

Vergleichende Analyse von Modellen zur Kunststoffverpackungs- rückgewinnung in Uruguay

als Instrument für die Implementierung ökonomischer und nachhaltiger Systeme



Cámara de Comercio e Industria
Uruguayo-Alemana
Deutsch-Uruguayische
Industrie- und Handelskammer

Wir machen es möglich.

Impressum

Herausgeber

Deutsch-Uruguayische Industrie und Handelskammer
Pza. Independencia 831, 11100 Montevideo, Uruguay
Tel.: (+598) 2901 1803
www.uruguay.ahk.de

Koordination

Franca Honty
comex@ahkurug.com.uy

Durchführung der Analyse

Ramboll Deutschland GmbH

Stand: Februar 2021

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Herausgebers.

Sämtliche Inhalte wurden mit größtmöglicher Sorgfalt und nach bestem Wissen erstellt. Genutzt und zitiert sind öffentlich bereitgestellte Informationen von Banken und Institutionen. Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Aktualität, Richtigkeit, Vollständigkeit oder Qualität der bereitgestellten Informationen. Für Schäden materieller oder immaterieller Art, die durch die Nutzung oder Nichtnutzung der dargebotenen Informationen unmittelbar oder mittelbar verursacht werden, haftet der Herausgeber nicht, sofern ihm nicht nachweislich vorsätzliches oder grob fahrlässiges Verschulden zur Last gelegt werden kann.



INHALTSVERZEICHNIS

02

Einführung

04

Hintergrundinformationen

05

Kapitel I
Zweck und Umfang der Studie

22

Kapitel II
Datenerhebung

25

Kapitel III
Vergleichende Lebenszyklusanalyse

55

Kapitel IV
Kosten-Nutzen-Analyse

64

Kapitel V
Fazit und Ausblick

66

Literaturverzeichnis

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AHK	Auslandshandelskammer
CBA	Kosten-Nutzen-Analyse
CIU	Industriekammer Uruguays
DINAMA	Dirección Nacional de Medio Ambiente (Nationale Umweltdirektion)
DRS	Deposit Refund System
HDPE	High Density Polyethylene
LCA	Lebenszyklusanalyse
LDPE	Low Density Polyethylene
MIDES	Ministerio de Desarrollo (Ministerium für Entwicklung)
PET	Polyethylenterephthalat
PGE	Plan de Gestión de Envases (Plan zum Verpackungsmanagement)
RVM	Reverse Vending Machine
SDGs	Ziele für Nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals)
UYU	Uruguayischer Peso

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1	Anzahl der vorhandenen Sammelstellen im Vergleich zur Bevölkerung in ausgewählten europäischen Ländern	S. 12
Tabelle 2	Auswahl der relevanten Wirkungskategorien nach ReCiPe 2016 mid-point (H)	S. 31
Tabelle 3	Beschreibung der Systeme und relevante Informationen	S. 32
Tabelle 4	Übersicht über die Lebenszyklusstadien und Prozesse der in die Analyse einbezogenen Systeme	S. 37
Tabelle 5	PET-Abfallmanagement in Canelones	S. 39
Tabelle 6	Geschätzte Menge an PET-Abfall in der Müllabfuhr in Canelones pro Jahr	S. 40
Tabelle 7	PET-Abfallentsorgung in Montevideo	S. 41
Tabelle 8	Materialflussanalyse der Sammlung im Pfandsystem (System C)	S. 44
Tabelle 9	Sachbilanz, Sammelphase	S. 45
Tabelle 10	Sachbilanz, Lebensende	S. 46
Tabelle 11	Zusammenfassung der aggregierten Gesamtauswirkungen der Basisszenarien	S. 49
Tabelle 12	Zusammenfassung der wichtigsten Kosten und Investitionen im Zusammenhang mit dem Betrieb eines DRS	S. 56
Tabelle 13	Geschätzte Kosten eines DRS	S. 57
Tabelle 14	Kosten in Canelones	S. 60
Tabelle 15	Kosten in Montevideo	S. 62

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1	Pfand-Rückerstattungssysteme, die auf direkten Beziehungen zwischen Verbrauchern und Händlern basieren.	S. 17
Abb. 2	Einzahlungs- und Rückerstattungssysteme mit Clearingstelle. Lebenszyklusanalyse gemäß ISO 14040/44	S. 19
Abb. 3	Grenzen des Haus-zu-Haus Systems (kerbside)	S. 27
Abb. 4	Grenzen des Drop-off-Systems	S. 34
Abb. 5	Grenzen des Pfandsystems	S. 35
Abb. 6	Materialflussanalyse der Sammlung im Kerbside-System in Canelones, normiert nach Funktionseinheit (System A).	S. 36
Abb. 7	Materialflussanalyse des Abfallsammelsystems in Montevideo, normiert nach Funktionseinheit (System B).	S. 40
Abb. 8	Materialflussanalyse der Erfassung im Pfand- und Erstattungssystem (System C)	S. 42
Abb. 9	Ergebnisse des Basislinienvergleichs für die Wirkungskategorie Klimawandel (ohne biogenen Kohlenstoff) in kg CO ₂ -eq.	S. 43
Abb. 10	Beitragsanalyse für Wirkungskategorie Klimawandel (ohne biogenen Kohlenstoff)	S. 47
Abb. 11	Ergebnisse des Basislinienvergleichs für die Wirkungskategorie Feinstaubbildung in kg PM _{2,5} eq.	S. 48
Abb. 12	Ergebnisse des Basislinienvergleichs für die Wirkungskategorie Feinstaubbildung in kg PM _{2,5} eq.	S. 48
Abb. 13	Sensitivitätsanalyse für das Drop-off-System mit unterschiedlichen Verwertungsquoten für die Kategorie Klimawirkung (ohne biogenen Kohlenstoff) in kg CO ₂ -eq.	S. 49
Abb. 14	Sensitivitätsanalyse für das Kerbside-System mit unterschiedlichen Verwertungsquoten für die Wirkungskategorie Klimawandel (ohne biogenen Kohlenstoff) in kg CO ₂ -eq.	S. 50
Abb. 15	Sensitivitätsanalyse für das Drop-off-System mit unterschiedlichen Entfernungen zu Sortieranlagen und Deponien für die Wirkungskategorie Klimawandel (ohne biogenen Kohlenstoff) in kg CO ₂ -eq.	S. 51
Abb. 16	Wirkungskategorie Klimawandel (ohne biogenen Kohlenstoff) in kg CO ₂ -eq.	S. 52

EINFÜHRUNG

Die 2016 ins Leben gerufene „Exportinitiative Umwelttechnologien“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) zielt darauf ab, Umwelttechnologien zu verbreiten und damit in anderen Ländern einen konkreten Beitrag für eine nachhaltige Entwicklung und verbesserte Lebensbedingungen zu leisten. Die Einführung und dauerhafte Anwendung von Umwelttechnologien hängt häufig davon ab, ob geeignete Rahmenbedingungen und Infrastrukturen vorhanden sind.

Im Kern geht es darum, positive Rahmenbedingungen und Strukturen als Voraussetzung für einen erfolgreichen und nachhaltigen Export von Umwelttechnologien zu schaffen. Die Exportinitiative soll einen Beitrag zur Unterstützung nachhaltiger Lebensgrundlagen (SDG-Umsetzung) in den Zielländern leisten und dies mit unternehmerischem Nutzen verbinden.

Die Deutsch-Uruguayische Industrie- und Handelskammer (AHK) wurde 1916 in der Stadt Montevideo gegründet.

Als gemeinnütziger Verein bietet die AHK Beratungsleistungen und Informationen zur Unterstützung der Geschäfte zwischen Uruguay und Deutschland an und hat als Ziel, die wirtschaftlichen Beziehungen zwischen beiden Ländern zu stärken. Mit rund 250 Mitgliedern ist die AHK die größte und aktivste binationale Kammer in Uruguay. Sie ist Teil eines institutionellen Netzwerks aus 79 Industrie- und Handelskammern (IHK) in Deutschland und 140 Auslandshandelskammern (AHK) in 92 Ländern.

Einer ihrer sieben Schwerpunktthemen ist Energie & Umwelt, in dem die AHK seit langem forscht, Projekte, Veranstaltungen und Delegationen durchführt sowie öffentliche und private Organisationen unterstützt.

Speziell zum Thema Abfallwirtschaft hat die AHK im letzten Jahr an Projekten gearbeitet, um bestehende Systeme zu verbessern, deutsches Know-how und Technologie anzubieten und ein Akteur zu sein, der die nachhaltige Entwicklung in Uruguay fördert.

Quelle: <https://www.exportinitiative-umweltschutz.de/de/exportinitiative-umwelttechnologien>

Die AHK hat auch das Ziel, Best Practices bzgl. Innovation, Produktivität und Qualität zu vermitteln sowie Erfahrungen und erfolgreiche Modelle der Berufsausbildung sichtbar zu machen, um so zu den spezifischen Bedürfnissen des Landes beizutragen. In diesem Bereich hat die AHK eine lange Tradition in der Durchführung von Kursen und Diplomlehrgängen, die in Uruguay, Deutschland und der Europäischen Union anerkannt sind.

Im Rahmen der Exportinitiative Umwelttechnologien des BMU führte die AHK Uruguay ein Projekt zur Analyse und zum Vergleich verschiedener Abfallmanagementsysteme mit Schwerpunkt auf PET durch und bewertete dabei die wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Auswirkungen der einzelnen Systeme.

In dieser Publikation finden Sie die Grundlagen und Ziele des Projekts, die Methodologie der Studie und ihre wichtigsten Schlussfolgerungen.

Die Studie erhält besondere Relevanz zu einem Zeitpunkt, an dem die uruguayische Regierung zusammen mit den in der Branche relevanten Akteuren einen nationalen Abfallwirtschaftsplan (PNGR) entwickelt, der durch das Ende 2019 verabschiedete Gesetz zum ganzheitlichen Abfallmanagement vorgeschrieben ist. Im Rahmen des PNGR werden Abfallwirtschaftsmodelle evaluiert und entworfen, für die diese Studie eine wichtige Informationsquelle sein wird.

Unser besonderer Dank gilt der Organisation CEMPRE und ihrem Direktor Federico Baráibar sowie dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), ohne deren Unterstützung die Realisierung dieses Projektes nicht möglich gewesen wäre.

Für CEMPRE ist diese Studie ein Ausgangspunkt für die Bewertung von Techniken, Technologien und geeigneten Modellen der Abfallentsorgung und -verwertung, insbesondere von Verpackungen, die bei der Neugestaltung der Verpackungsmanagementpläne berücksichtigt werden.

Wir laden Sie ein, diese Publikation zu lesen und sich mit uns in Verbindung zu setzen, wenn Sie Zweifel, Fragen oder Kommentare haben, und auch, um sich mit uns über die Umsetzung nachhaltiger Systeme in Uruguay auszutauschen.

Franca Honty

Außenwirtschaft und Nachhaltigkeit



Cámara de Comercio e Industria
Uruguayo-Alemana
Deutsch-Uruguayische
Industrie- und Handelskammer

Wir machen es möglich.

HINTERGRUNDINFORMATIONEN

In den letzten Jahren hat die Kreislaufwirtschaft immer mehr an Bedeutung gewonnen, insbesondere als ein Instrument, das Lösungen für einige der weltweit drängendsten Herausforderungen der nachhaltigen Entwicklung vorschlägt. Das Konzept der Kreislaufwirtschaft verspricht die Umsetzung der Agenda 2030 zu beschleunigen, indem Stoffkreisläufe geschlossen und damit gleichzeitig die Auswirkungen der Ressourcenknappheit und die negativen Umweltauswirkungen der Primärproduktion angegangen werden.

Die UN-Mitgliedstaaten haben verschiedene Instrumente zur Umsetzung der Kreislaufwirtschaft im Rahmen der Agenda 2030 entwickelt und implementiert. Diese Instrumente konzentrieren sich insbesondere auf die Abfallwirtschaft und speziell auf die Bewirtschaftung von Kunststoffabfällen.

Kunststoff, und insbesondere PET, bietet aufgrund seiner Eigenschaften ein großes Potenzial für die Kreislaufwirtschaft. Dieser wird nach wie vor in vielen industriellen Prozessen eingesetzt, vorzugsweise als Verpackungsmaterial, z.B. für formstabile Verpackungen, Halbhartfolien oder Verbundfolien.

Obwohl es ein großes Potenzial für das Recycling von PET-Abfällen gibt, zeigt der Verpackungsmanagementplan (PGE) Uruguays eine Materialrückgewinnungsrate von weniger als 5 %. Für Kunststoff-/PET-Abfälle gibt es mehrere Möglichkeiten der stofflichen Verwertung, wie z. B. ein duales System oder Pfandsysteme. In dieser Studie wurden drei Sammelsysteme für die Rückgewinnung von PET-Flaschenmaterial in einem lokalen Kontext im Hinblick auf notwendige Kosten und mögliche Einsparungen, Umweltauswirkungen und Auswirkungen auf die Gesellschaft analysiert. Diese Ergebnisse können den uruguayischen Behörden als Referenz für die Entscheidungsfindung über die für den lokalen Kontext am besten geeigneten Abfallwirtschaftsstrategien dienen.

Zu den potenziellen Interessengruppen gehören lokale Verwaltungsbehörden, Abfallwirtschaftsunternehmen, Abfallwirtschaftsverbände, Unternehmen, die in PET-Flaschen verpackte Produkte verkaufen (z. B. Softdrinks), Verbraucherverbände und Einzelhändler.

KAPITEL I

ZWECK UND UMFANG DER STUDIE

ZWECK UND UMFANG DER STUDIE

Das Ziel dieser Studie konzentriert sich auf den Vergleich der Kosten und Emissionen pro Tonne zurückgewonnener PET-Flaschen durch die folgenden Systeme:

- i) Abfallsammlungssystem mit Trennung an der Quelle, das in Canelones eingeführt wurde (allgemein als "Kerbside" bezeichnet),
- ii) Sammelsystem an bestimmten Punkten in Montevideo,
- iii) Hypothetisches vorgeschlagenes Pfandsystem

Dieser Vergleich wurde mit Hilfe einer Lebenszyklusanalyse (LCA) zur Bewertung der Umweltauswirkungen und einer Kosten-Nutzen-Analyse (CBA) zur wirtschaftlichen Bewertung durchgeführt.

	Sammelsystem von Haus zu Haus (Canelones)	Sammelpunkte (Montevideo)	Hypothetisches Pfandsystem
Sammelsystem	Haus zu Haus (kerbside)	Sammelpunkte (Municipio B und Supermärkte)	Pfandsystem (DRS)
Abfallsorte	Recyclbare Wertstoffe (z. B. Kunststoff, Glas, Papier)	Recyclbare Wertstoffe (z. B. Kunststoff, Glas, Papier)	Einzelnes Material
Containersorte	Kleine Mülltone	Großer Container	Leergutatomat
Quelle der gesammelten Abfälle	Haus- und Gewerbeabfälle	Hausabfälle	Hausabfälle
Transport (zw. Sammlung und Sortierung)	LKW (einige mit Kompaktierungssystem), auch für weitere Aktivitäten genutzt	LKW, mit und ohne Kompaktierungssystem	-
Art der Sortierung	Manuelle Sortierung	Manuelle Sortierung	Automatische Sortierung

VERGLICHENE SAMMELSYSTEME

ABFALLSAMMLUNG IM HAUS-ZU-HAUS-SYSTEM ODER KERBSIDE-SYSTEM (CANELONES):

Bei diesem System wird der Hausmüll in städtischen Gebieten mit Lastwagen aus einem speziellen Sammelbehälter an der Bordsteinkante (Kerbside) abgeholt. Die Sammlung erfolgt von Haus zu Haus. Die gesammelten Abfälle bestehen aus einem Gemisch von Wertstoffen (z.B. Kunststoffe, Glas und Papier) sowohl aus dem Haushalts- als auch aus dem Gewerbebereich. Die für die Abholung eingesetzten LKWs werden nicht ausschließlich für diese Tätigkeit verwendet, sondern teilen sich ihre Aktivität mit anderen Zuständigkeiten. Nach der Sammlung kann der Abfall im Sammelfahrzeug bei Bedarf verdichtet werden. Anschließend werden die Abfälle zu einer der vier sich in Betrieb befindlichen Sortieranlagen (Ave Fenix, Maritas, Crelap oder Pando) gebracht, wo das PET manuell sortiert und zusammen mit anderen Materialien zurückgewonnen wird.

ABFALLSAMMLUNG IM DROP-OFF-SYSTEM (MONTEVIDEO):

Beim Dropp-Off-System wird der Abfall über große Container gesammelt, die an festen Standorten in der Stadt aufgestellt sind: im Zentrum von Montevideo (Stadtbezirk B) und auf den Parkplätzen von Supermärkten. Die Verbraucher bringen ihren Abfall zu diesen Standorten und werfen ihn in einen Wertstoffcontainer. Die gesammelten Abfälle bestehen aus Wertstoffen verschiedener Materialien (z.B. Kunststoffe, Glas und Papier) aus dem Haushaltsbereich. Sammelfahrzeuge, mit und ohne Verdichtungssysteme, sammeln den Abfall aus diesen Containern und bringen ihn zu einer der vier Sortieranlagen (Planta Casavalle, Duran, La Paloma und Gemini). Hier wird der Abfall manuell sortiert und das PET zusammen mit anderen Materialien zurückgewonnen.

ABFALLSAMMLUNG IM PFANDSYSTEM (DRS):

Pfandsysteme werden eingesetzt, um große Mengen an Leergut für ein hochwertiges Recycling zu sammeln. Das Grundprinzip eines DRS besteht darin, dass Verbraucher am Verkaufsort ein Pfand auf die Verpackung zahlen, das bei Rückgabe der leeren Verpackung zurückerstattet wird. Dies hat sich als effektiv und erfolgreich erwiesen, um die Rückgabe und getrennte Sammlung bestimmter Verpackungsarten zu erhöhen. Das untersuchte hypothetische DRS verwendet Leergutrücknahmeautomaten (RVMs), die an festen Standorten in der Stadt aufgestellt sind, um Haushaltsabfälle zu sammeln. Die Maschine führt die Sortierung automatisch durch, so dass die gesammelten Abfälle nur aus einer Materialart bestehen.

Die Installation und der Betrieb solcher Systeme könnten jedoch sehr kostspielig sein. Daher ist es notwendig, Optionen für die Finanzierung eines solchen Systems und die geeignetste Konstellation für dessen Betrieb zu ermitteln. Beide Aspekte liegen außerhalb des aktuellen Rahmens dieser Studie. Vielmehr werden Hinweise gegeben, die zu einem späteren Zeitpunkt im Rahmen einer Machbarkeitsstudie verifiziert werden könnten.

Darüber hinaus sind DRS sehr anpassungsfähig an lokale Gegebenheiten, erfordern einen intensiven Austausch mit den Stakeholdern und sind zeitaufwändig in der Einrichtung. Daher ist es nicht möglich, ohne eine gründliche Machbarkeitsprüfung eine endgültige Position für ein DRS in Uruguay zu präsentieren. Die hier vorgestellte Präposition basiert auf einer umfangreichen Überprüfung bestehender Systeme und kann nicht als unsere endgültige Empfehlung angesehen werden.

Eine mögliche Variante ist ein DRS mit einem Clearing-Mechanismus, bei dem die Teilnahme für Supermärkte ab einer bestimmten Größe (z.B. > 200 m²) verpflichtend und für kleinere freiwillig ist (wobei sowohl eine manuelle als auch eine automatische Rückgabe möglich ist). Das Risiko von Betrug und Vandalismus könnte durch die Installation von Automaten mit Kompressionsfunktion reduziert werden.

Diese Vorschläge basieren auf der Analyse bestehender Leergutrücknahmesysteme in europäischen Ländern. Um spezifische und lokal angepasste Empfehlungen für die Implementierung eines DRS in Uruguay geben zu können, sollten die folgenden Aspekte im Rahmen einer anschließenden Bewertung der Machbarkeit der Einführung des DRS im nationalen Kontext Uruguays eingehend untersucht werden.

GRUNDKONZEPTE DES PFANDSYSTEMS

Pfandsysteme werden eingesetzt, um große Mengen an Leergut für ein hochwertiges Recycling zu sammeln. Die Verbraucher zahlen in der Verkaufsstelle ein Pfand auf die Verpackung, das bei Rückgabe der leeren Verpackung erstattet wird. Dies hat sich als effektiv und erfolgreich erwiesen, um die Rückgabe und getrennte Sammlung bestimmter Behältnisse zu erhöhen.

SYSTEMSORTEN

Es lassen sich zwei allgemeine Systemsorten unterscheiden: (i) Pfand-Rückerstattungssysteme, die auf direkten Beziehungen zwischen Verbrauchern und Händlern basieren, und (ii) Pfand-Rückerstattungssysteme mit Ausgleichsmechanismen. Die Art und Weise, wie diese Systeme implementiert werden, hängt von den örtlichen Gegebenheiten ab und führt zu unterschiedlichen Arten und Formen der Implementierung.

Der Hauptgrund für die Einführung von Pfandsystemen (DRS) ist ihre erwiesene Effektivität bei der Sammlung großer Mengen leerer Behälter für ein hochwertiges Recycling. Das Grundprinzip besteht darin, dass der Verbraucher an der Verkaufsstelle ein Pfand auf die Verpackung bezahlt, das bei Rückgabe der leeren Verpackung zurückerstattet wird. Dies hat sich als effizient und erfolgreich erwiesen, um die Rückgabe und getrennte Sammlung bestimmter Behälter (z. B. PET, Glas, Aluminiumdosen) zu erhöhen.

SAMMEL- UND RECYCLINGQUOTEN

Laut ACR+ und ihrer Studie über "Pfand- und Rücknahmesysteme in Europa" variieren die Sammelquoten von PET-Flaschen durch ein DRS zwischen 87 und 98 %. Eine Studie in Thailand ergab, dass 26 % mehr PET-Flaschen gesammelt wurden, als ein Leergutrücknahmeautomat in einem bestimmten Untersuchungsgebiet installiert war, im Vergleich zur regulären Sammlung.

Eine höhere Sammelquote bedeutet auch eine Reduzierung des Abfalls. Die Tatsache, dass die gesammelten PET-Flaschen einen einzigen Abfallstrom darstellen, ermöglicht ein geschlossenes Recycling. Transparente Flaschen können dann aufgrund ihrer hohen Qualität zu neuen Flaschen oder Lebensmittelverpackungen recycelt werden, während farbige oder unreine Flaschen meist zu anderen Produkten recycelt werden. So wurden in Deutschland im Jahr 2017 32,6 % der recycelten Flaschen zur Herstellung neuer PET-Flaschen verwendet, 29,4 % für Folien und 21,8 % für Fasern.

Die Verwendung von Sekundärmaterial (recyceltes PET) zur Herstellung neuer PET-Flaschen unterliegt jedoch nach wie vor technischen Einschränkungen, da mehr Primärmaterial als Sekundärmaterial verwendet wird. Der Anteil an recyceltem PET, der aus dem Flasche-zu-Flasche-Kreislauf in die deutsche Produktion einfließt, beträgt 26,2 %.

Außerdem ist die Anzahl der Recycling-Zyklen begrenzt, wobei einige Quellen max. 2 bis 3 Zyklen angeben, bevor die Qualität nachlässt. Dies bedeutet, dass eine Analyse der Kapazitäten von PET-Recyclinganlagen in Uruguay sowie eine Marktstudie für das recycelte Produkt erforderlich ist.

Diese Vorschläge basieren auf der Analyse bestehender Leergutrücknahmesysteme in europäischen Ländern. Um spezifische und lokal angepasste Empfehlungen für die Implementierung eines DRS in Uruguay geben zu können, sollten die folgenden Aspekte im Rahmen einer anschließenden Bewertung der Machbarkeit der Einführung des DRS im nationalen Kontext Uruguays eingehend untersucht werden.

Bei der Evaluierung eines Pfandsystems für die Rückerstattung ist es wichtig, die folgenden Bedingungen zu bestimmen:

- Welche Gegenstände, aus welchem Material, in welcher Zusammensetzung und Größe sollten gesammelt werden;
- Wo und von wem die Gegenstände abgeholt werden sollen;
- Welche Sammlungsinfrastruktur soll aufgebaut werden;
- Wie die gesammelten Abfälle beschriftet werden sollten;
- Welche organisatorischen und administrativen Tätigkeiten notwendig sind;
- Wie man das Pfand- und Rückerstattungssystem finanziert;
- Welche rechtlichen und regulatorischen Instrumente eingeführt werden müssen.

Quellen:

https://www.acrplus.org/images/technical-reports/2019_ACR_Deposit-refund_systems_in_Europe_Report.pdf

GIZ (2018). Deposit-Refund Systems (DRS) for Packaging

<http://www.thaiscience.info/Journals/Article/KLST/10970472.pdf>

Es ist auch notwendig, den bestehenden gesetzlichen Rahmen zu überprüfen und die notwendigen Änderungen oder die Einführung neuer Gesetze zu bestimmen. Dazu gehört die Definition der folgenden Parameter:

- Klare Rollen und Verantwortlichkeiten;
- Festgelegte Rückgewinnungsziele;
- Die Pfandhöhe;
- Die Produktsorten, die in das System aufgenommen werden sollen;
- Die Verantwortlichkeiten für den Betrieb des Systems (u.a. die Vertragsbedingungen, wie z. B. die Belege, die zum Nachweis der umweltgerechten Behandlung von Flaschenabfällen erforderlich sind);
- Der Systembetreiber;
- Finanzierungsplan (Finanzströme zwischen den verschiedenen beteiligten Akteuren);
- Berichtsanforderungen;
- Sanktionen und Kontrollmechanismen;
- Anzahl, Dichte und Lage der Sammelstellen.

Ein wichtiger Aspekt, den es zu berücksichtigen gilt, ist die Art und Anzahl der Rücklaufstellen. In Frage kommen Einzelhändler, die PET-Flaschen verkaufen und als Sammelstelle pfandpflichtig sind, außerhalb von privaten Verbrauchsstellen (z.B. Restaurants, Hotels, Cafés, Tankstellen) oder anderen Sammelstellen (Sammelzentren).

Regierungen, die eine Verpflichtung für Geschäfte vorschreiben, eine Rückgabe-/Sammelmöglichkeit für PET-Flaschen anzubieten, legen in der Regel eine Mindestgröße des Geschäfts fest, ab der Geschäfte einen Rückgabe-/Sammelautomaten installieren oder eine manuelle Sammlung ermöglichen müssen. Kleinere Geschäfte sind dazu nicht verpflichtet, sondern können den Service auf freiwilliger Basis anbieten. In Kroatien, Estland und Deutschland unterliegen beispielsweise Geschäfte/Einzelhändler mit einer Verkaufsfläche von weniger als 200 m² nicht der Verpflichtung. Außerdem galt die Verpflichtung bis 2019 nicht für Einzelhändler mit einer Verkaufsfläche von weniger als 300 m² in Litauen. Ab 2019 sind jedoch nur noch Geschäfte mit einer Verkaufsfläche von 60 m² oder weniger ausgeschlossen. Dies zeigt, dass für den uruguayischen Kontext ein schrittweiser Ansatz gewählt werden kann, der auf der Bereitschaft, den Ressourcen und den Kapazitäten der lokalen Einzelhändler basiert.

Quellen:

https://www.acrplus.org/images/technical-reports/2019_ACR_Deposit-refund_systems_in_Europe_Report.pdf
<https://newsroom.kunststoffverpackungen.de/wp-content/uploads/2019/02/Studie-Verwertung-PET-Getraenkeflaschen-2017-Kurzfassung.pdf>
https://www.duh.de/uploads/tx_duhdownloads/DUH_Getraenkeverpackungssysteme.pdf
<https://blog.nationalgeographic.org/2018/04/04/7-things-you-didnt-know-about-plastic-and-recycling/>
https://www.giz.de/de/downloads/giz2018_Deposit-Refund-Packaging_web.pdf

ANZAHL DER BENÖTIGTEN SAMMELSTELLEN

Eine Analyse der DRS-Systeme in Europa ergibt ein differenziertes Bild hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen Bevölkerungsanzahl und Anzahl der vorhandenen Sammelstellen (siehe Tabelle unten). Norwegen hat mit einem Verhältnis von 1:335 die höchste Anzahl von Sammelstellen im Verhältnis zur Bevölkerung. Dänemark hingegen hat ein Verhältnis von 1:1.814 (Anmerkung: in der Literatur wird beschrieben, dass es 3.170 RVMs gibt. Dies schließt nicht aus, dass weitere Sammelstellen existieren können).

Tabelle 1: Anzahl der vorhandenen Sammelstellen im Vergleich zur Bevölkerung in ausgewählten europäischen Ländern

Land	Anzahl der Sammelstellen	Bevölkerung (2017 oder 2018)	Bevölkerung-Sammelstellen-Verhältnis
Dänemark	3.170 (Läden mit RVM, 2017)*	5.748.800	1.814
Estland	850 (Gesamtanzahl der Sammelstellen, 2017)	1.315.600	1.548
Finnland	14.000 (Gesamtanzahl der Sammelstellen, 2016)	5.503.300	393
Litauen	2.713 (Gesamtanzahl der Sammelstellen, 2018)	2.808.000	1.035
Norwegen	15.700 (Gesamtanzahl der Sammelstellen, 2017)	5.258.300	335
Schweden	14.000 (Gesamtanzahl der Sammelstellen, 2017)	9.995.200	714

**Es ist möglich, dass zusätzliche Sammelstellen existieren*

Angesichts dieser großen Unterschiede zwischen den Ländern ist es schwierig, Empfehlungen für den spezifischen Kontext von Uruguay abzuleiten. Der Eunomia-Bericht "A Scottish Deposit Return System" verwendet als Berechnungsgrundlage eine RVM pro 1.900 Personen. Gespräche mit den Beteiligten haben gezeigt, dass aufgrund der aktuellen Situation in Uruguay damit zu rechnen ist, dass eine recht große Anzahl von Einwohnern eine Sammelstelle aufsuchen wird. Es wird daher ein konservativer Ansatz von 1.900 Einwohnern pro Sammelstelle angenommen.

Quelle:

https://www.acrplus.org/images/technical-reports/2019_ACR_Deposit-refund_systems_in_Europe_Report.pdf
[https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/9063738/3-10072018-BP-EN.pdf/ccdfc838-d909-4fd8-b3f9-db0d65ea457f#:~:text=With%2082.9%20million%20residents%20\(or,38.0%20million%2C%20or%207.4%25\).](https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/9063738/3-10072018-BP-EN.pdf/ccdfc838-d909-4fd8-b3f9-db0d65ea457f#:~:text=With%2082.9%20million%20residents%20(or,38.0%20million%2C%20or%207.4%25).)
http://www.eunomia.co.uk/wp-content/uploads/2015/05/ZWS-DRS-Report_APPENDIX_Final.pdf

OPERATIVE ASPEKTE

Zu den betrieblichen Aspekten gehört die Identifizierung des Betreibers des Systems, z. B. die Regierung, ein Fonds oder eine gemeinnützige Organisation. Dies beinhaltet die Übernahme der Verantwortung für die Organisation des Systems und die Beauftragung eines oder mehrerer Abfallsammelunternehmen mit der Einrichtung von Sammelstellen und Anlagen zur Verdichtung und Aufbereitung von Materialien für das Recycling.

WIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE

Im Folgenden sind einige der wichtigsten Punkte aufgeführt, die bei der Analyse der Investitionskosten zu berücksichtigen sind:

- Art der Sammlung: automatischer Pfandrückgabe-Automat (Kosten für Maschine / Flaschen benötigen einen Code) vs. spezifische Sammelbehälter mit manuellem Pfandaustausch (ständiger Personalbedarf);
- Anzahl der Automaten (Kosten werden vom Supermarkt getragen) bzw. des zusätzlich benötigten Personals und der Sammelbehälter bei manueller Rückgabe vs. spezifische Sammelbehälter an öffentlichen Rückgabeeinrichtungen oder Sammelstellen und relevante Schutzmaßnahmen gegen Vandalismus / Sammelbehälter (siehe weitere Informationen unter "rechtliche Analyse");
- Sensibilisierungskampagnen;
- Verwaltungskosten, die mit der Gründung einer gemeinnützigen Organisation verbunden sind, im Vergleich zu den Kosten, die die lokale Behörde für den Betrieb des Systems selbst hat;
- Investitionen müssen mit Einnahmequellen zur Finanzierung des Systems ausgeglichen werden;
- Art der Leergutautomaten.

ART DER LEERGUTAUTOMATEN

Es gibt verschiedene Sorten von Leergutautomaten (RVMs). Betrachtet man Tomra, einen der größten Hersteller von RVMs, so lassen sich die folgenden Modelltypen identifizieren:

- RVMs, die Flasche für Flasche sammeln oder mehrere Flaschen auf einmal aufnehmen können;
- RVMs, die Flaschen auch in Kisten sammeln (typischerweise in Deutschland, wo die Verbraucher auch ein Pfand für die Kisten zahlen müssen);
- RVMs, die Einweg-PET-Flaschen, Mehrweg-PET-Flaschen, Glasflaschen, Metalldosen usw. sammeln;
- RVMs, die zwei oder bis zu sechs verschiedene Behältnisse automatisch sortieren können (bei zwei Behältnissen muss der Rest manuell erfolgen);

Quellen:

https://www.giz.de/de/downloads/giz2018_Deposit-Refund-Packaging_web.pdf

https://www.giz.de/de/downloads/giz2018_Deposit-Refund-Packaging_web.pdf

<https://www.tomra.com/en/collection/reverse-vending/products>

<http://www.retorna.org/mm/file/Implementing%20a%20Deposit%20Refund%20System%20in%20Spain.pdf>

- RVMs, die freistehend funktionieren (Entleerung von vorne) oder Automaten mit einem Förderband, das die leeren Flaschen in ein Lager transportiert;
- RVMs, die PET-Flaschen kompaktieren (aus Platzgründen und zur Vermeidung von Betrug durch Zerstörung des Flaschencodes) oder ohne automatische Kompaktierung.

Die Art der RVM hängt von der Größe, der verfügbaren Lagerfläche und dem finanziellen Budget ab. Eine einfache Stand-Alone-Version hat zwar geringere Investitions- und Betriebskosten, erfordert aber mehr manuellen Aufwand durch das Personal (Sortieren, Entleeren).

Im Allgemeinen hat ein RVM keine maximale Sammelkapazität, da die Behälter (wie bei einer Stand-Alone-Version) immer geleert werden können. Entscheidend sind der für das RBG zur Verfügung stehende Platz innerhalb der Filiale und der verfügbare Stauraum sowie die Häufigkeit, mit der die Mitarbeiter das Gerät leeren können. Größere Filialen können mehr als ein RVM oder größere RVMs mit höherer Kapazität installieren, um die zusätzliche Arbeit für die Mitarbeiter zu verringern.

Wie bereits erwähnt, hängen die Kapital- und Betriebskosten von der Art der Kommissionierung in den Filialen/Sammelstellen ab. Dies beinhaltet die Kosten für RVMs, die Reduzierung der verfügbaren Verkaufsfläche, Arbeitskräfte, Säcke und leere Flaschenkästen/Kisten für den Transport.

KOSTEN FÜR DIE INSTALLATION EINES LEERGUTAUTOMATEN

Die Kosten für einen automatischen Leergutautomaten hängen von ihrer Größe und Funktion ab. Die verfügbaren Daten für die Anschaffungskosten beschränken sich auf TOMRA-Produkte: 15.000 bis 20.000 Euro für einen kleinen automatischen Leergutautomaten, 30.000 bis 36.000 Euro für eine mittlere Maschine und 40.000 bis 46.000 Euro für eine große Maschine. Zusätzlich rechnet Eunomia mit ca. 2.200 Euro für die Installation.

BETRIEBSKOSTEN

Darüber hinaus müssen die jährlichen Betriebs- und Wartungskosten der Maschine berücksichtigt werden, die auf 9 % der gesamten Investitionskosten geschätzt werden (bei einer Lebensdauer der Maschine von sieben Jahren).

Quellen:

https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/pl/Documents/Brochures/pl_DRS_Brochure_Deloitte.pdf
http://www.eunomia.co.uk/wp-content/uploads/2015/05/ZWS-DRS-Report_APPENDIX_Final.pdf

KOSTEN FÜR VERKAUFSFLÄCHEN

Es wird geschätzt, dass die Installation von RVMs für den durchschnittlichen Einzelhändler eine Fläche von 5 m² einnimmt. Die Kosten für die Einzelhändler ergeben sich aus den tatsächlichen Kosten für die Anmietung der Verkaufsfläche, der zusätzlich benötigten Lagerfläche für die Container und den entgangenen Opportunitätskosten, die sich aus der Reduzierung der Verkaufsfläche ergeben. Um die Kosten für Verkaufsflächen zu berücksichtigen, werden Vergleichswerte für die jeweilige Region benötigt. Für das Beispiel Schottland werden die Kosten für Einzelhandelsflächen auf 31 Millionen Euro geschätzt (Hinweis: Diese Kosten stellen spezifische Kosten für Schottland dar und können nicht auf den Fall Uruguay übertragen werden).

PERSONALKOSTEN

Die Arbeitskosten können aus der Zeit abgeleitet werden, die das Personal pro Tag für Aufgaben im Zusammenhang mit der Sammlung von Flaschen durch das RVM benötigt. Dazu gehört z.B. die Zeit, die für die Verarbeitung von Belegen benötigt wird, die auf 0,3 Stunden pro Tag geschätzt wird (ca. 10 Sekunden pro Beleg) oder die Zeit, die für die Entleerung des RVM benötigt wird (ca. 5 Minuten). Auch die Löhne der Mitarbeiter sind stark abhängig von der Region und dem verwendeten Modell.

Die gesamten Arbeitskosten im Zusammenhang mit RVMs oder der manuellen Erfassung werden für Schottland auf 5,3 bis 5,9 Mio. Euro pro Jahr geschätzt (Hinweis: Diese Kosten stellen spezifische Kosten für Schottland dar und können nicht auf Uruguay übertragen werden).

LOGISTIK: CONTAINERKOSTEN

Verschiedene Auffangsysteme sind möglich und hängen davon ab, ob die Behältnisse entleert wurden oder nicht. Wenn sie bereits geleert wurden, müssen die Behältnisse ihre Form für die spätere Erkennung nicht beibehalten und werden verdichtet. Bei verdichteten Behältnissen sind faltbare Kunststoffbehälter ein nützlicher Mechanismus für den Transport. Die Kosten für einen Container werden auf 140 Euro geschätzt. Bei Behältnissen, die nicht vorher entleert werden, muss der Transportmechanismus in der Lage sein, z.B. den Barcode, die Form und das Gewicht des Behältnisses zu erhalten. Allgemeine Erfahrungen zeigen, dass zur Aufnahme von Plastikflaschen und -dosen Plastiktüten ausreichen. Jeder Beutel ist für ca. 150 PET-Flaschen oder 250 Dosen ausgelegt. Die Kosten für einen Beutel und ein Etikett betragen ca. 0,70 Euro.

Quelle:

www.eunomia.co.uk/wp-content/uploads/2015/05/ZWS-DRS-Report_APPENDIX_Final.pdf

BESONDERE ASPEKTE, DIE FÜR URUGUAY ZU BERÜCKSICHTIGEN SIND

- Derzeit gibt es in Uruguay eine geringe Nachfrage nach recycelten Produkten, und PET ist zu billig (350 USD/t) - Gibt es einen Markt für recycelte PET-Flaschen und kann der Preis erhöht werden?
- Um die Rentabilität des Systems zu erhöhen, wird empfohlen, die Möglichkeit zu prüfen, neben PET-Flaschen weitere Behältnisse zu sammeln (z. B. Aluminium- und Glasdosen).

IMPLEMENTIERUNG DES SYSTEMS

Ein Implementierungsplan sollte erstellt werden, der Folgendes beinhaltet:

- Eine legislative Komponente;
- Eine Komponente zur Sensibilisierung der Öffentlichkeit;
- Eine logistische Komponente (Standortauswahl, Beschaffung, Ausschreibung, etc.);
- Eine kommerzielle Komponente für den Betrieb des Systems;
- Eine Projektunterstützungskomponente zur Koordinierung des Projekts;
- Ein Lenkungsausschuss.

WEITERE ASPEKTE, DIE ZU BERÜCKSICHTIGEN SIND

Weitere wichtige Überlegungen sind:

- Gezielte und langfristige Sensibilisierungskampagnen;
- Maßnahmen, die sicherstellen, dass das System nicht missbraucht wird, und die Vandalismus verhindern (z.B. Einführung von Verkaufsautomaten mit Flaschenkompression);
- Codierung/Etikettierung von Flaschen.

Quellen:

http://www.eunomia.co.uk/wp-content/uploads/2015/05/ZWS-DRS-Report_APPENDIX_Final.pdf

https://www.giz.de/de/downloads/giz2018_Deposit-Refund-Packaging_web.pdf

https://www.giz.de/de/downloads/giz2018_Deposit-Refund-Packaging_web.pdf

1

PFAND- UND ERSTATTUNGSSYSTEME, DIE AUF DIREKTEN BEZIEHUNGEN ZWISCHEN VERBRAUCHERN UND HÄNDLERN BASIEREN



Abbildung 1: Pfand-Rückerstattungssysteme, die auf direkten Beziehungen zwischen Verbrauchern und Händlern basieren. Quelle: GIZ (2018). Deposit-Refund Systems (DRS) for Packaging.

In ihrer einfachsten Form basieren Pfand- und Erstattungssysteme auf 1:1-Beziehungen zwischen einem Verbraucher und einem Händler. Der Verbraucher zahlt beim Kauf eines Artikels einen festen Betrag, der auf den normalen Preis des Produkts aufgeschlagen wird (z. B. \$1,00 Produktpreis + \$0,25 Flaschenpfand = \$1,25). In diesem Fall kann die Rückgabestation einfach die Verkaufsstelle sein. Bei der Rückgabe der leeren Behältnisse oder Artikel legt der Verbraucher den Kaufbeleg für die verpackten Produkte oder Artikel vor. Der Gewerbetreibende gibt das Pfand zurück oder übergibt dem Verbraucher einen Gutschein mit dem entsprechenden Pfandbetrag zur Verwendung in der Verkaufsstelle. Der Händler verkauft die gesammelten Verpackungsabfälle oder Gegenstände an einen Verwerter, der dem Händler den Wert des Abfallmaterials bezahlt. Im Falle von wiederverwendbaren Getränkebehältnissen gibt der Händler diese an Konsumgüterunternehmen zur Reinigung und Wiederverwendung zurück.

Wichtigste Aspekte	<ul style="list-style-type: none"> • Vertreiber übernehmen Verantwortung für Recycling und Wiederverwendung • Vertreiber profitieren von Verpackungen, die nicht zurückgegeben werden • Verbraucher verlieren Geld, wenn sie Verpackungen nicht zurückgeben
Risiken	<ul style="list-style-type: none"> • Fälschung des Kassenbons • Unzufriedenheit der Verbraucher mit der Quittungspflicht • Die Materialien der Behälter werden möglicherweise nicht recycelt, wenn es keine Verpflichtung oder keinen Nachweis für "einfache" Recyclingwege gibt
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Minimaler administrativer und organisatorischer Aufwand • Freiwillige Verpflichtung der Verteiler • Vertriebspartner verbessern die Kundenbindung durch Mehrwegverpackungen

2 PFAND- UND RÜCKNAHMESYSTEME MIT CLEARINGSTELLE

Wenn mehrere Einzelhändler beteiligt sind, erfordert das Pfand- und Rückerstattungssystem einen zusätzlichen Ausgleichsmechanismus. Wie beim Vorgängermodell mit einem Verhältnis von 1:1 zahlt der Verbraucher beim Kauf des verpackten Produkts ein Pfand. Der Verbraucher ist jedoch nicht auf die Verkaufsstelle als Rückgabestation beschränkt, sondern kann die Verpackung bei verschiedenen teilnehmenden Händlern zurückgeben, um den Pfandbetrag zu erhalten. Da mehrere Einzelhändler beteiligt sind, zahlen diese die Pfandgelder an die Konsumgüterunternehmen (Verpacker, Importeure), die diese Pfandgelder an eine Clearingstelle zahlen. Auf Basis der Pfand- und Rückgabeprotokolle der Händler erstattet die Verrechnungsstelle den Händlern das gesammelte Leergut auf Basis ihrer Buchhaltung. Der Ausgleichskörper spielt eine zentrale Rolle im System. Sie ist für die Verwaltung der Finanzströme aus den Depots sowie für die administrativen und organisatorischen Aspekte zuständig. Ihre Verwaltungskosten müssen getrennt von den Pfandflüssen durch finanzielle Beiträge der Einzelhändler gedeckt werden, die ihrerseits von den Dienstleistungen der Clearing-Organisation profitieren. Leere Verpackungen gehen in das Eigentum der Einzelhändler über, sobald die Verbraucher sie zurückgeben. Einzelhändler können die Verpackungen an Recycler verkaufen.

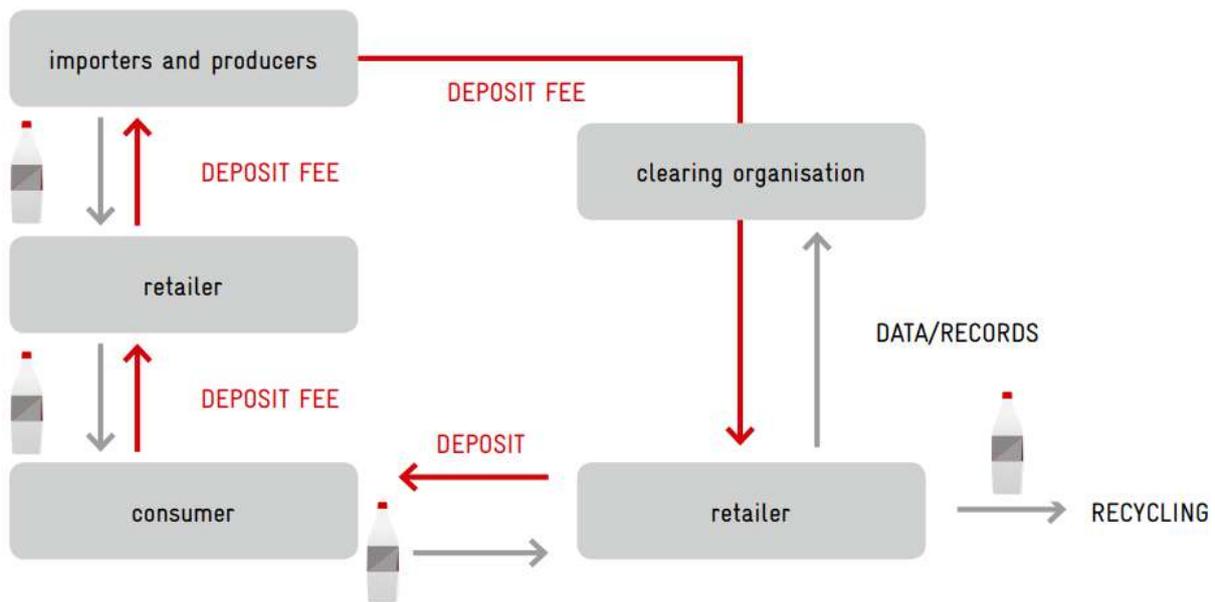


Abbildung 2: Einzahlungs- und Rückerstattungssysteme mit Clearingstelle. Quelle: GIZ (2018).

<p>Wichtigste Aspekte</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Die finanzielle Verantwortung liegt bei der Verrechnungsstelle. - Diese Stelle macht einen Gewinn mit den nicht zurückgegebenen Verpackungen. - Der Verbraucher verliert Geld, wenn er die Verpackung nicht zurückgibt.
<p>Risiken</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Betrugsrisiko in Zusammenhang mit den hinterlegten Mengen und der Systemverwaltung - Erfordert Kennzeichnung / Barcodes auf Verpackungsbehältern - Verwaltungskosten für die Einrichtung der Clearing-Organisation und der Rückgabe-Infrastruktur
<p>Vorteile</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Der administrative und organisatorische Aufwand liegt bei der Clearingstelle - Erhöhte Flexibilität für Verbraucher: mehr Rückgabestellen, unabhängige Zahlungen von einem einzigen Händlerbeleg - Ein finanzieller Überschuss der Clearing-Organisation könnte z. B. zur Finanzierung von Anti-Korruptionsmaßnahmen, Aufklärungskampagnen oder Verwaltungskosten verwendet werden

Im Jahr 2003 wurde in Deutschland per Gesetz ein verpflichtendes Pfand- und Erstattungssystem für Einweg-Getränkeverpackungen aus Glas, Kunststoff, Metall oder Verbundwerkstoffen eingeführt. Von 2003 bis 2006 basierte das Pfand- und Erstattungssystem auf einem Beziehungssystem zwischen Verbrauchern und Händlern. Leere Einweg-Getränkeflaschen konnten nur an der ursprünglichen Verkaufsstelle zurückgegeben werden.

Quelle: GIZ (2018). *Deposit-Refund Systems (DRS) for Packaging*

Nach 2006 wurde das Pfand- und Erstattungssystem umgestellt. Seitdem verpflichtet das Gesetz alle Einzelhändler, bepfandete Einweg-Getränkeverpackungen zurückzunehmen, die aus Materialien hergestellt wurden, die sie in ihrem eigenen Sortiment führen. Auf diese Weise wurde in Deutschland ein einheitliches Pfandrückerstattungssystem mit bundesweiter Entschädigung eingeführt. Als Clearingstelle wurde die Deutsche Pfandgesellschaft (DPG) gegründet, deren Eigentümer der Bundesverband des Deutschen Einzelhandels und der Bundesverband der Deutschen Ernährungsindustrie sind.

Durch den Einsatz von Clearing-Dienstleistern erhalten die Getränkehersteller und Importeure die Informationen über zurückgegebene Getränkeverpackungen und erstatten den entsprechenden Betrag an die Einzelhändler. Die Rücklaufquote der bepfandeten Getränkeverpackungen lag 2015 bei 98,4 %.

3 WEITERE ARTEN VON PFAND- UND ERSTATTUNGSSYSTEMEN

Die Anpassung von Pfand- und Rückerstattungssystemen an die lokalen Gegebenheiten führt zu verschiedenen Implementierungsmodellen. Diese unterscheiden sich vor allem in Bezug auf:

- (i) die Rückgabestationen, an denen Verbraucher Artikel zurückgeben und Pfand zurückerhalten,
- (ii) der Grad des administrativen und organisatorischen Aufwands,
- (iii) die Finanzierung der Pfand- und Rücknahmesysteme und
- (iv) die Beteiligung von Herstellern und Importeuren.

Darüber hinaus ist es möglich, bereits etablierte Strukturen für die Abfallsammlung zu integrieren, z. B. bestehende Sammelstellen, wie Verwertungsstationen. Informelle Arbeiter des Sektors können in Sammelsysteme integriert werden. Wenn Verpackungen nicht zurückgegeben werden, können informelle Sammler durch die Rückgabe von Verpackungen mit Pfandwert ein zusätzliches Einkommen erzielen.

BEISPIELE DER SYSTEMANPASSUNG

Der kleine pazifische Inselstaat Kiribati (Einwohnerzahl 102.000 im Jahr 2013) führte 2004 mit seinem "Special Fund (Waste Recovery Act)" ein **1** Verpackungspfandgesetz ein. Importeure zahlen ein Pfand von US\$ 0,05 pro PET-Flasche und Aluminiumdose, das sie an den Handel weitergeben. Verbraucher zahlen außerdem 0,05 US-Dollar als Pfand an den Handel, erhalten aber nur 0,04 US-Dollar als Rückerstattung, wenn sie leere PET-Flaschen oder -Dosen an Sammelstellen zurückgeben. Die verbleibenden 0,01 US-Dollar werden zur Finanzierung der Vermarktung und des Exports für das Recycling verwendet.

Die Gemeinde Ciutadella auf der spanischen Insel Menorca hat ein **2** temporäres Pfandrückgabesystem eingeführt. Während des örtlichen Sant Joan-Festes im Jahr 2018 hatten die Besucher die Möglichkeit, ihre leeren Getränkebehälter (Plastikflaschen, Dosen und Getränkekartons) zurückzugeben und für jeden zurückgegebenen Behälter 0,10 € an einem dafür vorgesehenen Automaten zu erhalten. Insgesamt konnten auf diese Weise 13.627 leere Getränkebehälter gesammelt werden, was gleichzeitig die Vermüllung des öffentlichen Raums an den beiden Festtagen reduziert.

KAPITEL II

DATENERHEBUNG

Daten über die Funktionsweise von Abfallsammel und -managementsystemen in Uruguay wurden durch Interviews mit Experten und Vertretern ausgewählter Unternehmen und Organisationen, durch Fragebögen, die von relevanten Stakeholdern aus dem Bereich der Abfallwirtschaft beantwortet wurden, durch Internetrecherchen und eine Durchsicht der vorhandenen Literatur gewonnen.

INTERVIEWS MIT EXPERTEN UND INDUSTRIEVERTRETERN

Es wurden sechs Interviews mit ausgewählten Branchenvertretern und Experten geführt. Diese wurden durch Interviews mit Vertretern der folgenden Organisationen durchgeführt:

- CEMPRE (Compromiso Empresarial Para el Reciclaje).
- CEGRU (Kammer der Abfallwirtschaftsbetriebe Uruguays)
- ReAcción
- PGE-CIU (Verpackungsmanagementplan der Industriekammer von Uruguay)
- Biovalor
- DINAMA (Nationale Direktion für die Umwelt)

FRAGEBÖGEN

Fragebögen wurden an ausgewählte relevante Akteure verteilt, darunter auch die Intendencias Departamentales. Die in diesen Fragebögen abgefragten Informationen umfassten unter anderem Daten zu PET-Sammelraten, Transportentfernungen, verwendeten Transportarten, Effizienzzraten, Bestimmungsort der gesammelten und nicht gesammelten Materialien sowie Sammel- und Investitionskosten im Zusammenhang mit den operativen Systemen.

ONLINE-RECHERCHE

Die Internetrecherchen konzentrierten sich auf Informationen, die auf der Website des Verpackungsmanagementplans PGE-CIU veröffentlicht wurden. Diese Quelle liefert detaillierte Berichte und Indikatoren von Sortieranlagen, die mit dem Verpackungsmanagementplan verbunden sind. Andere Websites und offizielle Quellen wurden ebenfalls verwendet.

Quelle: <http://www.ciu.com.uy/innovaportal/v/14708/11/innova.front/apoyo-de-la-ciu-al-pge.html>

LITERATURRECHERCHE

Zudem wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, um ein vollständiges Bild über die vorhandenen Daten zu erhalten. Die Literatur zu Abfallsammelsystemen in anderen Ländern wurde ebenfalls gesichtet.

KAPITEL III

VERGLEICHENDE LEBENSZYKLUS- ANALYSE

ANGEWANDTE METHODE

Die Lebenszyklusanalyse beginnt mit einer gezielten Recherche in bestehender Literatur und Datenbanken, um die bestehende Forschungslandschaft relevanter Verpackungssysteme und deren Prozesse zu analysieren.

Durch Recherchen auf der Grundlage vorhandener Literatur und Datenbanken können relevante Produkte oder Prozesse identifiziert werden, um Daten und Informationen über Abfallsammel und -behandlungssysteme bereitzustellen. Potenzielle Probleme können vor der Durchführung der Lebenszyklusanalyse (LCA) identifiziert werden, z.B. fehlende Daten. Die Auswahl der zu untersuchenden Literatur erfolgt auf Basis des Vorwissens und durch die Suche nach bestimmten Begriffen (z. B. LCA; Life Cycle Assessment; Umweltauswirkungen; Carbon Footprint; Vergleich; PET; Recycling; Kunststoff; Abfallwirtschaft; Verpackung; End-of-Life-Optionen; Umweltverträglichkeit).

Die folgenden zusätzlichen Kriterien oder Grenzen wurden für diese Studie angewendet:

- Öffentlich verfügbare oder vom Kunden bereitgestellte Studien;
- Studien zur vergleichenden Analyse;
- Studien, die sich auf die Methodik oder die Lebenszyklusperspektive beziehen.

Diese ausgewählten Studien, ihre Implikationen, Annahmen und Kriterien dienen als Rückgrat dieser Studie und werden mit verfügbaren Primärdaten ergänzt.

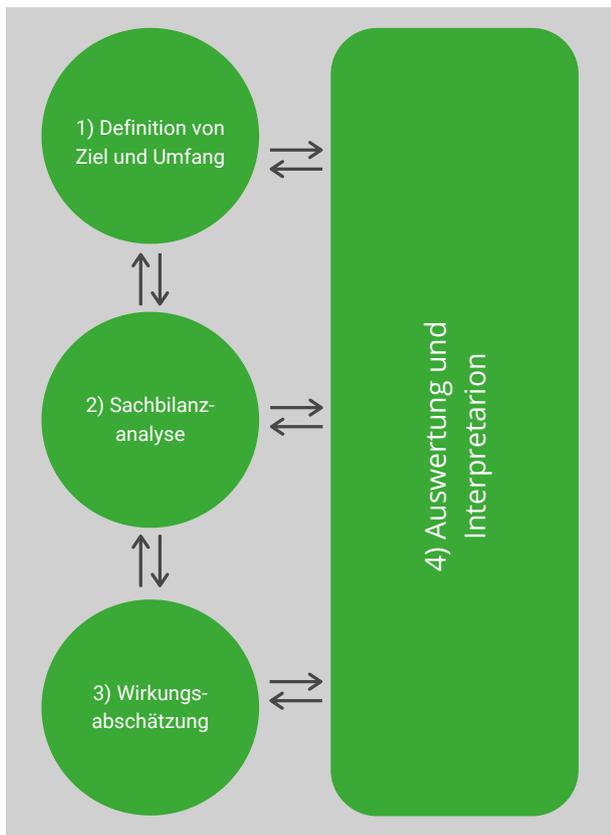
LEBENSZYKLUSANALYSE (LCA)

Wie jeder industrielle Prozess beinhaltet auch die Abfallsammlung und -entsorgung bzw. das Recycling, den Einsatz verschiedener natürlicher Ressourcen (z.B. Energie, Materialien, Wasser, Boden) und dementsprechend auch Auswirkungen auf die Umwelt (z.B. Treibhausgasemissionen). Für die quantitative Bewertung ökologisch relevanter Systeme wird die Methodik der Ökobilanzierung nach ISO 14040 und 14044 durchgeführt. Die Anwendung der methodischen Randbedingungen, Annahmen und Zuordnungsverfahren wird durch anerkannte Software (GaBi Professional von thinkstep/Sphera²⁸) und professionelle Datenbanken (Gabi professional database und Ecoinvent²⁹) sichergestellt.

Die Ökobilanz ist eine etablierte vierstufige Methodik. Diese Schritte sind iterativ und umfassen die folgenden Aufgaben (Guinée et al., 2001):

- 1) Definition von Ziel und Umfang: Gegenstand und Ziel der Studie werden beschrieben, ebenso die Systemgrenzen, die funktionale Einheit und die Datenquellen; Wirkungskategorien, Indikatoren und Charakterisierungsmodelle werden ausgewählt;
- 2) Sachbilanzanalyse: In dieser Phase werden Prozesse auf der Grundlage von Eingangsdaten (z.B. Brennstoffbedarf, Energiebedarf, Gewicht der Rohstoffe, Luftemissionen, Gewicht des Abfalls) über den gesamten Lebenszyklus eines Systems oder Produkts, wie in Schritt 1 definiert, erfasst und quantifiziert;
- (3) Wirkungsabschätzung: Die Ergebnisse der Bestandsanalyse werden mit Hilfe etablierter wissenschaftlicher Methoden der Wirkungsabschätzung den ausgewählten Wirkungskategorien zugeordnet; anschließend werden die Ergebnisse der Kategorieindikatoren berechnet; die Ergebnisse können durch Variation der relevanten Parameter im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse bewertet werden;
- 4) Interpretation: In dieser Phase werden die Ergebnisse der Folgenabschätzung analysiert und interpretiert, wobei Unsicherheiten und Möglichkeiten zur Verbesserung des Systems aufgezeigt werden.

Abbildung 3. Lebenszyklusanalyse gemäß ISO 14040/44



ANGEWANDTE METHODE

Die vorliegende Studie folgt den Prinzipien einer attributionalen Analyse (Guinée et al., 2001). Darüber hinaus handelt es sich um eine vergleichende Ökobilanz, bei der verschiedene Optionen, die die gleiche Funktion erfüllen, betrachtet werden können. Diese Optionen setzen sich aus verschiedenen Prozessen entlang des Lebenszyklus zusammen (z.B. Rohstoffgewinnung, Produktherstellung, Nutzungsphase, End-of-Life-Phase). Wenn verschiedene Optionen die gleichen Prozesse haben (also identisch sind: mit den gleichen Inputs, Outputs, Emissionen), können diese Prozesse in einer vergleichenden Analyse ausgeschlossen werden. Da ihre Umweltauswirkungen gleich sind, beeinflussen sie die Ergebnisse nicht.

ERGEBNISSE

LITERATURRECHERCHE

Die hier vorgestellten relevanten Studien zum PET-Recycling wurden aufgrund ihrer Repräsentativität und ihrer Ähnlichkeiten mit der Fallstudie in Uruguay in Bezug auf funktionelle Einheit, Geografie, Allokationsverfahren und Sortierprozess ausgewählt.

Mögliche PET-Recycling- / Entsorgungssysteme und/oder wichtige Entscheidungskriterien wurden in früheren LCA-Studien berücksichtigt:

- Arena, Mastellone und Perugini (2003): In der Studie wurden mehrere Sammelstellen anhand von Kriterien der Bevölkerungsdichte unterschieden, es wurde hervorgehoben, dass die ökologischen Auswirkungen bei der Sammlung und Verdichtung von Abfällen hauptsächlich durch die Transportprozesse (d.h. Transportentfernungen, Transportmittel, Transportvolumen) bestimmt werden. In der Studie wurden die wichtigsten Unterscheidungsmerkmale der Sortierverfahren (Sieben, manuelles Sortieren, Verdichten), ihre Sortierleistung und Energiequellen (z.B. Dieselbedarf) untersucht.
- Rigamonti, Grosso und Giugliano (2012); L. Rigamonti, Falbo und Grosso (2013): In diesen in Italien durchgeführten Studien, wurden Optionen für das Management von Kunststoffverpackungsabfällen in Drop-off-Sammelsystemen und Bordsteinsammelsystemen untersucht. Es wurden viele Parameter identifiziert, die die aggregierten Gesamtergebnisse der Umweltauswirkungen für verschiedene Wirkungskategorien beeinflussen können. Es wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um zu verstehen, welche relevanten Parameter am meisten zu den Ergebnissen beitragen. Die in diesen Studien gesammelten Informationen wurden aufgrund von Ähnlichkeiten in den Erfassungssystemen und Klassifizierungsverfahren für die Fallstudien in Uruguay verwendet.

- Valentino (2017): Europäische Arbeiten zur Ökobilanz von PET-Flaschen, Closed und Open Loop Recycling in Dänemark und Italien. Die Studie zeigte die Unterschiede zwischen den Szenarien auf, einschließlich Sammlung, Sortierung und Recycling. Für das PET-Recycling zur sekundären PET-Flaschenproduktion wurden zwei Szenarien identifiziert: a) Multi-Material-Sammlung, Sortierung von Kunststoff und PET (in Italien); b) Pfand- und Erstattungssystem (DRS) Sammlung und Sortierung (in Dänemark).
- Shen, Worrell und Patel (2010): Mit Bezug auf Europa/Taiwan bewertete die Studie Sammelsysteme, unterteilt in das System "Grüner Punkt" (a); Pfandsystem (b); Sammlung mit Hausmüll und anschließender Sortierung (c). Der Energieverbrauch bei den Sammel-, Sortier- und Verdichtungsprozessen war im Vergleich zum derzeitigen Recyclingprozess gering. Der gesamte Sammel- und Sortierprozess wurde von den Umweltauswirkungen dominiert, die mit den Transportprozessen verbunden sind (z.B. Mülltrennungsanlagen für das Recycling). Bezogen auf den gesamten Recyclingprozess, von der Sammlung bis zur Faserproduktion, spielten die Transportauswirkungen eine untergeordnete Rolle.
- Chilton, Burnley und Nesaratnam (2010): Im Zusammenhang mit der Abfallsammlung am Straßenrand wurden die Umweltauswirkungen im Zusammenhang mit Abfallsammelfahrzeugen untersucht. Es wurde vorgeschlagen, die folgenden Kriterien zu berücksichtigen: Transport zum und vom Sammelgebiet; Transport im Sammelgebiet; Aufenthalt im Sammelgebiet. Die Studie kam zu dem Schluss, dass die Abfallsammlung nicht wesentlich zu den meisten Emissionen beiträgt.
- Shen et al. (2011): Die Studie kam zu dem Schluss, dass Transportentfernungen kein relevanter Faktor im gesamten Recyclingsystem sind.
- Rochat et al. (2013): In Bezug auf weniger industrialisierte Länder wurde angemerkt, dass aufgrund der begrenzten Datenverfügbarkeit eine Kombination aus ökologischen und ökonomischen Bewertungen angebracht sei. Der Transport für die Sammlung und Anlieferung zur Recyclinganlage machte etwa 13 % der gesamten Umweltauswirkungen beim traditionellen Recycling und etwa 11 % beim Bottle-to-Bottle-Recycling aus. Die angenommene Sammelrate spielte auch in diesem Fall eine wichtige Rolle.
- Kuczynski und Geyer (2013): Basierend auf nationalen Gegebenheiten in Kalifornien wurden zwei Erfassungssysteme analysiert, deren Annahmen durch Interviews/Befragungen validiert wurden:
 - Rückführungsweg als Anlieferung der leeren Flaschen durch den Verbraucher zu einem nahegelegenen Recyclingzentrum unter Berücksichtigung typischer Anlieferungsmengen, Entfernungen zum Recyclingzentrum und Transportmittel (z. B. Auto).

- Sammlung im Bordsteinsystem durch private Betreiber von LKW-Flotten, die regelmäßig die verschiedenen Arten von Verbraucherabfällen einsammeln; hier wurden unter anderem Leerlaufzeiten oder langsame Fahrgeschwindigkeiten sowie der Energiebedarf für die Verdichtungsprozesse berücksichtigt. Bezogen auf den Lebenszyklus von Verpackungen spielten die Emissionen aus Sammlung und Transport eine untergeordnete Rolle.
- Foolmaun und Ramjeawon (2013): Bei der Untersuchung wurden zwei verschiedene Erfassungssysteme berücksichtigt: Gemischte Sammlung mit Siedlungsabfällen und Transport; getrennte Sammlung und Transport.

VERGLEICHENDE UMWELTANALYSE

Die Hauptziele dieser Studie sind die Bewertung der Umweltauswirkungen verschiedener PET-Sammelsysteme in Uruguay, die Analyse eines hypothetischen DRS, das Aufzeigen von Engpässen und ökologischen Brennpunkten sowie die Bewertung des Umweltnutzens durch die Identifizierung relevanter Parameter, die am meisten zu den Ergebnissen beitragen können.

Diese Studie folgt einem attributiven Moderationsansatz, bei dem die durchschnittliche Umweltbelastung durch eine bestimmte Aktivität einbezogen wird. Daher beziehen sich die Ergebnisse auf ein aktuelles System und mögliche Szenarien durch Variation der aktuellen Situation.

Die **funktionelle Einheit** ist **eine Tonne PET-Abfall**, die nach dem Sammel- und Sortierprozess bereit für den Versand an Recyclinganlagen ist. Aufgrund der Definition dieser funktionalen Einheit und weil es sich um eine vergleichende Analyse handelt, werden alle Auswirkungen weggelassen, die mit Auswirkungen verbunden sind, welche in den verschiedenen analysierten Systemen identisch sind.

Die Studie bezieht sich auf die Abfallsammelsysteme von Canelones und Montevideo. Daher ist die geografische Begrenzung wie folgt definiert. Annahmen (z.B. Transportentfernungen) mit Bezug auf lokale Gegebenheiten beziehen sich auf Uruguay, Sachbilanzen oder Datensätze hängen von der Verfügbarkeit lokaler Behörden und Unternehmen ab, die mit der Sammlung, Sortierung und dem Transport von PET-Abfällen in den abgegrenzten Gebieten von Canelones und Montevideo beschäftigt sind. Daher beziehen sich die Daten, sofern vorhanden, auf die von den jeweiligen Systemen bedienten Kunden. Die Studie hat einen Zeitrahmen von einem Jahr. Alle monatlich gesammelten Daten beziehen sich auf diese Zeitspanne.

Für die Bewertung der Umweltauswirkungen wird die Methode ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) impact assessment verwendet (Huijbregts et al., 2016). Die für die Analyse verwendeten Datenbanken sind die GaBi Professional Datenbank (Version 2020) und Ecoinvent Version 3.6.

Für diese Vorstudie wird eine Auswahl von drei relevanten Wirkungskategorien getroffen (siehe Tabelle 2). Diese Kategorien wurden aufgrund ihrer Relevanz für die Ökobilanz im Zusammenhang mit der Abfallwirtschaft ausgewählt: Klimawandel (bekannter Indikator und relevant für Transportprozesse), Feinstaubbildung (relevant, wenn der Transport der Hauptlebenszyklusprozess ist), Abbau fossiler Ressourcen (relevant, um den Verbrauch von nicht erneuerbaren erdölbasierten Ressourcen hervorzuheben).

Tabelle 2: Auswahl relevanter Wirkungskategorien gemäß dem Mittelwert (H) von ReCiPe 2016 (Huijbregts et al., 2016).

Wirkungskategorie	Indikator	Einheit	Abkürzung
Klimawandel	Anstieg des Strahlungsantrieb im Infrarotbereich	kg CO ₂ in der Luft	GWP
Feinstaubbildung	Anstieg der PM _{2,5} -Aufnahme in der Bevölkerung	kg PM _{2,5} in der Luft	PMFP
Abbau fossiler Ressourcen	Brennwert	kg Öl	FFP

Diese Studie analysiert die Umweltauswirkungen von drei Systemen, die die gleiche Funktion erfüllen:

- Sammlung im Kerbside-System in Canelones (System A);
- Sammelstellen in Montevideo (System B);
- Hypothetisches Pfandsystem (System C).

Tabelle 3 fasst Informationen zu den drei Systemen zusammen, die auf persönlichen Interviews mit relevanten Akteuren des Sektors basieren.

	Sammelsystem von Haus zu Haus (Canelones)	Sammelpunkte (Montevideo)	Hypotetisches Pfandsystem
Sammelsystem	Haus zu Haus (kerbside)	Sammelpunkte (Municipio B und Supermärkte)	Pfandsystem (DRS)
Abfallsorte	Recyclbare Wertstoffe (z. B. Kunststoff, Glas, Papier)	Recyclbare Wertstoffe (z. B. Kunststoff, Glas, Papier)	Einzelnes Material
Containersorte	Kleine Mülltone	Großer Container	Leergutamat
Quelle der gesammelten Abfälle	Haus- und Gewerbeabfälle	Hausabfälle	Hausabfälle
Transport (zw. Sammlung und Sortierung)	LKW (einige mit Kompaktierungssystem), auch für weitere Aktivitäten genutzt	LKW, mit und ohne Kompaktierungssystem	-
Art der Sortierung	Manuelle Sortierung	Manuelle Sortierung	Automatische Sortierung

Tabelle 3: Beschreibung der Systeme und relevante Informationen

FOLGENDE ANNAHMEN WERDEN GETROFFEN:

- Abfallentsorgung: PET-Flaschen können mehrere hundert Jahre brauchen, um sich in der Natur zu zersetzen, und Plastikmüll gilt als ernstes ökologisches Problem. Abfall kann in der Ökobilanz aufgrund unzureichender Datenverfügbarkeit nicht adäquat abgebildet werden. Gleichwohl lässt sich die Abfallentsorgung im Materialstrom als verlorene Ressource betrachten. Obwohl in dieser Studie die Umweltauswirkungen von Abfällen nicht berücksichtigt werden (siehe den gleichen Ansatz z.B. in Raadal, Iversen und Modahl, 2016), wird ein Anteil von 10 % an Kunststoffabfällen angenommen.
- Qualitative Aspekte: Wenn PET-Flaschen zusammen mit anderen Abfällen (sowohl aus dem Lebensmittel- als auch aus dem Non-Food-Bereich) gesammelt werden, kann sich die Qualität der potenziellen recycelten PET-Flasche verschlechtern, weshalb effiziente Reinigungsprozesse in Betracht gezogen werden sollten. Aufgrund der Probleme bei der Berücksichtigung dieses Aspekts und des Mangels an standortspezifischen Informationen liegt dieser Aspekt außerhalb des Rahmens dieser Studie.
- Die Auswirkungen des jeweiligen Sammelsystems (z.B. Verdichtungsprozesse) auf die Qualität und Durchführbarkeit der Sortierung sind von dieser Studie ausgeschlossen.

- Für die vergleichende Betrachtung werden potenziell relevante Lebenszyklusphasen, die in allen Systemen identisch sind, ausgeschlossen. Daher werden die folgenden Prozesse in dieser Studie ausgeschlossen: PET-Rohstoffproduktion, PET-Flaschenherstellung, PET-Distribution an Kunden, Nutzungsphase (PET-Verwendung), PET-Flake-Granulatherstellung, Transport von sortiertem PET-Abfall zu Verwertungsanlagen, PET-Recycling, vermiedene Emissionen durch Rohstoffgewinnung und Produktion durch Recycling.
- Abfallsammlung: Viele Parameter sind relevant und beeinflussen diese Phase, wie z.B. der Automatisierungsgrad des Sammelwagens, die Fähigkeiten des Fahrers (beides könnte die für die Abfallsammlung benötigte Zeit beeinflussen), die Sammelrouten, die Art des gesammelten Abfalls (und seine Dichte), die Anzahl der Stopps beim Sammeln, die Sammeldistanzen und die Betriebsdaten, der Unterschied im Kraftstoffverbrauch in der Fahrzeit und der Leerlaufzeit, die Art des Kraftstoffs (Jaunich et al., 2016). Aufgrund mangelnder Informationen werden diese Aspekte in dieser Studie nicht berücksichtigt.
- Die Grenzen der verglichenen Systeme sind in den Abbildungen 4 bis 6 beschrieben.

GRENZEN DES HAUS-ZU-HAUS-SYSTEMS IN CANELONES (A)

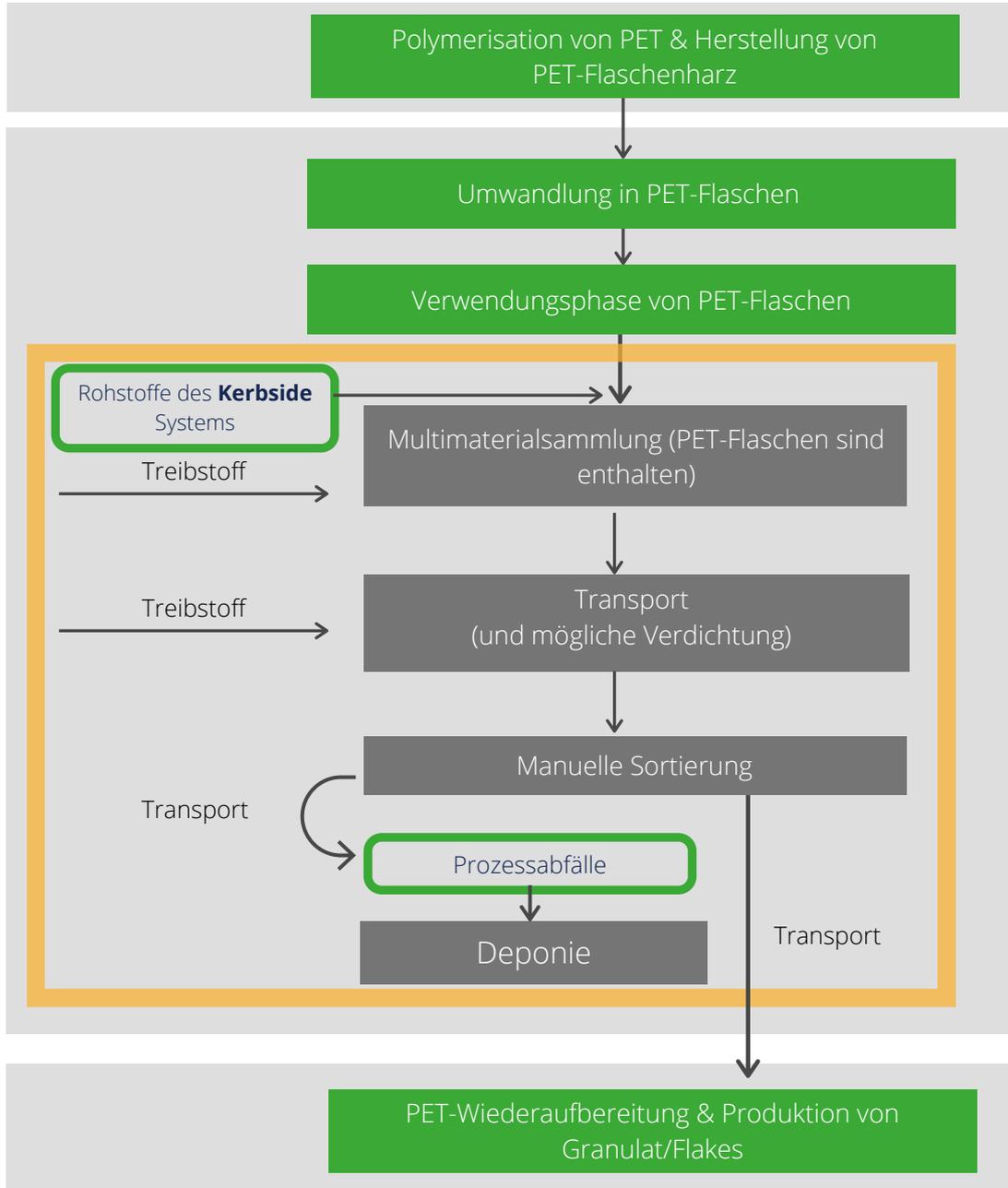


Abbildung 4. Grenzen des Haus-zu-Haus-Systems (kerbside).



GRENZEN DES DROP-OFF-SYSTEMS IN MONTEVIDEO (B)

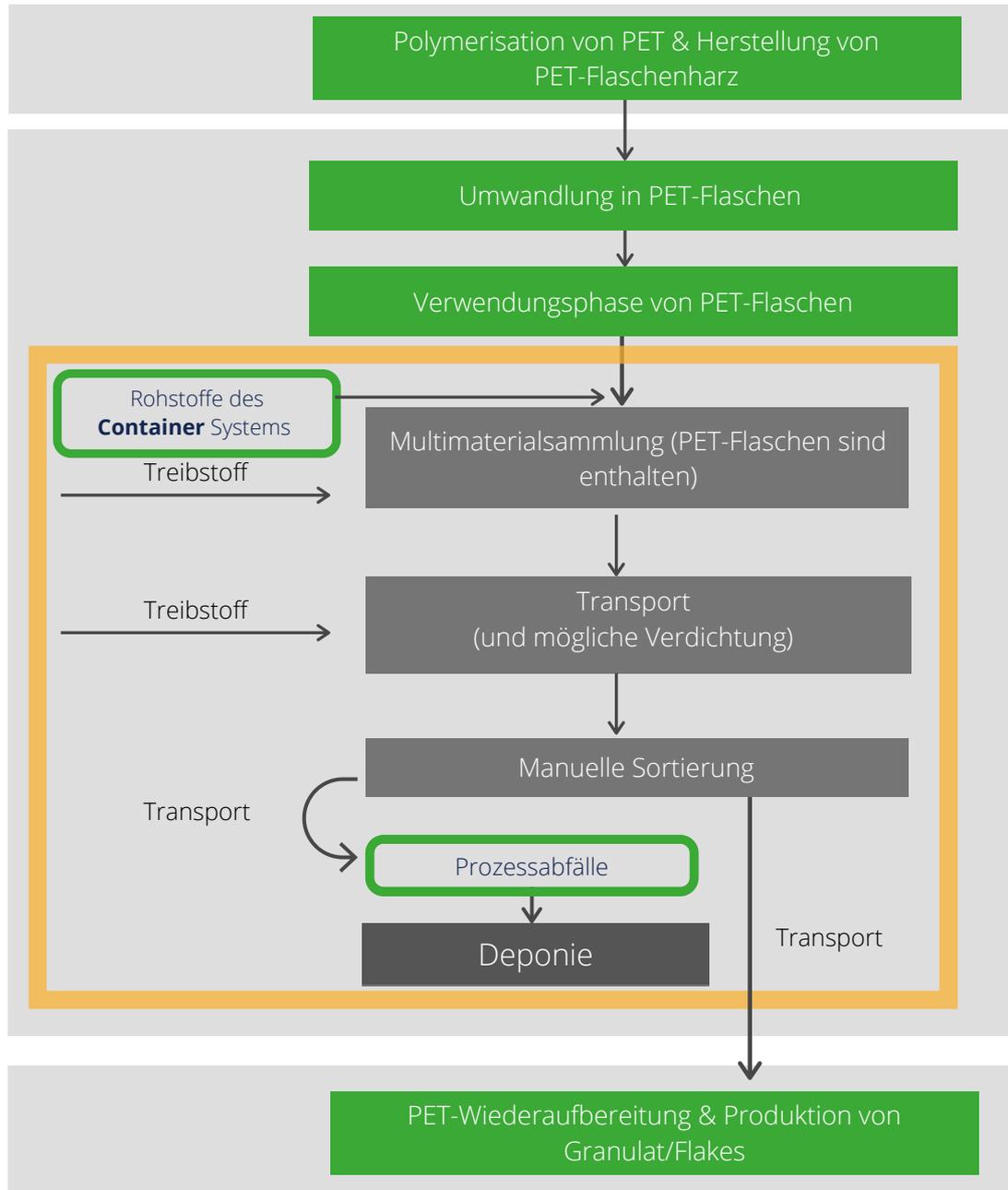


Abbildung 5. Grenzen des Drop-off-Systems.



GRENZEN DES HYPTOTHETISCHEN PFANDSYSTEMS (C)

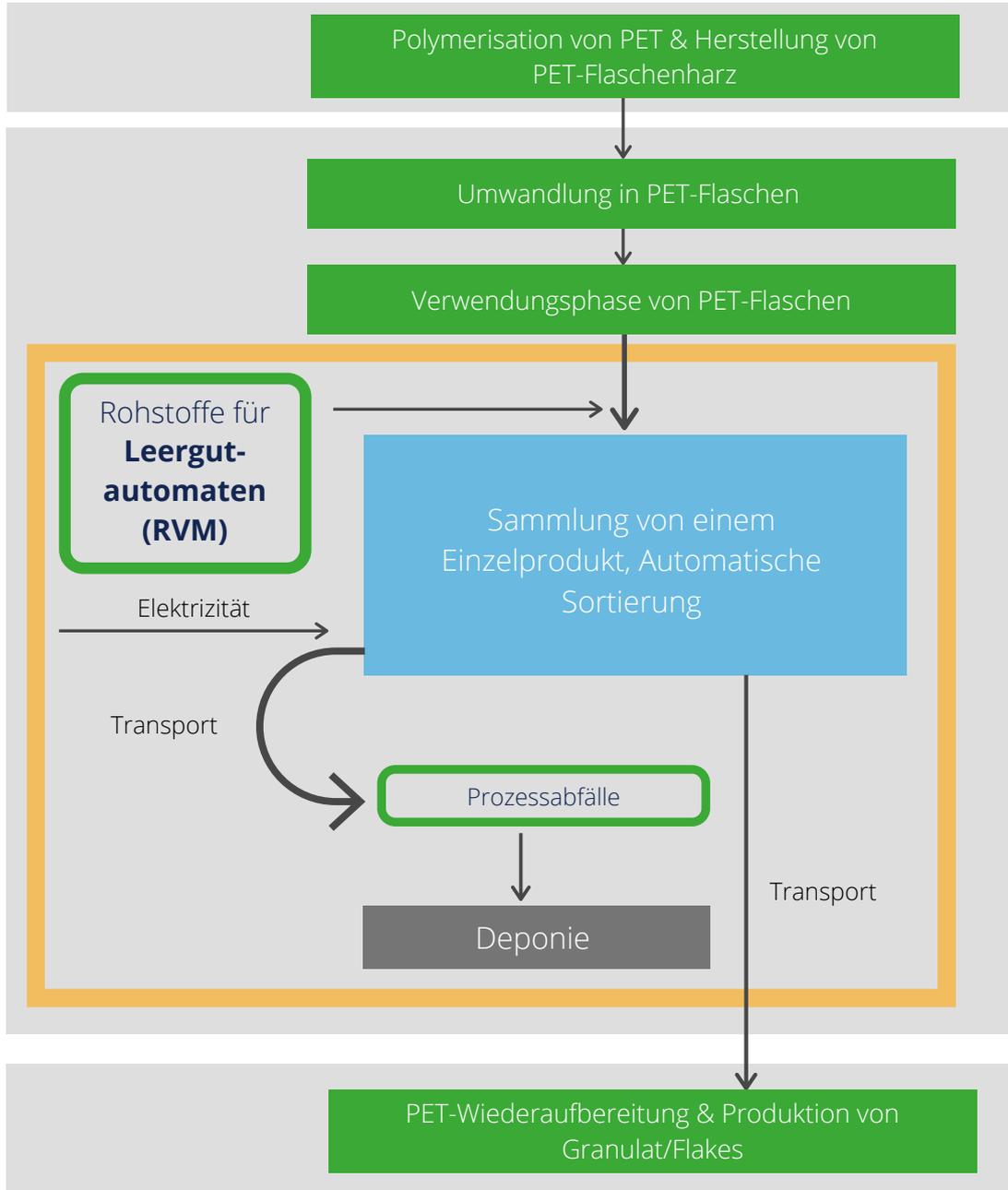


Abbildung 6. Grenzen des Pfandsystems.



In Tabelle 4 sind die Lebenszyklusstadien dieser Studie dargestellt, die die betrachteten und bewerteten Prozesse beinhalten. Ihre für das Modell relevanten Ein- und Ausgänge werden berücksichtigt.

	Sammelsystem von Haus zu Haus (Canelones)	Sammelpunkte (Montevideo)	Hypothetisches Pfandsystem
Rohstoffe (Upstream)	Behälter (aus HDPE): Rohstoffgewinnung, Herstellung	Container (aus Stahl oder HDPE): Rohstoffgewinnung, Herstellung	Leergutautomaten: Rohstoffgewinnung, Herstellung (z.B. Stahl, Styropor, Gummi, Glas)
Sammlung	Transport von Sammelstellen zu Sortieranlagen (Fahrzeugtyp, Tonne*km)	Transport von Sammelstellen zu Sortieranlagen (Fahrzeugtyp, Tonne*km)	Automatisch durch den Automaten oder ggf. durch zuständiges Personal
Sortierung	Manuell	Manuell	Energiebedarf beim Sortieren
Behandlungsende (Downstream)	Reststofftransport zur Mülldeponie Deponierung	Reststofftransport zur Mülldeponie Deponierung	Abfall aus dem Sortierprozess zur Mülldeponie Deponierung

Tabelle 4. Übersicht über die Lebenszyklusstadien und Prozesse der in die Analyse einbezogenen Systeme.

SACHBILANZ

Die folgenden Schritte werden in der PET-Abfallentsorgungskette berücksichtigt: gebrauchte PET-Abfälle von Kunden können im Mehrstoffsammelsystem (recycelt) oder in der Restmüllsammlung (nicht recycelt) gesammelt werden; PET-Abfälle, die im Mehrstoffsammelsystem gesammelt werden, können in Sortieranlagen gesiebt und sortiert werden; Rest-PET-Abfälle werden zu Deponien transportiert.

Deshalb wird in dieser Studie Folgendes berücksichtigt:

- **Sammelquote:** Prozentualer Anteil der gesammelten PET-Abfälle am gesamten PET-Abfall
- **Verwertungsquote:** Anteil der verwerteten PET-Abfälle am produzierten PET-Abfall
- **Sortiereffizienz:** Sortierter PET-Abfall als Anteil des gesammelten PET-Abfalls

KERBSIDE SAMMELSYSTEM IN CANELONES (SYSTEM A)

Diese Informationen werden für die entsprechenden Monate gesammelt, der Mittelwert wird berechnet und dieser Wert wird für ein Jahr betrachtet. Dies ist auf die Diskrepanz der Massenströme in den gesammelten Daten und das Fehlen von Informationen über die Rückgewinnungsrate zurückzuführen.

Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse der für Canelones gesammelten Informationen (Gesamtmenge der gesammelten, sortierten und verwerteten PET-Abfälle durch das System). Aufgrund fehlender Daten zum Sammelsystem (z. B. Anteil der Abfuhr des Kerbside-Systems und Anteil der gesammelten Abfälle) werden die folgenden Annahmen getroffen:

- Die Analyse erfolgt unter Bezugnahme auf die kongruentesten Werte, die auf der PGE-CIU-Website für das Jahr 2019 (d.h. die Monate September bis Dezember) gefunden wurden
- Primärdaten (über die PGE-ITUC-Website) waren verfügbar für: Produzierter PET-Abfall, Summe des gesamten Abfalls in der Multi-Material-Sammlung (d.h. HDPE, LDPE, PET, Papier, Glas, andere), PET-Abfall sortiert/wiederverwertet (in Sortieranlagen)

- Sekundärdaten (Schätzung): Die gesammelten PET-Abfälle werden geschätzt, indem der gleiche Anteil an sortiertem PET in der gesamten sortierten Mehrstoffsammlung angenommen wird. Daher wird derselbe Anteil für sortierte PET-Abfälle (sortierte PET-Abfälle/gesamte sortierte Mehrsammelabfälle) verwendet wie der Anteil für gesammelte PET-Abfälle (gesammelte PET-Abfälle/gesamte gesammelte Mehrsammelabfälle)
- Sekundäre Daten (Berechnung): Nicht in Sortieranlagen gesammelter PET-Abfall wird als Differenz zwischen produziertem PET-Abfall und gesammeltem PET-Abfall berechnet; nicht in Sortieranlagen verwerteter PET-Abfall wird als Differenz zwischen gesammeltem PET-Abfall und sortiertem (d. h. verwertetem) PET-Abfall berechnet.

Tabelle 5: PET-Abfallmanagement in Canelones

Monat	Produzierter PET-Abfall (kg)	Gesammelter PET-Abfall (kg)	Nicht gesammelter PET-Abfall (kg)	Sortierter (d.h. verwerteter) PET-Abfall (kg)	Nicht verwerteter PET-Abfall (kg)
Sep 2019	151.488	13.388	138.100	10.158	3.230
Okt 2019	151.488	19.740	131.748	14.107	5.633
Nov 2019	151.488	13.428	138.060	8.840	4.588
Dez 2019	151.488	15.587	135.901	10.998	4.589
Durchschnitt	151.488	15.536	135.952	11.026	4.510

In Canelones wird der Anteil der Sammlung durch das Kerbside-System (Haus-zu-Haus-Sammlung) und der Anteil der Drop-Off Sammlung (Sammelstellen) am gesamten gesammelten Abfall nicht angegeben. Daher wird die folgende Annahme getroffen: Die Sammlung im Kerbside-System in Canelones bedient etwa 7.000 Haushalte. Unter der Annahme einer durchschnittlichen Anzahl von Personen in Haushalten in Uruguay (4,3 Personen) und unter Berücksichtigung der versorgten Bevölkerung von Canelones (374.651 Personen) wird angenommen, dass 30.100 Personen durch das Haus-zu-Haus-System und 344.551 Personen durch das Ecopoint-Sammelsystem (d.h. Abgabestellen) versorgt werden. Wenn man dem Haus-zu-Haus-System eine höhere Sortiereffizienz zuordnet als dem Ecopuntos-System (willkürlich +10%)*, wird der im Kerbside-System gesammelte PET-Abfall berechnet.

*Da es in der Literatur keine Hinweise auf die Sortiereffizienz von PET gibt, wird diese Annahme unter Berücksichtigung verschiedener in der Literatur gefundener Sortiereffizienzen für die Sammlung von allgemeinen Kunststoffen in der EU getroffen. Giugliano et al. (2011) berichteten diese Effizienzen: 84,5 % Monomaterialsammlung von Haus zu Haus (nur die Kunststofffraktion wird gesammelt), 65,0 % Multimaterialsammlung in Großcontainern (Kunststoffe werden zusammen mit Papier und Glas gesammelt). Rigamonti, Grosso und Giugliano, (2012) berichteten über eine Sortiereffizienz von 56,0 % für eine generische Mehrstoffsammlung auf der Grundlage verschiedener Mehrstoffsammelfraktionen (Kunststofffraktion wurde in die Analyse einbezogen).

Die durchschnittliche Menge an verwaltetem PET-Abfall pro Monat (siehe Tabelle 5) wird auf Jahresbasis berechnet. Tabelle 6 zeigt das geschätzte Verhältnis zwischen der Sammlung am Straßenrand und dem Drop-Off Sammelsystem.

Tabelle 6: Geschätzte Menge an PET-Abfall in der Müllabfuhr in Canelones pro Jahr (Basisjahr 2019, basierend auf 4-Monats-Durchschnittswerten)

System	Produzierter PET-Abfall (kg)	Gesammelter PET-Abfall (kg)	Nicht-Gesammelter PET-Abfall (kg)	Sortierter (d.h. verwerteter) PET-Abfall (kg)	Nicht verwerteter PET-Abfall (kg)
Kerbside (Haus-zu-Haus)	146.049	14.978	131.071	12.044	2.934
Ecopoint	1.671.804	171.449	1.500.355	120.265	51.084

Abbildung 7 zeigt die Materialflussanalyse für die Probenentnahme in Canelones, normiert nach Funktionseinheit.

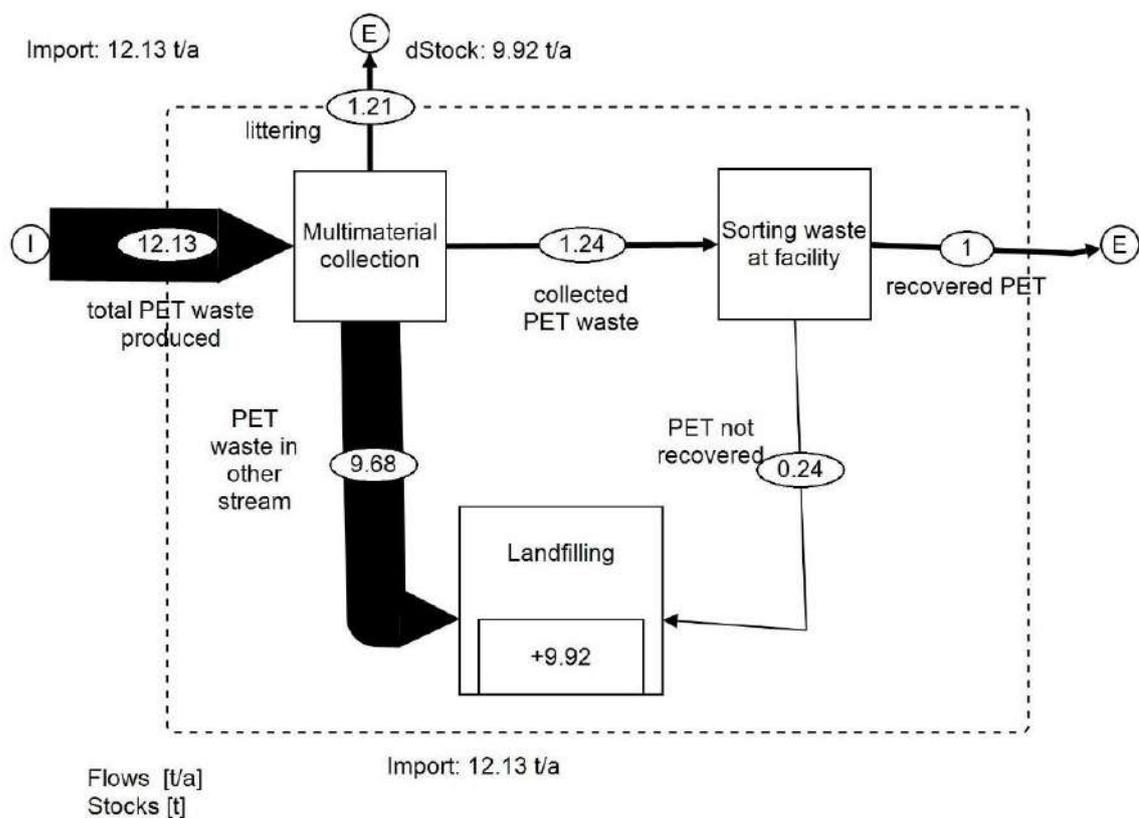


Abbildung 7: Materialflussanalyse des Kerbside-Systems in Canelones, normiert nach Funktionseinheit (System A).

DROP-OFF-SYSTEM IN MONTEVIDEO (SYSTEM B)

Nach den gleichen Überlegungen wie bei der Fallstudie Canelones werden in Tabelle 7 die Ergebnisse der für Montevideo gesammelten Informationen dargestellt. Es werden die folgenden Annahmen getroffen:

- Die Analyse wird unter Bezugnahme auf die kongruentesten Werte durchgeführt, die auf der PGE-CIU-Website für 2019 gefunden wurden (d.h. November und Dezember)
- Primärdaten (PGE-CIU-Website): Verwertungsquote von PET im Vergleich zum produzierten PET-Abfall, Summe des Gesamtabfalls in der Multi-Material-Sammlung (d.h. HDPE, LDPE, PET, Papier, Glas, andere), sortierter/verwerteter PET-Abfall (in Sortieranlagen)
- Sekundärdaten (Schätzung): Die gesammelten PET-Abfälle werden geschätzt, indem der gleiche Anteil an sortiertem PET in der gesamten sortierten Mehrstoffsammlung angenommen wird. Daher wird für sortierte PET-Abfälle (sortierte PET-Abfälle/gesamte sortierte Wertstoffsammelabfälle) derselbe Anteil verwendet wie für gesammelte PET-Abfälle (gesammelte PET-Abfälle/gesamte gesammelte Wertstoffsammelabfälle); die erzeugten PET-Abfälle werden aus der PET-Verwertungsquote und den sortierten PET-Abfällen berechnet
- Sekundäre Daten (Berechnung): Nicht in Sortieranlagen gesammelte PET-Abfälle werden als Differenz zwischen produzierten und gesammelten PET-Abfällen berechnet; nicht in Sortieranlagen verwertete PET-Abfälle werden als Differenz zwischen gesammelten und sortierten (d. h. verwerteten) PET-Abfällen berechnet.

Tabelle 7: PET-Abfallmanagement in Montevideo

Monat	Produzierter PET-Abfall (kg)	Gesammelter PET-Abfall (kg)	Nicht-Gesammelter PET-Abfall (kg)	Sortierter (d.h. verwerteter) PET-Abfall (kg)	Nicht verwerteter PET-Abfall (kg)
Nov 2019	1.490.284	61.493	1.428.791	26.229	35.264
Dez 2019	1.491.587	42.744	1.448.844	18.794	23.950
Durchschnitt	1.490.936	52.118	1.438.818	22.512	29.607

Abbildung 8 zeigt die Materialflussanalyse für die Probenentnahme in Canelones, normiert nach Funktionseinheit.

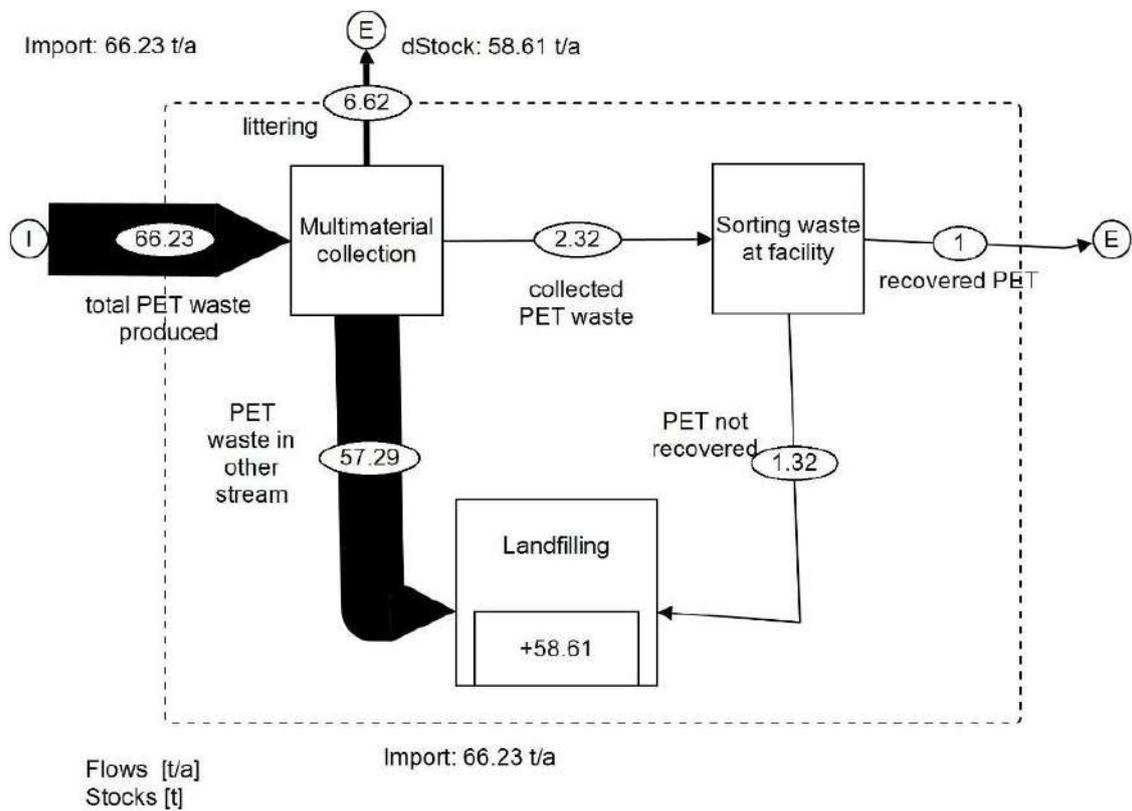


Abbildung 8: Materialflussanalyse der Abfallsammlung in Montevideo, normiert nach Funktionseinheit (System B).

PFAND- UND ERSTATTUNGSSYSTEM (SYSTEM C)

Für das DRS-Erfassungssystem wird eine durchschnittliche Erfassungsrate (82 %, geschätzt für 34 Länder von CM Consulting und Reloop, 2017)* angenommen. Abbildung 9 zeigt die Materialflussanalyse für das Pfand-Rücknahmesystem. Es ist zu beachten, dass die in der Flussanalyse gezeigten Werte nur zum Vergleich der globalen Gesamtergebnisse benötigt werden, da es sich um ein hypothetisches System handelt.

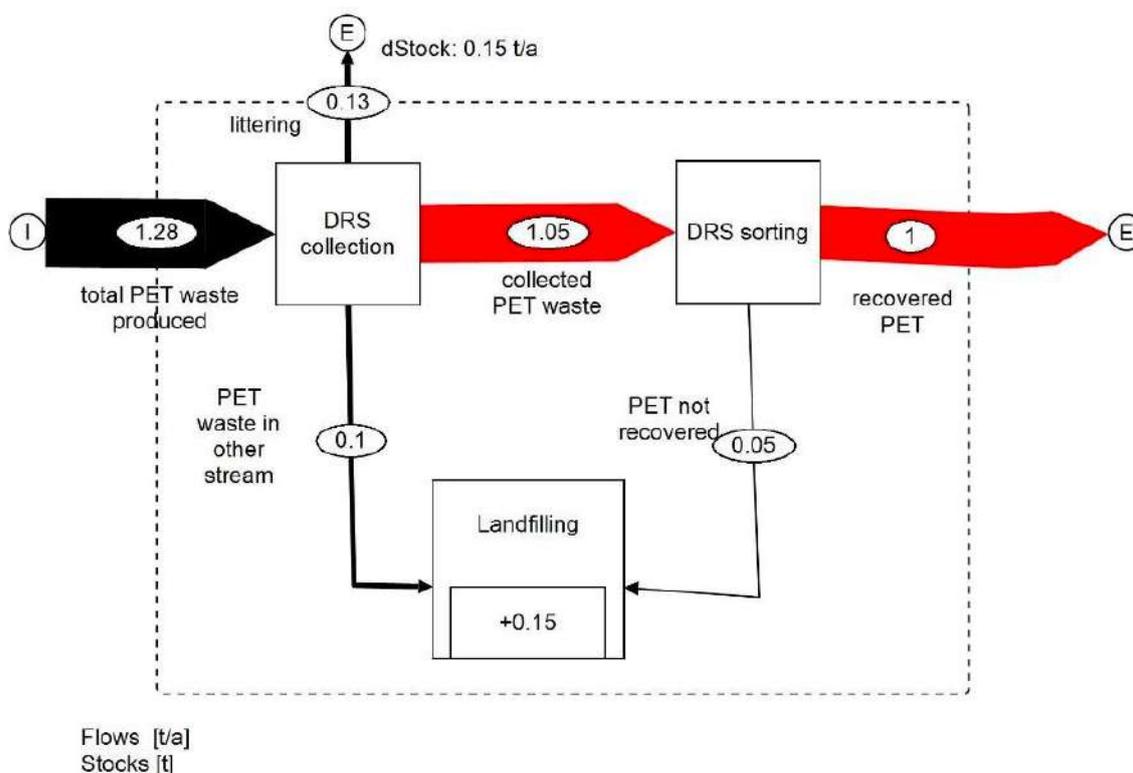


Abbildung 9: Materialflussanalyse der Erfassung im Pfand- und Erstattungssystem (System C)

*Dieser Wert stimmt mit anderen in der Literatur angegebenen Werten überein, die zwischen 72 und 98 % liegen (Envision, 2007; CM Consulting und Reloop, 2018).

ROHSTOFFE (UPSTREAM)

Die folgende Tabelle zeigt Informationen zu den in dieser LCA verwendeten Rohstoffen. Bei den Sammelsystemen Kerbside und Drop-Off wird die während der Lebensdauer gesammelte Abfallmenge geschätzt, indem angenommen wird, dass pro Tag ein voller Behälter (120 Liter) oder ein voller Container (ca. 3 m³) gesammelt wird. Die Dichte von nicht-kompaktiertem PET-Abfall (106 kg/m³)* und die Dichte von nicht-kompaktiertem Multi-Material-Abfall (266 kg/m³) basiert auf Bataineh (2020).

	Sammelsystem von Haus zu Haus (Canelones)	Sammelpunkte (Montevideo)	Hypothetisches Pfandsystem
Containertyp und Volumen	HDPE-Behälter (120 Liter)	50% Stahlcontainer (3 m ³); 50% HDPE-Container (3 m ³)	-
Gewicht	8 kg	Stahlcontainer: 145 kg HDPE-Container: 66 kg	Stahl (520 kg), Styropor (65 kg), Synthetikgummi (16,5 kg), Glas (16,5 kg) - Abschlag 5%
Angenommene Lebensdauer	10 Jahre	Stahlcontainer: 20 Jahre HDPE-Container: 10 Jahre	7 Jahre
Gesammelte PET-Abfälle (innerhalb der Lebensdauer)	116.654 kg	Stahlcontainer: 2.974.947 kg HDPE-Container: 1.069.328 kg	4.878.048 Einheiten (175,1 Tonnen)
Informationsquelle	Primärdaten**; Datenblatt***; (Bataineh, 2020)	Primärdaten**; Datenblatt***; (Bataineh, 2020)	(Raadal, Iversen und Modahl, 2016; Tomra, 2019)

Tabelle 8: Materialflussanalyse der Erfassung im Pfand- und Erstattungssystem (System C)

*Dieser Wert wurde von den am Projekt beteiligten Abfallwirtschaftsunternehmen durch direkte Kommunikation bestätigt.

**Behältervolumen und Material (Quelle: direkte Kommunikation mit Abfallwirtschaftsunternehmen)

***Diese Website, Datenblatt: https://www.ese.com/fileadmin/templates/files/Downloads/Broschueren/LL_2-wheel_ESE_EN.pdf und Stahlbehälter-System, Datenblatt: <https://scsinc.ca/wp-content/uploads/2014/02/FL-BEAR-PROOF-SIZING-CHART.pdf>

SAMMLUNG UND SORTIERUNG

An dieser Stelle werden die Entfernungen für den Transport geschätzt. Wenn in der Ökobilanz kein spezifischer Kraftstoffbedarf (L) pro Entfernungsstrecke (km) verfügbar ist, können die Entfernung und das durchschnittliche Gewicht des transportierten Materials als Näherungswert verwendet werden, wie in Tabelle 8 dargestellt. Auch der Strombedarf für die DRS-Sammlung und Sortierung wird hier dargestellt.

	Kerbside-System (Canelones)	Drop-Off-System (Montevideo)	Hypothetisches Pfandsystem
Durchschnittliche Entfernung zwischen Sammelstellen und Sortieranlagen	20 km	20 km	(Wird in diesem System nicht berücksichtigt)
Fahrzeugtyp	20% LKW mit Verdichtung (3,5-7,5 Tonnen, Euro 3); 80% LKW ohne Verdichtung (16- 32 Tonnen, Euro 3)	LKW ohne Verdichtung (16-32 Tonnen, Euro 3)	LKW ohne Verdichtung (16-32 Tonnen, Euro 3)
Energiebedarf	(keine Daten vorhanden)	(keine Daten vorhanden)	RVM-Energiebedarf: 41,78 kWh pro gesammelter Tonne PET
Informationsquelle	Distanzen*; (Arena, Mastellone und Perugini, 2003; Valentino, 2017)	Distanzen*; (Arena, Mastellone und Perugini, 2003; Valentino, 2017)	(Raadal, Iversen und Modahl, 2016; Valentino, 2017)

Tabelle 9: Sachbilanz, Sammelphase

Es wird davon ausgegangen, dass PET-Abfälle aus anderen Strömen bei der Mehrfach-Wertstoffsammlung nicht erfasst werden und dass eine bestimmte Menge an PET-Abfällen bei der Sortierung verworfen wird, was mit dem Grad der Sortiereffizienz zusammenhängt. Es wird angenommen, dass dieser Abfall transportiert und deponiert wird. Der letzte Eintrag in der Sachbilanz wird über den Ecoinvent-Eintrag modelliert: "Behandlung von Polyethylenterephthalat-Abfall, Abfalldeponie"**. Tabelle 10 zeigt den AKI für die End-of-Life-Phase.

*Informationen, die aus der direkten Kommunikation mit Abfallwirtschaftsunternehmen stammen.

**Dieser Datenbankeintrag berücksichtigt 1% Gesamtabbaubarkeit von PET-Abfall für 100 Jahre, Deponiegas- und Sickerwassererfassungssystem, Rekultivierung und Deponieüberwachung für 150 Jahre nach Schließung (Quelle: Ecoinvent).

Das Datenblatt: https://www.esa.com/fileadmin/templates/files/Downloads/Broschueren/LL_2-wheel_ESE_EN.pdf

Stahlbehälter, Datenblatt: <https://scsinc.ca/wp-content/uploads/2014/02/FL-BEAR-PROOF-SIZING-CHART.pdf> ;

HDPE-Behälter, Datenblatt: <https://www.plastor.co.uk/waste-and-recycling-bins/large-wheeled-bins/extra-large-wheeled-bin-1100-litre-with-4-wheels-and-flat-top/>

http://www.eunomia.co.uk/wp-content/uploads/2015/05/ZWS-DRS-Report_APPENDIX_Final.pdf

	Sammelsystem von Haus zu Haus (Canelones)	Sammelpunkte (Montevideo)	Hypothetisches Pfandsystem
Transport Entfernung der PET-Abfälle zur Deponie	40 km	20 km	40 km*
Fahrzeugtyp	LKW (16-32 Tonnen), Euro 3	LKW (16-32 Tonnen), Euro 3	LKW (16-32 Tonnen), Euro 3
Informationsquelle	Distanzen**; (Arena, Mastellone und Perugini, 2003; Valentino, 2017)	Distanzen**; (Arena, Mastellone und Perugini, 2003; Valentino, 2017)	(Raadal, Iversen und Modahl, 2016; Valentino, 2017)

Tabelle 10: Sachbilanz, End-of-Life-Phase

*Willkürliche Annahme

**Informationen, die aus der direkten Kommunikation mit Abfallwirtschaftsunternehmen stammen

WIRKUNGSANALYSE

Die Ergebnisse der Auswirkungen werden hier anhand der Modellierung von Abfallwirtschaftssystemen bereitgestellt. Die wichtigsten Beiträge zu den Ergebnissen und die Unterschiede zwischen den Systemen werden hier nach Auswirkungskategorien beschrieben.

KLIMAWANDEL

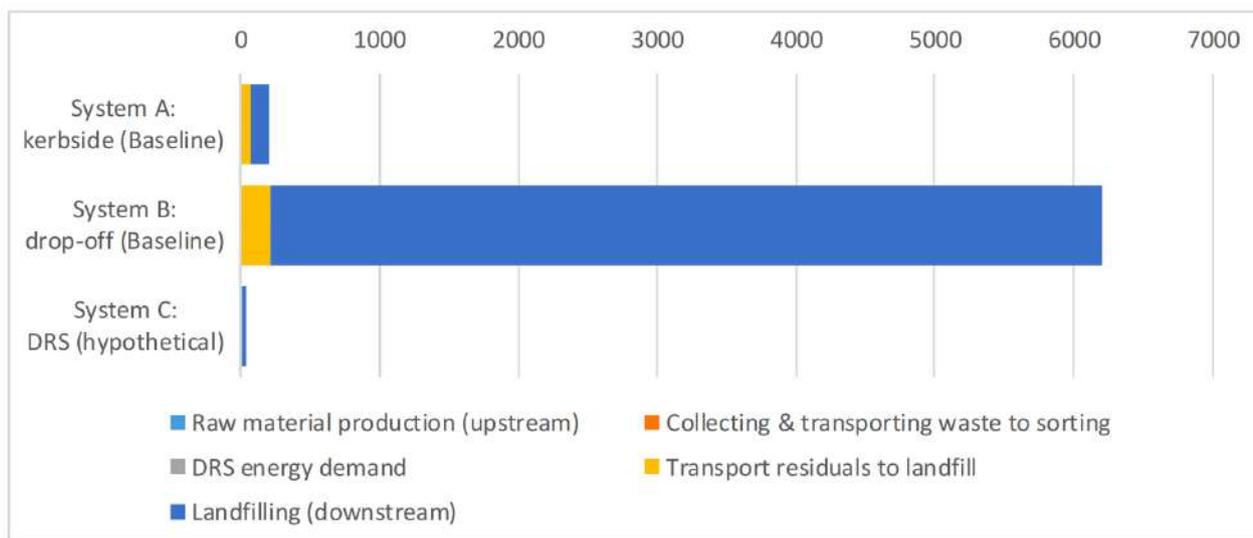


Abbildung 10: Ergebnisse des Baseline-Vergleichs für die Wirkungskategorie Klimawandel (ohne biogenen Kohlenstoff) in kg CO₂-eq.

Die potenziellen Auswirkungen des Abfallsystems auf den Klimawandel werden größtenteils von den Mülldeponien verursacht (93-97 % des Gesamtvolumens). Vorgelagerte Prozesse und Sammelprozesse sind für die Gesamtauswirkungen nicht relevant. Der zweitwichtigste Beitrag ist der Transport zu Deponien. Daher sind diese beiden aggregierten Prozesse die wichtigsten Treiber der Auswirkungen des Klimawandels für die Systeme A und B. Bei der Sammlung im Bordsteinsystem ist neben den Beiträgen aus den Deponien der Transport der Abfälle zu den Sortieranlagen der wichtigste Beitrag.

Um den Beitrag der Auswirkungen innerhalb jedes Systems zu bewerten, zeigt Abbildung 11 eine Beitragsanalyse (normalisiert auf 100 %). Der bedeutendste Faktor in der Kategorie Klimawandel für die DRS sind vorgelagerte Prozesse, bedingt durch die Rohstoffgewinnung und Herstellung (insbesondere Stahl für RVM), die einen großen Beitrag leisten (ca. 45 % der gesamten Auswirkungen in der Kategorie Klimawandel). Der Strombedarf für den RVM-Betrieb, der als durchschnittlicher Netzmix in Uruguay angenommen wird, trägt dazu etwa 10 % bei.

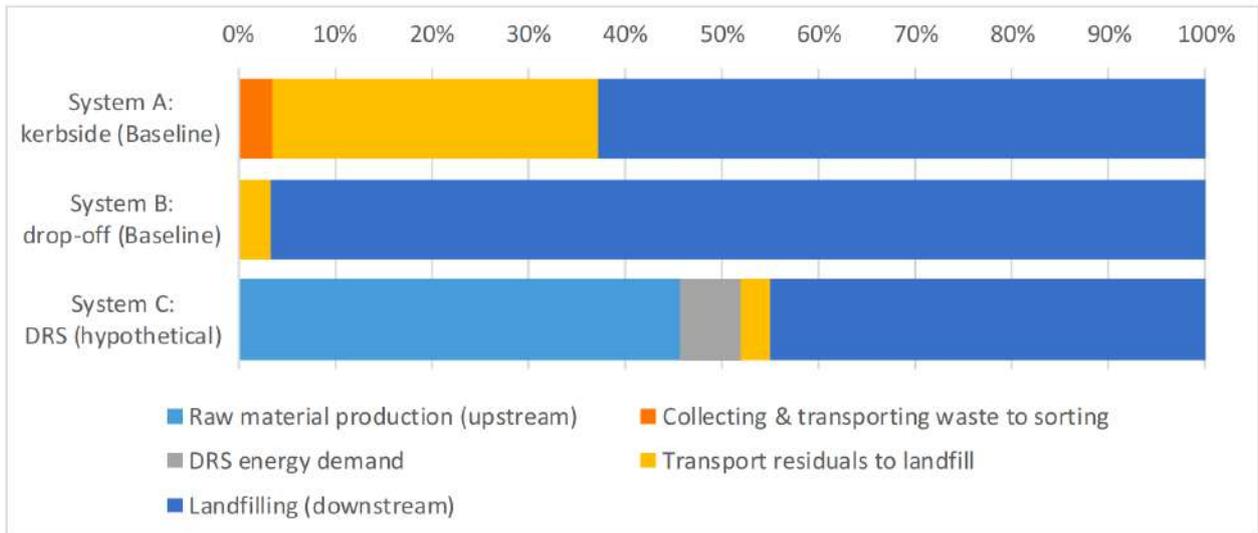


Abbildung 11. Beitragsanalyse für die Wirkungskategorie Klimawandel (ohne biogenen Kohlenstoff).

FEINSTAUBBILDUNG

Die Ergebnisse der Wirkungskategorie der Feinstaubbildung sind in Abbildung 12 dargestellt.

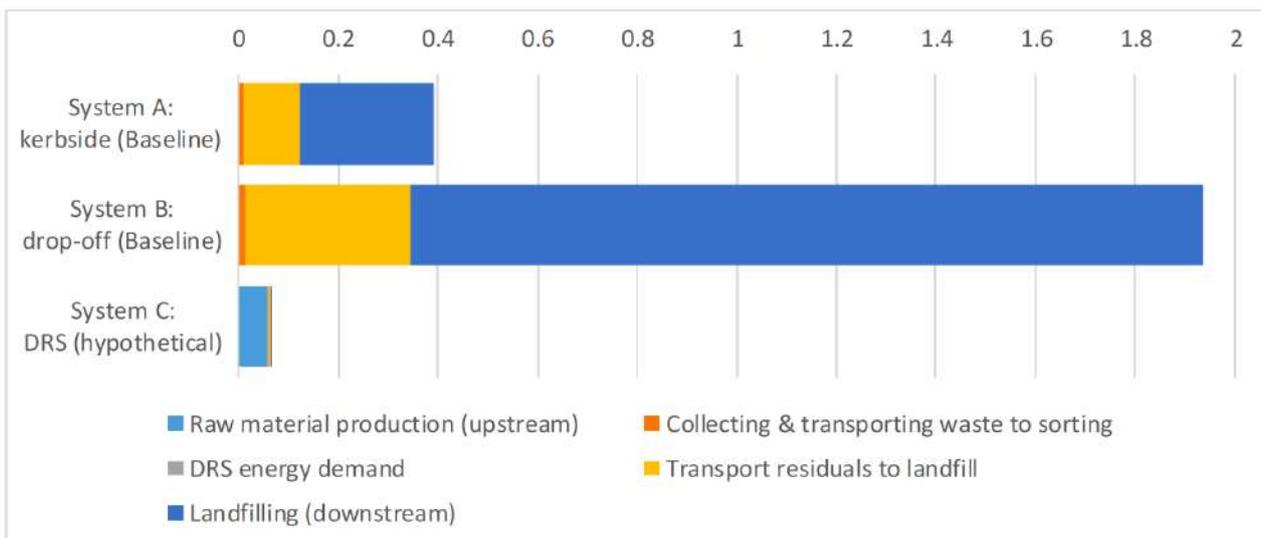


Abbildung 12. Ergebnisse des Basislinienvergleichs für die Wirkungskategorie Feinstaubbildung in kg PM2,5 eq.

Es zeigen sich ähnliche Ergebnisse wie beim Klimawandel. Der absolute Unterschied zwischen den Auswirkungen des Systems A (Bordstein) und Systems B (Drop-Off) ist jedoch bei der Wirkungskategorie Feinstaubbildung weniger signifikant als bei der Kategorie Klimawandel. Der Verkehr trägt am stärksten zu den Gesamtauswirkungen bei. Vorgelagerte Prozesse im DRS tragen mehr zu den Gesamtauswirkungen bei.

ABBAU FOSSILER BRENNSTOFFE

Abbildung 13 zeigt die Ergebnisse für die Wirkungskategorie "Abbau fossiler Brennstoffe".

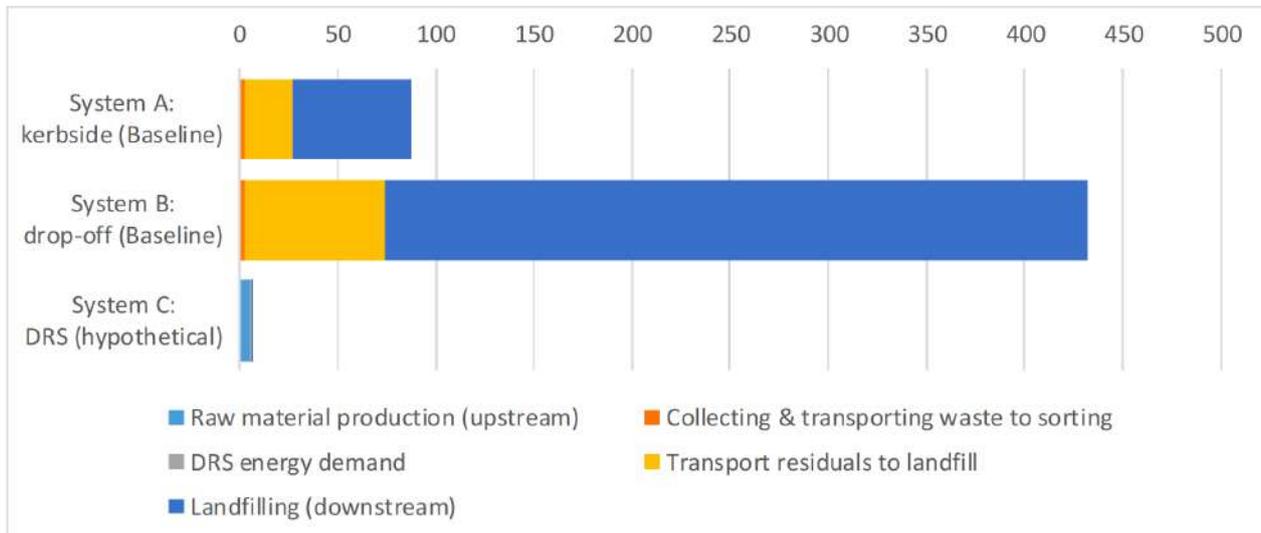


Abbildung 13. Baseline-Vergleichsergebnisse für die Wirkungskategorie Abbau fossiler Brennstoffe in kg Öläquivalent

Potenzielle Auswirkungen des Abbaus der fossilen Brennstoffe im Drop-off- und Kerbside-System sind größtenteils auf die Deponien und den Transport zu den Deponien zurückzuführen (97-99 % der Gesamtsumme). Erfassungs- und vorgelagerte Prozesse sind für die gesamten aggregierten Auswirkungen nicht relevant, außer im DRS.

ZUSAMMENFASSUNG DES BASELINE-VERGLEICHS

Indikator ReCiPe 2016 (H)	Kerbside (Canelones - System A)	Drop-off (Montevideo - System B)	Hypothetisches Pfandsystem - System C
Klimawandel, Standard, ohne biogenen Kohlenstoff [kg CO ₂ eq.]	203,88	6212,39	35,34
Feinstaubbildung [kg PM _{2.5} eq.]	0,39	1,93	0,07
Fossile Erschöpfung [kg Öl eq.]	87,29	432,27	7,29

Tabelle 11: Zusammenfassung der aggregierten Gesamtauswirkungen der Basisszenarien

SENSITIVITÄTSANALYSE

Um Abweichungen der Ergebnisse in der Ökobilanz durch Variation eines bestimmten Parameters zu bewerten, werden Sensitivitätsanalysen verwendet. Die folgenden Sensitivitätsanalysen stellen die Variabilität der Ergebnisse durch Variation dar hinsichtlich:

- der Verwertungsquote im Bordsteinsystem und im Drop-Off-System;
- den Transportwegen.

Durch die Variation der Ströme in den drei Systemen wird eine proportionale Variation der Umweltemissionen in den drei Wirkungskategorien erwartet. Durch die Erhöhung z. B. der PET-Sammelquote oder der PET-Rückgewinnungsquote in den Abfallmanagementsystemen können die Gesamtauswirkungen drastisch reduziert werden. Abbildung 14 zeigt die Ergebnisse einer Sensitivitätsanalyse für das Drop-Off-System (System B) mit verschiedenen Rückgewinnungsraten (aktuell, 20 %, 40 %, 60 %). Diese Ergebnisse zeigen, dass die verschiedenen Abfallströme, die in der Materialflussanalyse identifiziert wurden, einen starken Einfluss auf die Gesamtauswirkungen haben und dass es äußerst wichtig ist, über detaillierte Daten zu den Material(abfall)strömen zu verfügen, um die Ströme und damit ihre Auswirkungen genau zu erfassen.

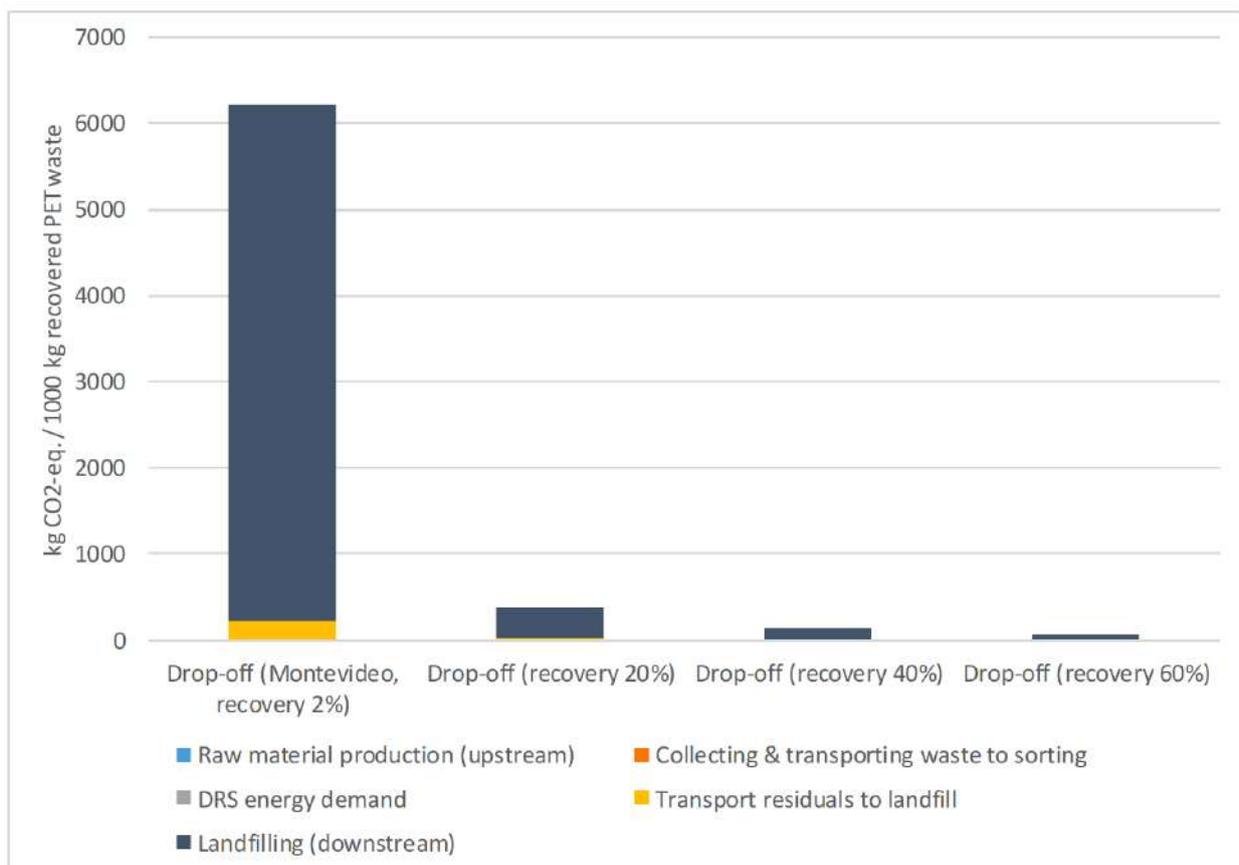


Abbildung 14. Sensitivitätsanalyse für das Absetzsystem mit unterschiedlichen Verwertungsquoten für die Kategorie Klimawirkung (ohne biogenen Kohlenstoff) in kg CO₂-eq.

Abbildung 15 zeigt die Ergebnisse einer Sensitivitätsanalyse für das Bordsteinsystem (System A) mit unterschiedlichen Verwertungsquoten (aktuell, 20%, 40%, 60%). Diese Ergebnisse, wie auch für das Drop-Off-System, zeigen, dass die in der Materialstromanalyse dargestellten Ströme einen starken Einfluss auf die Gesamtauswirkungen haben und es unerlässlich ist, diese Ströme zu verstehen und Daten über sie zu erhalten. Im besten Fall (60 % Rückgewinnungsrate) werden die Auswirkungen auf die Aggregate um etwa 99 % reduziert.

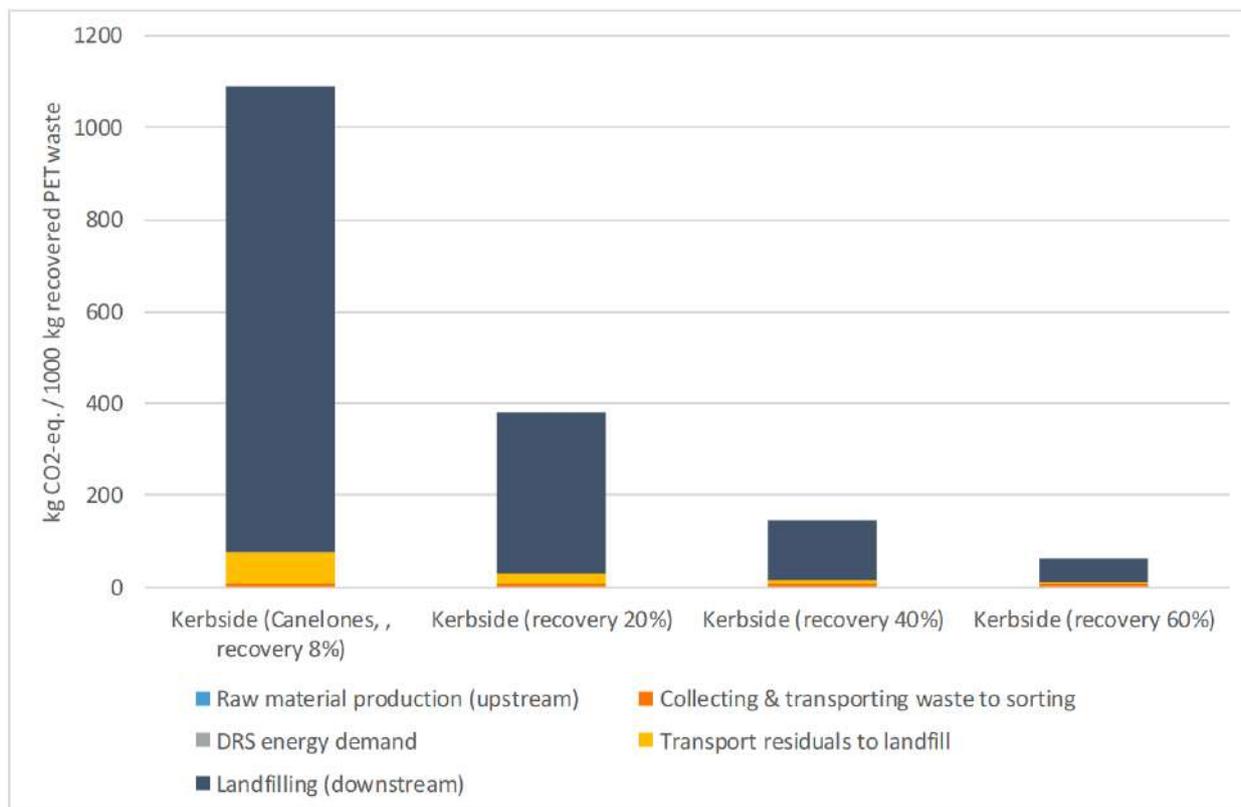


Abbildung 15. Sensitivitätsanalyse für das Kerbside-System mit unterschiedlichen Verwertungsquoten für die Wirkungskategorie Klimawandel (ohne biogenen Kohlenstoff) in kg CO2-eq.

Abbildung 16 zeigt die Ergebnisse einer beispielhaften Sensitivitätsanalyse für das Drop-Off-System (System B) mit unterschiedlichen Rückgewinnungsraten (aktuell, +50%, +100%, +150%). Diese Ergebnisse zeigen, dass die Entfernungen für das Gesamtergebnis von geringer Bedeutung sind. Im ungünstigsten Fall (+150 % Entfernungstrecken) sind die Gesamtergebnisse um 3 % höher als der aktuelle Wert (Basislinie).

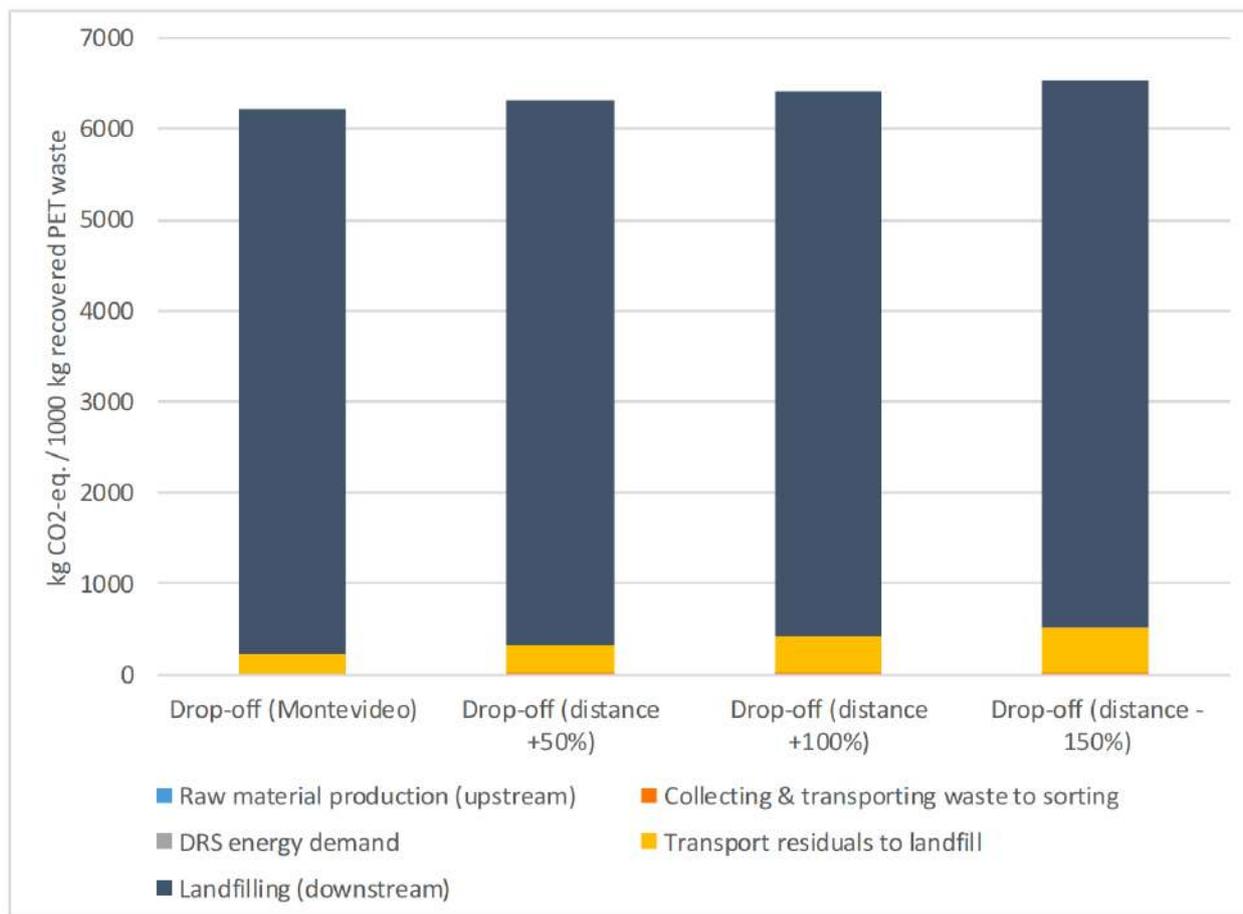


Abbildung 16. Sensitivitätsanalyse für das Abgabesystem mit unterschiedlichen Entfernungen zu Sortieranlagen und Deponien für die Wirkungskategorie Klimawandel (ohne biogenen Kohlenstoff) in kg CO₂-eq.

INTERPRETATION

Die resultierenden Auswirkungen, die mit den Referenzszenarien "Bordsteinkante" und "Drop-Off" verbunden sind, sind im Allgemeinen überwiegend deponiebedingt (aggregierte Auswirkungen aus Transport zur Deponie). Darüber hinaus bestimmt die in dieser Studie entwickelte Stoffstromanalyse, basierend auf den verfügbaren Informationen über PET-Abfallströme, die Gesamtergebnisse. Sensitivitätsanalysen zeigen, dass erhöhte Wiederfindungsraten mit einem dramatischen Rückgang der Auswirkungen verbunden sind. Die hohe Variabilität aufgrund von inheränten Unsicherheiten und dem Mangel an genauen Daten in diesen Szenarien sollte jedoch weiter untersucht werden.

Sowohl bei Bordsteinsystemen als auch bei Abfallsammelsystemen führt eine unsachgemäße Abfallsammlung zu sinkenden Recyclingraten. In diesen Systemen werden typischerweise mehrere Arten von Kunststoffverpackungen zusammen gesammelt, und in vielen Ländern reduziert die Sammlung mehrerer Wertstoffe häufig die Sammel- und Verwertungsquote (pwc, 2011; CM Consulting und Reloop, 2018).

DRS hat im Allgemeinen aus drei Gründen eine geringere Umweltbelastung. Erstens hat sie eine sehr hohe Erfassungsrate (Raadal, Iversen und Modahl, 2016; CM Consulting und Reloop, 2018). Zweitens: Da das DRS Abfälle nur einer Materialgruppe sammelt (z. B. PET-Einweg-Getränkeflaschen), die vor der Sammlung nicht verderben, sind sehr hohe Recyclingraten zu erwarten (Envision, 2007; pwc, 2011). Drittens wird erwartet, dass die Vermüllung der Umwelt deutlich reduziert wird (Envision, 2007).

Viele der in dieser Studie verwendeten Annahmen könnten durch weitere Forschung und Datenerfassung verbessert werden. Auf diese Weise könnte die im Hinblick auf die Umweltauswirkungen günstigste Stoffstromanalyse vorgeschlagen und die Unsicherheiten, die die Ergebnisse beeinflussen, reduziert werden. Allerdings müssten für die beiden derzeit in Betrieb befindlichen Erfassungssysteme Daten verfügbar sein bzw. erfasst werden.

Eine Unsicherheitsanalyse kann nützlich sein, um festzustellen, ob die Ergebnisse durch Parameter beeinflusst werden könnten, die nicht bekannt sind oder aus der Literatur geschätzt werden können. Unsicherheiten finden sich z.B. in standortspezifischen Daten, deren Berücksichtigung aufgrund der großen Variabilität einiger Parameter schwierig sein kann (z. B. Kraftstoffbedarf von Entsorgungsfahrzeugen aufgrund der großen Variabilität von Einsätzen, Stopps, Entfernungen, die während der Sammlung variieren können). Die Analyse der Unsicherheit der relevanten Parameter kann mögliche Auswirkungen auf die Ergebnisse haben. Wenn die Unsicherheit in einem gegebenen System berücksichtigt wird, kann die Robustheit eines Modells untersucht werden.

Die Recyclingquote könnte für die Beurteilung relevant sein, ob Umweltgutschriften die Gesamtbeiträge für bestimmte Wirkungskategorien erheblich verringern könnten. Dieser Schritt würde eine Untersuchung an Recyclinganlagen mit standortspezifischen Daten erfordern. Es ist anzumerken, dass in der Literatur zur Lebenszyklusanalyse Gutschriften für die Materialrückgewinnung ein umstrittener Parameter sind. Die Modellierung der Materialrückgewinnung kann einen geringen Beitrag zu den Ergebnissen leisten (siehe z.B. Kuczynski und Geyer, 2011) oder positiv zu den Gesamtauswirkungen beitragen (siehe z.B. Valentino, 2017).

Der wichtigste Faktor sind standortspezifische Daten zu Abfallmanagementsystemen. Dies kann helfen, die aktuellen Annahmen zu verbessern. Die Unsicherheiten der LCA-Ergebnisse hängen stark von den Randbedingungen und dem Fokus der Analyse ab. Da Systeme stark von standortspezifischen Bedingungen abhängen (z.B. spezifische Abfallzusammensetzung, Effizienz des Behandlungsprozesses), ist die Materialflussanalyse in der Lebenszyklusanalyse für Systeme zur Behandlung von Kunststoffverpackungen entscheidend (Van Eygen, Laner, & Fellner, 2018).

In der Literatur wurden viele Sammelsysteme mit standortspezifischen Daten untersucht, wie z.B. die Mehrstoffsammlung von Wertstoffen (z.B. Papier, Glas, Kunststoffe, Metalle) im Drop-Off-System, die Mehrstoffsammlung von Wertstoffen im Bordsteinsystem, die Monostoffsammlung der Kunststofffraktion im Bordsteinsystem, die Monostoffsammlung von Polyolefin- und PET-Flaschen im Bordsteinsystem (Arena, Mastellone und Perugini, 2003; Rigamonti, Grosso und Sunseri, 2009; Giugliano et al., 2011; Rigamonti, Grosso und Giugliano, 2012; Raadal, Iversen und Modahl, 2016; Valentino, 2017). Viele andere Parameter wie Sammelrate, Rückgewinnungsrate und Sortiereffizienz wurden berichtet (Giugliano et al., 2011; Rigamonti, Grosso, & Giugliano, 2012; Raadal, Iversen, & Modahl, 2016). Generische Überlegungen stellen eine Herausforderung für die Interpretation der Ergebnisse in einem lokalen Kontext dar. Wenn Informationen über einen bestimmten Standort eingehend untersucht werden, können politische Maßnahmen vorgeschlagen werden, die die Vor- oder Nachteile des einen Systems gegenüber einem anderen hervorheben.

Darüber hinaus könnten die Auswirkungen eines Wechsels von einem zum anderen Abfallentsorgungssystem auf Systemebene ganzheitlicher analysiert und diskutiert werden (z.B. die Folgen einer Änderung der Kapazitäten von Sortier- und Aufbereitungsanlagen, die Auswirkungen des Versands von PET-Flakes in andere Länder).

KAPITEL IV

KOSTEN- NUTZEN- ANALYSE

Wie bereits erwähnt, ist es das Ziel dieser Bewertung, drei PET-Sammelsysteme aus ökologischer und ökonomischer Sicht zu vergleichen. Daher deckt die Kosten-Nutzen-Analyse (KNA) den wirtschaftlichen Teil dieser Bewertung ab, indem die finanziellen Kosten der drei Sammelsysteme pro gesammelter Tonne PET untersucht werden.

Es ist wichtig zu beachten, dass der Umfang der Kostenbewertung auf den Strom zwischen der Sammlung am Ort der Abfallerzeuger und der Sortieranlage beschränkt ist. Die Verarbeitung nach der Sortieranlage (oder von den Leergutautomaten) bis zu den letzten Stufen des Recyclings wird nicht berücksichtigt, da diese für alle Systeme als ähnlich angesehen werden.

KOSTEN FÜR PFAND- UND ERSTATTUNGSSYSTEME

Wie oben beschrieben, ist die Implementierung eines DRS mit zahlreichen Investitionen, finanziellen Kosten und Opportunitätskosten verbunden (z.B. nicht erzielte Einnahmen aufgrund der von Leergutautomaten belegten Fläche).

Aufgrund der Unsicherheiten, die mit der Höhe der Opportunitätskosten für Einzelhändler unterschiedlicher Größe und Umsatzvolumina verbunden sind, werden die Opportunitätskosten hier nicht in die Berechnung einbezogen. Tabelle 12 fasst die gesammelten Zahlen für DRS zusammen, die in anderen Ländern bereits implementiert sind oder für die Implementierung evaluiert werden, zusätzlich zu den für Uruguay spezifischen Schätzungen.

Investitions-/Kostenkomponente	Kosten	Währung
Obergrenze der geschätzten Investition für den Kauf eines kleinen Sammelautomaten	20.000	EUR
Installationskosten	2.200	EUR
Jährliche Betriebskosten (9 % der Kapitalkosten)	1.800	EUR
Opportunitätskosten	(nicht berücksichtigt)	-
Arbeitskosten für die Rückgabe von Behältnissen durch die Kunden über RVM (Scannen der Coupons und Entleeren des RVM, 25 Minuten pro Tag, unter der Annahme von 6 Arbeitstagen pro Woche und einem Bruttolohn von ca. 215.769 UYU pro Jahr)	11.238	UYU

Tabelle 12: Zusammenfassung der wichtigsten Kosten und Investitionen im Zusammenhang mit dem Betrieb des DRS

*Laut <https://www.salaryexpert.com/salary/job/grocery-store-cashier/uruguay/montevideo>

KOSTEN PRO TONNE UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON INVESTITIONEN UND BETRIEBSKOSTEN

Zur Berechnung der Kosten pro gesammelter Tonne PET wird die Gesamtbevölkerung Uruguays herangezogen, um die Anzahl der benötigten RVMs und die Menge an PET abzuleiten, die in einem solchen System bei einer bestimmten Sammelrate gesammelt werden könnte.

Laut dem Bericht des Verpackungsmanagementplans der Industriekammer von Uruguay (CIU) für den Betrieb in Canelones im November 2019 beträgt die Gesamtbevölkerung von Uruguay 3.518.552 Personen. Basierend auf den Zahlen, die zuvor in diesem Bericht berichtet wurden, scheint die Zahl von 1 RVM pro 1.900 Personen für die Schätzung angemessen zu sein (dies ist ein Wert, der in einem kürzlich erschienenen Bericht für Schottland bezüglich der Implementierung eines DRS verwendet wurde). Basierend auf diesen Zahlen und der nationalen Bevölkerung kann geschätzt werden, dass Uruguay etwa 1.852 RVMs benötigen würde.

Die geschätzte jährliche Gesamtmenge an PET, die in Uruguay deponiert wird, beträgt laut demselben PGE-Bericht etwa 15.630 Tonnen PET. Wie bereits in diesem Bericht erwähnt, liegen die Erfassungsraten in den von DRS in Europa implementierten Systemen zwischen 87 % und 98 %. Wenn beispielsweise eine PET-Sammelquote von 75 % erreicht werden könnte, würde die Menge an gesammeltem PET ca. 11.723 Tonnen betragen (unter der Annahme, dass das gesamte anfallende PET laut Bericht auf PET-Flaschen entfällt). In Bezug auf die jährlichen Kosten, die speziell mit der Implementierung (Abschreibung) und dem Betrieb von 1.852 RVMs verbunden sind, konnten diese wie unten in Tabelle 13 dargestellt geschätzt werden.

Kostenkomponente	Jährliche Kosten in EUR pro Maschine	Jährliche Kosten in EUR für 1.852 Maschinen	Jährliche Kosten in UYU pro Maschine	Jährliche Kosten in UYU für 1.852 Maschinen
Kapitalkosten (Anschaffungs- und Installationskosten bei einer angenommenen Nutzungsdauer von 7 Jahren)	3.171	5.873.486	165.358	306.243.545
Betriebskosten	1.800	3.333.600	93.852	173.813.904
Arbeitskosten	216	399.170	11.238	20.812.718
Total pro Jahr	5.187	9.606.256	270.448	500.870.167

Tabelle 13: Geschätzte Kosten für das Pfandsystem

Quellen:

<http://www.ciu.com.uy/innovaportal/file/89402/1/pge-canelones-informe-2019-noviembre-nuevo-formato.pdf>

<https://www.apeal.org/wp-content/uploads/2015/04/08-02-Roland-Berger.pdf>

*Wechselkurs 1 EUR = 52.14 UYU

Unter Berücksichtigung der oben genannten Kosten und der Menge von 11.723 Tonnen PET, die im Land zurückgewonnen werden könnten, würden die Kosten pro Tonne zurückgewonnenen PET (unter der Annahme, dass 100 % derzeit aus Flaschen bezogen werden) etwa 819 Euro oder 42.727 UYU pro Tonne zurückgewonnenen PET betragen. Es ist wichtig anzumerken, dass die oben genannten Zahlen wahrscheinlich niedriger sind, da angenommen wurde, dass die vollen Kosten durch die PET-Rückgewinnung gedeckt werden, während in Wirklichkeit diese Maschinen auch gleichzeitig zum Sammeln von Glas und Aluminiumdosen verwendet werden könnten.

VERGLEICH MIT DEN KOSTEN DES DEUTSCHEN PFANDSYSTEMS

Das deutsche Pfandsystem wurde im Jahr 2003 eingeführt und Deutschland wird häufig für seine hohen Recyclingquoten gelobt. Nach Angaben der Unternehmensberatung Roland Berger beliefen sich die Anfangsinvestitionen in das System auf rund 726 Millionen Euro (702 Millionen Euro entfallen auf den Handel und 24 Millionen Euro auf die Industrie). In Bezug auf die jährlichen Kosten (für den Betrieb und die Instandhaltung des Depotsystems), wobei die Abschreibung auf der Grundlage der Nutzungsdauer erfolgt und in den jährlichen Kosten enthalten ist, wurden die jährlichen Kosten auf ca. 793 Mio. EUR geschätzt (699 Mio. EUR für den Einzelhandelssektor und 94 Mio. EUR für den Industriesektor).

Der Markt wurde auf etwa 14 Milliarden Einwegverpackungen (einschließlich PET, aber auch Glas und Dosen) geschätzt. Bei einer Verwertungsquote von 95 % (etwas niedriger als heute) werden insgesamt 13,3 Milliarden Behälter pro Jahr verwertet. Das bedeutet Kosten von 0,06 Euro pro zurückgewonnenem Behälter. Geht man von einem Gesamtdurchschnitt von 30.000 Flaschen pro Tonne PET aus, würde dies Kosten von 1.788 Euro pro Tonne PET bedeuten.

SAMMELSYSTEM MIT KERBSIDE-MODELL

Um die Kosten des in Canelones angewandten Bordsteinsystems zu ermitteln wurde ein Fragebogen erstellt. Wie bereits erwähnt, wurde dieser Fragebogen an mehrere Interessengruppen verteilt, darunter auch an die Gemeinde Canelones. Das Hauptziel des Fragebogens war es, eine bessere Sichtbarkeit (nach System und Kostenkomponente) der Gesamtkosten zu erreichen, die auf der CIU-PGE-Website (Verpackungsmanagementplan der Industriekammer von Uruguay) gemeldet werden. Ein Überblick über die Kostenaufteilung nach System (d.h. Sammlung am Straßenrand, Ecopoints, "Tu envase nos sirve") würde es ermöglichen, Ineffizienzen zu identifizieren und die Kosten pro Tonne zurückgewonnenen PET in einer effizienten Situation der Sammlung am Straßenrand zu schätzen.

Von der Intendencia de Canelones wurde mitgeteilt, dass es nicht möglich war, die Gesamtkosten nach System/Programm aufzuschlüsseln, da die Sammel- und Sortiertätigkeiten auf die drei Programme aufgeteilt sind.

Die Stadtverwaltung von Canelones hat berichtet, dass in Bezug auf das Volumen der für das Recycling gesammelten Abfälle 67 % auf Abgabestellen (von PGE bereitgestellte Module), 10 % auf das Ecopoints-Programm, 7 % auf Doppelhaushaltscontainer (Kerbside) und 16 % auf Nicht-Haushaltserzeuger entfallen. Die Stadtverwaltung hat darauf hingewiesen, dass sie zwar Daten über die von den einzelnen Programmen gesammelten Mengen vorlegen kann, dass es aber nicht möglich ist, die Kosten der einzelnen Programme bzw. Systeme zu schätzen, indem man die Menge in Tonnen in Beziehung setzt, da die Logistik der einzelnen Systeme eine gemeinsame Nutzung von Ressourcen beinhaltet. Ein weiterer wichtiger Beitrag der Stadtverwaltung war die Klärung, welche Kostenkomponenten in den in der ICU-PGE-Datenbank veröffentlichten Kosten enthalten sind:

- Arbeitskräfte für die Steuerung und Logistik der Gemeinde
- Logistik (Sammlung von Wertstoffen)
- Miete, Abschreibung von Vermögenswerten und Aufwendungen mit Wartung und Verbrauch
- Ausstattung und Versorgung durch das Quartiermeisterbüro
- Von der CIU bereitgestellte Geräte und Materialien
- Sortervergütung durch die CIU

Da für die einzelnen Systeme und Programme keine weiteren Details zur Verfügung standen und auch nicht auf der Grundlage von Ist-Daten ermittelt werden konnten, blieb nur die Möglichkeit, die Kosten pro Tonne zurückgewonnenen PET unter Berücksichtigung aller Systeme in Canelones zusammen zu berechnen. Es ist wichtig anzumerken, dass, da Informationen über den Prozentsatz des zurückgewonnenen PET (als Prozentsatz des gesamten zur Sortierung eingegangenen Materials) für Montevideo vor November 2019 nicht verfügbar waren (was einen Vergleich mit Canelones ermöglichen würde) und da nach Januar 2020 die Auswirkungen der Covid-19-Krise bereits sichtbar sind, wurde beschlossen, den Vergleich auf die drei Monate zwischen November 2019 und Januar 2020 zu stützen. Außerdem wurden die Kosten auf die Wertstoffe entsprechend dem Anteil von PET an der Gesamtmenge nach Gewicht der zur Sortierung angenommenen Wertstoffe aufgeteilt, wobei angenommen wurde, dass 100 % des PET auf PET-Flaschen entfielen.

	Nov 2019	Dez 2019	Jan 2020
Prozentualer Anteil von wiedergewonnenem PET gegenüber dem erzeugten PET-Abfall (pro Monat)	6,37%	7,93%	11,21%
Gesamtmenge des in Sortieranlagen eingegangenen Materials, ohne Großherzeuger (in Tonnen)	158	152	179
Prozentualer Anteil des gesammelten PET am Gesamtgewicht der zur Sortierung eingegangenen Materialien	5,58%	7,26%	8,67%
Gesamte Sammlung und Sortierung			
Kosten des Programm für die CIU (in UYU)	3.333.268	3.333.268	3.333.268
Kosten des Programms für andere Einrichtungen: Stadtverwaltung, MIDES und DINAMA (in UYU)	967.594	967.594	967.594
Gesamte Kosten des Programms (in UYU)	4.300.862	4.300.862	4.300.862
Gesamtkosten des Programms (in UYU) bezogen auf PET (als Funktion des prozentualen Anteils von PET am gesamten wiederverwerteten Abfall in diesem Monat)	240.112	312.184	372.863
Rückgewonnenes PET (in Tonnen)	8,84	11,00	15,54
Gesammeltes PET aus Flaschen (in Tonnen) - unter Annahme von 100 % aus Flaschen	8,84	11,00	15,54
Kosten pro Tonne sortiertes PET (in UYU)	27.162,02	28.385,53	23.989,10

Tabelle 14: Kosten in Canelones

Wie man sehen kann, hat die Gesamterholungsrate einen signifikanten Anstieg im Januar, was möglicherweise auf den Zuzug von Menschen in die Region im Sommer zurückzuführen ist. Dies führt zu einer deutlichen Senkung der Kosten pro Tonne zurückgewonnenen PET (Erhöhung der Rückgewinnungsrate bei konstanten Gesamtkosten).

SAMMELSYSTEM MIT DROP-OFF-MODELL

Bei der Bewertung des Sammelsystems in Montevideo wurde der gleiche Ansatz verfolgt wie bei der Bewertung des Bordsteinsystems in Canelones. In Bezug auf das Volumen der in den Sortiersystemen angenommenen Wertstoffe ist der Rückgang des Volumens während des Sommers (wahrscheinlich aufgrund von weniger Menschen, die sich in der Stadt aufhalten) offensichtlich. Im Prinzip ist die Sichtbarkeit nach den Eigenschaften der Systeme für diesen Fall besser, da die in Montevideo implementierten Systeme auf Drop-off-Systemmodellen beruhen.

Im Allgemeinen ist der Anteil des zurückgewonnenen PET als Prozentsatz des gesamten Abflusses durchweg niedriger als die in Canelones beobachteten Werte. Darüber hinaus steht die höhere Gesamtmenge an Wertstoffen, die in die Sortieranlagen gelangen (58 % höher als in Canelones gemäß den Zahlen vom November 2019), nicht im Einklang mit den Gesamtkosten der Systeme in Montevideo (118 % höher als in Canelones, mehr als doppelt so hoch).

	Nov 2019	Dez 2019	Jan 2020
Prozentualer Anteil von wiedergewonnenem PET gegenüber dem erzeugten PET-Abfall (pro Monat)	1,76%	1,26%	1,11%
Gesamtmenge des in Sortieranlagen eingegangenen Materials, ohne Großherzeuger (in Tonnen)	249	201	180
Prozentualer Anteil des gesammelten PET am Gesamtgewicht der zur Sortierung eingegangenen Materialien	10,54%	9,36%	9,18%
Gesamte Sammlung und Sortierung			
Kosten des Programm für die CIU (in UYU)	6.037.065	6.037.065	6.037.065
Kosten des Programms für andere Einrichtungen: Stadtverwaltung, MIDES und DINAMA (in UYU)	3.337.937	3.337.937	3.337.937
Gesamte Kosten des Programms (in UYU)	9.375.002	9.375.002	9.375.002

Gesamtkosten des Programms (in UYU) bezogen auf PET (als Funktion des prozentualen Anteils von PET am gesamten wiederverwerteten Abfall in diesem Monat)	988.244	877.769	860.642
Rückgewonnenes PET (in Tonnen)	26,23	18,79	16,57
Gesammeltes PET aus Flaschen (in Tonnen) - unter Annahme von 100 % aus Flaschen	26,23	18,79	16,57
Kosten pro Tonne sortiertes PET (in UYU)	37.677,54	46.704,77	51.955,48

Tabelle 15: Kosten in Montevideo

Wie aus der obigen Tabelle ersichtlich ist, sind die Kosten pro Tonne zurückgewonnenen PET deutlich höher als in Canelones. Einer der Gründe für die höheren Kosten pro Tonne in Montevideo könnte damit zusammenhängen, dass die Anlage möglicherweise deutlich unter ihrer Kapazität arbeitet (wenn man die Gesamtkosten im Vergleich zur Gesamtmenge der in den Sortieranlagen eingehenden Wertstoffe betrachtet).

Was die besseren Ergebnisse in Canelones in Bezug auf die Kosten pro Tonne zurückgewonnenen PET betrifft, so könnte man sich fragen, ob dies mit besseren Ergebnissen speziell in einem der anderen Systeme zusammenhängt, die in Canelones angewandt werden (z.B. Kerbside). Es ist unwahrscheinlich, dass die besseren Ergebnisse in Canelones allein auf das Abfallsystem zurückzuführen sind, da laut dem Abfallwirtschaftsplan von Canelones der Beitrag des Abfallsystems im Vergleich zur Gesamtmenge noch relativ gering ist:

- Kerbside-System: 7.000 Haushalte, 20 Tonnen pro Jahr.
- Ecopuntos: 32 Tonnen pro Jahr
- Tu envase nos sirve: 200 Tonnen pro Jahr

FRAGEN ZUR KOSTENBEWERTUNG BEIM VERGLEICH DER MODELLE KERBSIDE UND DROP-OFF

Aufgrund des Mangels an Primärdaten und der derzeitigen Praxis der Abfallsammlung und -sortierung (die Struktur wird von verschiedenen Systemen in Canelones geteilt) ist es derzeit nicht möglich, zuverlässige Schätzungen der Kosten vorzunehmen, die speziell mit der Sammlung im Haus-zu-Haus-System oder Bordsteinsammelsystem zusammenhängen. Die von der Stadtverwaltung Canelones erhaltenen Informationen (in Bezug auf die von den Systemen gemeinsam genutzte Infrastruktur) machen deutlich, dass eine solide Schätzung der Kosten, die speziell mit der Sammlung in diesem System zusammenhängen, nur durch Überwachung und Datenanalyse möglich ist, wofür eine enge Zusammenarbeit mit der Stadtverwaltung notwendig sein wird (Modellierung des Betriebs nur für das Bordsteinsystem, Aufschlüsselung in jede Kostenkomponente, z. B. die Anzahl der für die Sammlung benötigten LKWs und die Kosten für jeden LKW im Betrieb usw.).

Der Mangel an Daten macht es auch unmöglich, die Ineffizienzen, die derzeit in den vorhandenen Systemen bestehen, auszugleichen. Die Berücksichtigung dieser Ineffizienzen ist entscheidend, um fundierte Schlüsse darüber zu ziehen, welches System am kostengünstigsten ist.

FAZIT IM HINBLICK AUF DIE KOSTEN BEI EINEM PFAND-RÜCKERSTATTUNGSSYSTEM

Wie die Kostenabschätzung eines DRS zeigt, kann man erkennen, dass die Kosten relativ hoch sind, wenn das System nur für die Sammlung von PET-Flaschen eingesetzt wird. Wie bereits erwähnt, basiert das System in anderen europäischen Ländern, wie z. B. in Deutschland, auf der Sammlung nicht nur von PET, sondern auch von Glas- und Aluminium Dosen.

Ein wichtiger Punkt in Bezug auf die Anwendung eines DRS ist, dass es nicht als Alternative zum Bordstein- oder Abfallsystem betrachtet werden kann, sondern eher als Ergänzung, da andere Wertstoffe und Abfälle weiterhin gesammelt werden müssen. Eine mögliche Folge des DRS ist daher, dass die Recyclingkosten anderer Abfallströme pro Messeinheit höher werden können.

KAPITEL V

FAZIT UND AUSBLICK

SCHLUSSFOLGERUNGEN DER LEBENSZYKLUSANALYSE (LCA):

- Die wichtigsten Fragen in Bezug auf die Umweltauswirkungen stehen im Zusammenhang mit zwei Schlüsselparametern: Sammelquote und Verwertungsquote. Eine Erhöhung dieser Raten könnte die Umweltverträglichkeit der Systeme effektiv verbessern und die Umweltemissionen (in allen drei hier diskutierten Wirkungskategorien, d.h. Klimawandel, Feinstaubbildung und fossiler Raubbau) reduzieren.
- In Anbetracht der verfügbaren Daten könnte ein Pfand- und Erstattungssystem ausreichen, um die mit der PET-Rückgewinnung verbundenen Umweltauswirkungen aufgrund der verbesserten PET-Sammelquote zu reduzieren.
- Aufgrund des Mangels an relevanten standortspezifischen Primärdaten sind die meisten Ergebnisse sehr variabel und die Unsicherheit bleibt hoch. Die Variation eines einzelnen Parameters in der Studie (z.B. Abholraten) kann zu unterschiedlichen Gesamtergebnissen des Vergleichs führen. Nichtsdestotrotz können die in dieser Studie vorgestellten Ergebnisse die Diskussion um PET-Sammlung und PET-Recycling anregen und eine Grundlage für weitere Untersuchungen relevanter Parameter darstellen.
- Die Vermutung, dass DRS aus Umweltsicht den Haus-zu-Haus-Systemen oder Abfallsammelsystemen vorzuziehen sein könnte, muss mit standortspezifischen Daten weiter untersucht werden, um robuste, zuverlässige und entscheidungsnützliche Schlussfolgerungen zu erhalten.

SCHLUSSFOLGERUNGEN DER KOSTEN-NUTZEN-ANALYSE (ACB):

- Die wirtschaftliche Machbarkeit eines DRS für PET sollte zusammen mit den Auswirkungen auf die Recyclingkosten anderer Abfallströme bewertet werden. Die spezifischen Kosten der PET-Sammlung sind relativ hoch, wenn Glas und Dosen nicht mit einbezogen werden.
- Da in Uruguay keine Kostendaten für spezifische Systeme und Aktivitäten vorliegen, ist es nicht möglich, die Kosten pro Tonne zurückgewonnenen PET unter effizienten Bedingungen abzuleiten.
- Die Zusammenarbeit verschiedener Interessengruppen bei der Datenerfassung und Modellvalidierung ist von grundlegender Bedeutung, um zuverlässige Schlussfolgerungen zu erhalten.
- Die Sammelquote ist der Schlüssel zu den KNA-Schlussfolgerungen, und in dieser Hinsicht gibt es Verbesserungen, unabhängig vom System, zu erzielen.

LITERATURVERZEICHNIS

Arena, U., Mastellone, M. L. and Perugini, F. (2003) 'Life cycle assessment of a plastic packaging recycling system', *International Journal of Life Cycle Assessment*, 8(2), pp. 92–98. doi: 10.1007/BF02978432.

Bataineh, K. M. (2020) 'Life-Cycle Assessment of Recycling Postconsumer High-Density Polyethylene and Polyethylene Terephthalate', *Advances in Civil Engineering*, 2020. doi: 10.1155/2020/8905431.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Nukleare Sicherheit: "BMU-"Exportinitiative Umwelttechnologien"

Chilton, T., Burnley, S. and Nesaratnam, S. (2010) 'A life cycle assessment of the closed-loop recycling and thermal recovery of post-consumer PET', *Resources, Conservation and Recycling*. Elsevier B.V., 54(12), pp. 1241–1249. doi: 10.1016/j.resconrec.2010.04.002.

CM Consulting and Reloop (2017) Fact Sheet: Deposit Return System: System performance.

CM Consulting and Reloop (2018) 'Deposit systems for one way beverage containers: global overview', pp. 1–96.

Envision (2007) The InCENTive to Recycle. A Container Deposit System for New Zealand.

Van Eygen, E., Laner, D. and Fellner, J. (2018) 'Integrating High-Resolution Material Flow Data into the Environmental Assessment of Waste Management System Scenarios: The Case of Plastic Packaging in Austria', *Environmental Science and Technology*, 52(19), pp. 10934–10945. doi: 10.1021/acs.est.8b04233.

Foolmaun, R. K. and Ramjeawon, T. (2013) 'Life cycle sustainability assessments (LCSA) of four disposal scenarios for used polyethylene terephthalate (PET) bottles in Mauritius', *Environment, Development and Sustainability*, 15(3), pp. 783–806. doi: 10.1007/s10668-012-9406-0.

Giugliano, M. et al. (2011) 'Material and energy recovery in integrated waste management systems. An evaluation based on life cycle assessment', *Waste Management*. Pergamon, 31(9–10), pp. 2092–2101. doi: 10.1016/j.wasman.2011.02.029.

Guinée, J. B. et al. (2001) *Life cycle assessment; An operational guide to the ISO standards; Parts 1 and 2*. Den Haag and Leiden, The Netherlands: Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (VROM) and Centre of Environmental Science (CML).

Huijbregts, M. et al. (2016) 'ReCiPe 2016', National Institute for Public Health and the Environment, p. 194. doi: 10.1007/s11367-016-1246-y.

Jaunich, M. K. et al. (2016) 'Characterization of municipal solid waste collection operations', *Resources, Conservation and Recycling*. Elsevier B.V., 114, pp. 92–102. doi: 10.1016/j.resconrec.2016.07.012.

Kuczynski, B. and Geyer, R. (2011) *Life Cycle Assessment of Polyethylene Terephthalate (PET) Beverage Bottles Consumed in the State of California*. Report February 14, 2011. Department of Resources Recycling and Recovery, Public Affairs Office, Sacramento, California.

Kuczynski, B. and Geyer, R. (2013) 'PET bottle reverse logistics - Environmental performance of California's CRV program', *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(2), pp. 456–471. doi: 10.1007/s11367-012-0495-7.

pwc (2011) Reuse and Recycling Systems for Selected Beverage Packaging from a Sustainability Perspective.

Raadal, H. L., Iversen, O. M. K. and Modahl, I. S. (2016) LCA of beverage container production , collection and treatment Systems. Report.

Rigamonti, L., Falbo, A. and Grosso, M. (2013) 'Improvement actions in waste management systems at the provincial scale based on a life cycle assessment evaluation', *Waste Management*. Elsevier Ltd, 33(11), pp. 2568–2578. doi: 10.1016/j.wasman.2013.07.016.

Rigamonti, Lucia, Falbo, A. and Grosso, M. (2013) 'Improving integrated waste management at the regional level: The case of Lombardia', *Waste Management and Research*, 31(9), pp. 946–953. doi: 10.1177/0734242X13493957.

Rigamonti, L., Grosso, M. and Giugliano, M. (2012) 'Le filiere del recupero degli imballaggi in Lombardia', *Ambiente Rischio Comunicazione* 2 – febbraio 2012, pp. 17–25.

Rigamonti, L., Grosso, M. and Sunseri, M. C. (2009) 'Influence of assumptions about selection and recycling efficiencies on the LCA of integrated waste management systems', *International Journal of Life Cycle Assessment*, 14(5), pp. 411–419. doi: 10.1007/s11367-009-0095-3.

Rochat, D. et al. (2013) 'Combining material flow analysis, life cycle assessment, and multiattribute utility theory: Assessment of end-of-life scenarios for polyethylene terephthalate in Tunja, Colombia Rochat et al. Combining MFA, LCA, and MAUT', *Journal of Industrial Ecology*, 17(5), pp. 642–655. doi: 10.1111/jiec.12025.

Shen, L. et al. (2011) 'Life cycle energy and GHG emissions of PET recycling: Change-oriented effects', *International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(6), pp. 522–536. doi: 10.1007/s11367-011-0296-4.

Shen, L., Worrell, E. and Patel, M. K. (2010) 'Open-loop recycling: A LCA case study of PET bottle-to-fibre recycling', *Resources, Conservation and Recycling*. Elsevier B.V., 55(1), pp. 34–52. doi: 10.1016/j.resconrec.2010.06.014.

Tomra (2019) TOMRA REACHES 40 BILLION MILESTONE. Available at: <https://newsroom.tomra.com/tomra-reaches-40-billion-milestone/>.

Valentino, G. (2017) Life Cycle Assessment of PET bottles: closed and open loop recycling in Denmark and Lombardy region. Politecnico di Milano, Scuola di Ingegneria civile ambientale e territoriale, Italy.





Cámara de Comercio e Industria
Uruguayo-Alemana
Deutsch-Uruguayische
Industrie- und Handelskammer

Wir machen es möglich.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages