f47-229e-4b43-89d0-d8b0d29f0c52}
CB	Buche (Hartholz) ⁸	EU-27	Beech log free forest track	ts	2017	{ABC7C96E-E1BD-4AC0-92C9-7AEE03E014EB}
CB	Fichte (Weichholz) ⁸	EU-27	Spruce log free forest track	ts	2017	{12eec3c1-5c82-4c94-ada2-6805f6c94ae2}
RPC/ CB	Zerkleinerer	DE	Granulator	ts	2017	{df0ed190-bda2-4b78-831b-a5b728d6d640}
RPC/ CB	Kommunale Abwasserbe handlung	EU-28	Municipal waste water treatment (mix)	ts	2017	{9805e7ee-b500-46b4-a0f0-37b09e00a3fa}
RPC	Müllverbren nung (Kunststoffe)	EU-27	Waste incineration of plastics (PE, PP, PS, PB)	ELCD/ CEWEP	2017	{e01167ad-6cf8-47a7-8df9-e89bf35cb704}
CB	Müllverbren nungsanlage (Papier/Kart on)	EU-28	Paper / Cardboard in waste incineration plant	ts	2017	{0730a97b-bda5-4b9b-8632-8f2c52271f92}
RPC	Pelletieren und Compoundi eren	DE	Pelletizing and compounding	ts	2017	{0f4c3fb4-bc30-43e5-8567-e41ffa5487b0}
RPC	Polyethyleng ranulat	EU-27	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant,	PlasticsE urope	2014	{652939FF-9892-740D-68F7-0000208D2E34}
RPC	Polypropylen granulat	EU-27	Polypropylene, PP, granulate, at plant,	Plastics- Europe	2014	{5070854E-E2FB-A816-C4BA-00000BB60D3D}
CB	Sägewerksre ste	EU-28	Sawmill, wood chips softwood	ts	2017	{962B2511-40BB-4B3E-8DB6-615422F9E346}
RPC	Reinigungs- mittel	GLO	Non-ionic surfactant (fatty acid derivate)	ts	2017	{91D72FE2-709D-4BFE-A739-C520BBF4366B}
RPC/ CB	Wasser	DE	Tap water from groundwater	ts	2017	{A659D96B-23C8-4ABF-8424-3E0C650E0DC3}

Transporte

Die Transporte in der Studie wurden mit durchschnittlicher Transportentfernung und Verkehrsträgern modelliert. Die GaBi-Datenbank 2017 wurde zur Modellierung der Transportprozesse

⁸ Interner GaBi-Datensatz: Die GaBi-Datensätze basieren auf den gleichen Grundlagen wie die öffentlich verfügbaren, beziehen sich aber auf atro Holz (Einbindung: 1,85 kg CO₂ pro Kilogramm Holz atro).

benutzt. Die Transporte wurden mittels der GaBi-Datensätze für globalen Transport modelliert und werden in Tabelle 34 gezeigt.

Tabelle 34: Datensätze zu Transportmittel

RPC/ CB	Transportmittel	Ort	Datensatz	Datenanbieter	Referenz	GUID
RPC/ CB	Lastzug	GLO	Truck, Euro 0 - 6 mix, 20 – 26 t gross weight / 17,3t payload capacity	ts	2017	{30eef797-312a-447a-9272-4d271ac60289}
RPC/ CB	Lastzug	GLO	Truck-trailer, 1980s, 34 – 40 t gross weight / 27t payload capacity	ts	2017	{100ca71d-d72b-4046-8d81-06ec44b806a9}
RPC/ CB	Lastzug	GLO	Truck-trailer, Euro 4, 34 – 40 t gross weight / 27t payload capacity	ts	2017	{05168254-9d64-473a-8dc5-16cb5bf3c45f}
RPC/ CB	Lastzug	GLO	Truck-trailer, Euro 5, 34 – 40 t gross weight / 27 t payload capacity	ts	2017	{d8764ef3-e29e-4c98-bb8d-6598d140f822}
RPC/ CB	Lastzug	GLO	Truck-trailer, Euro 6, 34 – 40 t gross weight / 27 t payload capacity	ts	2017	{485c4342-849c-4b29-95e0-fb651cab84b}

A9 – Prüfbericht der kritischen Prüfung