

KURZBERICHT

KuRVe

(Kunststoff Recycling und Verwertung)

Ökonomisch-ökologische Analyse von Sammel- und Verwertungssystemen von Kunststoffen aus Haushalten in der Schweiz

Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL), Kanton Zürich

Amt für Umwelt und Energie, Kanton Basel-Stadt

Amt für Wasser und Abfall (AWA), Kanton Bern

Amt für Umwelt, Kanton Thurgau

Amt für Umweltschutz und Energie (AUE), Kanton Basel-Landschaft

Abteilung für Umwelt, Kanton Aargau

Amt für Natur und Umwelt (ANU), Kanton Graubünden

Amt für Umwelt und Energie, Kanton St. Gallen

Organisation Kommunale Infrastruktur (OKI), Bern

cemsuisse, Bern

Swiss Recycling, Zürich

Verband der Betreiber Schweizerischer Abfallverwertungsanlagen (VBSA), Bern

Verfasser

Fredy Dinkel, Thomas Kägi, Carbotech AG, Zürich

Rainer Bunge, Thomas Pohl, Ariane Stäubli, UMTEC Rapperswil

Basel, 11.07.2017

Zusammenfassung

Kunststoffsammlungen aus Haushalten haben, verglichen mit der Sammlung von PET-Flaschen, eine geringe Kosten/Nutzen-Effizienz. Dem verhältnismässig kleinen ökologischen Nutzen stehen hohe Kosten gegenüber. Dies sind die wichtigsten Ergebnisse des Projekts Kunststoff Recycling und Verwertung (KuRVe), das die Firma Carbotech AG und das Hochschulinstitut UMTEC im Auftrag von acht Kantonen, verschiedenen Verbänden und dem Bundesamt für Umwelt BAFU durchgeführt hat.

In den letzten Jahren entstanden neben der PET-Flaschensammlung verschiedene neue, meist private Sammlungen von weiteren Kunststoffabfällen aus Haushalten. Im Projekt Kunststoff Recycling und Verwertung (KuRVe) wurden die Verwertungs- und Entsorgungswege dieser Kunststoffabfälle aus Schweizer Haushalten auf den ökologischen Nutzen und die damit verbundenen Kosten untersucht. Nur ein Teil der gesammelten Kunststoffabfälle kann rezykliert (stofflich verwertet) werden, der nicht verwertbare Teil wird aussortiert und in Zementwerken energetisch verwertet oder thermisch in Kehrichtverbrennungsanlagen behandelt. Dabei wird Energie in Form von Strom und Wärme zurückgewonnen. Die nun vorliegende Studie haben die Firma Carbotech AG und das UMTEC (ein Institut der Hochschule Rapperswil) im Auftrag von acht Kantonen, verschiedenen Verbänden und dem Bundesamt für Umwelt BAFU durchgeführt.

Die wissenschaftliche Studie kommt zum Schluss, dass das Verhältnis von Kosten und Nutzen von separaten Sammlungen von Kunststoffabfällen in der Schweiz bei etwa einem Drittel der Effizienz des PET-Recycling-Systems liegt. Eine neue Sammlung von Kunststoffabfällen stiftet zwar einen ökologischen Nutzen – der Betrieb des Systems ist aber teuer. Der potenzielle ökologische Nutzen einer neuen Kunststoffsammlung pro Person und Jahr entspricht etwa der Einsparung einer Autofahrt von 30 Kilometern pro Person und Jahr.

Ein Teil der separat gesammelten Kunststoffabfälle kann zu Rezyklat verarbeitet und in die produzierende Industrie zurückgeführt werden. Ein ökologischer Nutzen entsteht ebenfalls, wenn die nicht stofflich verwertbaren Sortierreste als Ersatzbrennstoff in Zementwerken oder in einer energieeffizienten Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) thermisch genutzt werden können. Zur Berechnung des Umweltnutzens eines «neuen» Kunststoffrecyclings erfolgte der Vergleich mit der heutigen Situation, also der Entsorgung der Kunststoffabfälle im Kehrichtsack mit anschliessender thermischer Verwertung in einer KVA. Die Kosten der Entsorgung im Kehrichtsack liegen mit rund CHF 250 pro Tonne deutlich tiefer als jene einer neuen Kunststoffsammlung und Verwertung (rund CHF 750 pro Tonne). Der ökologische Nutzen von zusätzlichen Kunststoffsammlungen ist gegenüber der heutigen Situation vergleichsweise gering und hat seinen Preis.

Die Ergebnisse bilden eine Grundlage für die nötigen weiteren Diskussionen und die politischen Entscheide betreffend allfällige neue Separatsammlungen von Kunststoffabfällen aus Haushalten.

Dieser Bericht wurde im Auftrag der genannten Auftraggeber verfasst. Für den Inhalt sind alleine die Auftragnehmer verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
1 Ausganglage	4
2 Zielsetzung	5
3 Vorgehen und Methodik	8
3.1 Materialflussanalyse	8
3.2 Kostenanalyse	8
3.3 Ökobilanzierung	10
3.4 Ökoeffizienz (SEBI)	11
4 Resultate	12
4.1 Kosten	12
4.2 Ökobilanz	13
4.3 Ökoeffizienz SEBI*	14
4.4 Potential von Gemischt- und Separatsammlungen	16
5 Schlussfolgerungen	19
6 Glossar	20
Übersicht über die analysierten Sammelsysteme	20
Definitionen	20
7 Literaturverzeichnis	21
8 Anhang	22

1 Ausgangslage

Im Rahmen dieses Projektes wurden die Verwertung und Entsorgung von Kunststoffverpackungen aus Schweizer Haushalten betrachtet (Siedlungsabfälle). In der Schweiz werden jährlich rund 1 Mio. Tonnen Kunststoffe eingesetzt. Mehr als die Hälfte wird in langlebigen Produkten verbaut, z.B. im Baubereich, für Fahrzeuge oder Elektrogeräte. Rund ein Drittel, bzw. 302'000 t¹ (Steiger, 2014) wird für Verpackungen (Haushalte, ohne Gewerbe und Industrie) verwendet. Ein Teil dieser Verpackung kann separat gesammelt und stofflich verwertet werden, der übrige Teil ist zu stark verschmutzt oder die Zielfraktion, der Kunststoff, ist als Teil von Verbundstoffen so stark eingeschlossen, dass ein stoffliches Recycling nicht möglich ist. Da die Schweiz schon frühzeitig das im Abfalleitbild verankerte „Verbrennungsgebot“ umgesetzt hat, wurde die stoffliche Nutzung von Kunststoffabfällen aus Haushalten, also das Kunststoffrecycling, hier nicht – wie in anderen Ländern - stark forciert. Ausgenommen davon waren über eine lange Zeit allein PET-Getränkeflaschen, welche mittlerweile in erheblichen Mengen (Verwertungsquote > 80%) und relativ sortenrein gesammelt und weitgehend zu hochwertigen Produkten verwertet werden.

Heute werden in der Schweiz jährlich rund 68'000t (Seyler, Sommerhalder, & Wolfensberger, 2016) Kunststoffabfälle aus Haushalten separat gesammelt². Demgegenüber stehen Kunststoffsammlungen im Ausland, bei welchen eine wesentlich grössere Vielfalt von Kunststoffarten, und damit wesentlich höhere Mengen pro Person gesammelt und verwertet werden. Problematisch bei der stofflichen Verwertung von grossen heterogen zusammengesetzter Kunststoffmengen sind allerdings u.a. die Verschmutzung und die Schwierigkeit, die zahlreichen verschiedenen Kunststoffe sauber voneinander zu trennen. Dies führt dazu, dass ein Teil dieser gesammelten Kunststoffe zwar „stofflich“ verwertet wird, jedoch oft nur für Produkte die keinen nennenswerten ökologischen Vorteil aufweisen, verwendet werden kann, beziehungsweise es entstehen grosse Mengen an Ausschüssen, die thermisch zu verwerten sind. Entsprechend stellt sich die Frage, ob es nicht ökologisch und ökonomisch sinnvoller ist, nur eine kleinere, aber dafür stoffspezifisch definierte, Kunststoffmenge zu sammeln, um daraus hochwertige Produkte herzustellen.

Mit dem Ziel, mehr Kunststoffe der stofflichen Verwertung zuzuführen, entstanden in den vergangenen Jahren in der Schweiz verschiedene Initiativen. So können z.B. Milchflaschen aus PE schon länger im Detailhandel zurückgegeben werden. Im Jahr 2013 beschlossen die Schweizer Detailhändler, diese Sammlung auf Kunststoffflaschen auszuweiten. Diese werden neu in verschiedenen Gegenden in der Schweiz auch von der öffentlichen Hand gesammelt. In der jüngeren Vergangenheit wurden zudem zahlreiche, zum Teil konkurrierende, Sammelsysteme für Kunststoffe eingeführt und zwar sowohl von der Privatwirtschaft als auch von der öffentlichen Hand (Unternehmungen, Gemeinden, Zweckverbände). Sowohl bezüglich der zu sammelnden Fraktion als auch der Kosten und dem Recyclinggrad unterscheiden sich die Sammelsysteme beträchtlich. Während z.B. in einem System PE-Milchflaschen kostenlos abgegeben werden können, bietet beispielsweise ein anderes System eine Separatsammlung sämtlicher Kunststoffabfälle aus dem Haushalt an, allerdings zu einem Preis von CHF 2.60 pro 60 Liter Sack. Die Kunststoffsammelsysteme entstanden unter anderem aufgrund von Druck aus der Bevölkerung, Kunststoff vermehrt separat zu sammeln. Es gibt Studien (Schwegler et al., 2015), welche aufzeigen, dass eine grosse Zahl von Leuten davon überzeugt ist, damit einen wesentlichen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung zu leisten.

¹ Dazu zählen Kunststoffe wie Hohlkörper, Schalen, Haushalt-Verpackungsfolien (212'000t) und Verbundverpackungen (90'000t).

² Davon entfallen rund 50'000t auf die PET-Flaschen Sammlung (gesammelte Menge, vor Sortierung und Aufbereitung). Quelle: PET-Recycling Schweiz, Geschäftsbericht 2015 (46'231t). Dazu kommen noch ca. 3'000t, die von nicht PRS-Mitgliedern gesammelt werden. Die 50'000t werden auch von (Haupt et al., 2016) gestützt. Die verbleibenden 18'000t setzen sich aus übrigen Kunststoffabfällen aus Haushalten zusammen.

2 Zielsetzung

Mittlerweile haben selbst Fachleute der Branche kaum noch einen Überblick darüber, welche Stakeholder welche Arten und Mengen von Kunststoffen sammeln, welche Kosten damit verbunden sind und was mit diesen Kunststoffen geschieht. Zudem besteht bezüglich des ökologischen Nutzens der verschiedenen Sammelsysteme eine grosse Unsicherheit. Das Projekt KuRVe hatte die Zielsetzung, die derzeitigen Entsorgungs- respektive Verwertungswege für separat gesammelte Kunststoffe auszuleuchten. Dazu gehört die Analyse der Kunststoffsammlsysteme wie z.B. die verschiedenen Sammelsacksysteme, die Abgabe in Entsorgungshöfen oder im Detailhandel. Diese Verwertungswege wurden sowohl ökologisch (Ökobilanzierung) als auch ökonomisch bewertet und mit den Resultaten und Erkenntnissen von bereits bestehenden Ökobilanzen konsolidiert. So sollte eine Entscheidungsgrundlage geschaffen werden, welche Art der Verwertung unter den gegebenen Umständen aus ökologisch-ökonomischen Gesichtspunkten am sinnvollsten ist.

Das Projekt bestand im Wesentlichen in der Abklärung folgender Punkte:

- Welche Kunststoffsammlungen für Kunststoffe aus Haushalten gibt es aktuell in der Schweiz? (Stand 2016)
- Welche Mengen werden separat gesammelt, was passiert mit diesen Massenströmen und welche Kosten sind damit verbunden?
- Wie hoch ist der ökologische Nutzen dieser Sammlungen und Verwertungen im Vergleich zum Referenzszenario „Thermische Verwertung in einer durchschnittlichen Kehrriechverbrennungsanlage“?
- Wie ist die Kosten/Nutzen-Effizienz der verschiedenen Systeme?
- Was sind mögliche Zukunftsszenarien und was haben diese für eine Kosten/Nutzen-Effizienz?

Im Rahmen dieses Projektes wurden die Verwertung und Entsorgung von Kunststoffverpackungen aus Schweizer Haushalten für das Jahr 2016 betrachtet. Ausgeschlossen wurden dabei Kunststoffe, für welche ein anderer Entsorgungs-, bzw. Verwertungsweg vorgeschrieben ist, wie dies z.B. für Elektronikschrott der Fall ist, welcher auch Kunststoffe enthält. Ebenfalls ausgeschlossen wurden neben Folien aus der Landwirtschaft auch langlebige Produkte, wie z.B. Bauprodukte oder Einrichtungsgegenstände aus Kunststoffen, wie z.B. Möbel.

Als Vergleichsbasis (funktionelle Einheit) diente die Verwertung / Entsorgung von einer Tonne gesammelter, kurzlebiger Kunststoffe aus dem Haushalt. Die inhaltliche Systemgrenze wurde wie folgt definiert: Ab „Übergabe ins Entsorgungssystem“ (z.B. „abgeholt ab Strassenrand“ oder „angeliefert an Gemeinde-Sammelcontainer“) bis „zurückgewonnener Wertstoff ab Recyclingwerk“ bzw. bis „Energienutzung“ und „Deponierung der KVA-Schlacke“. Als Referenzsystem (Vergleichsbasis) wurde die Entsorgung der Kunststoffe in einer durchschnittlichen Schweizer Kehrriechverbrennungsanlage (KVA) betrachtet (gemäss Angaben VBSA³). Die Systemgrenze und ein Überblick über die wichtigsten Prozesse sind in Abbildung 1 dargestellt.

Die Erkenntnisse der vorliegenden Studie sollen einen sachorientierten Dialog über die ökologische und ökonomische Bewertung der untersuchten Kunststoffsammlsysteme, basierend auf einer aktuellen Datengrundlage, fördern. Im Speziellen soll Kantonen und Gemeinden die notwendige Grundlage für eine fundierte Entscheidung bereitgestellt werden. Eine weitere Zielgruppe ist auch die interessierte Öffentlichkeit, die einer der Treiber der Kunststoffsammlsysteme ist.

³ Verband der Betreiber Schweizerischer Abfallverwertungsanlagen

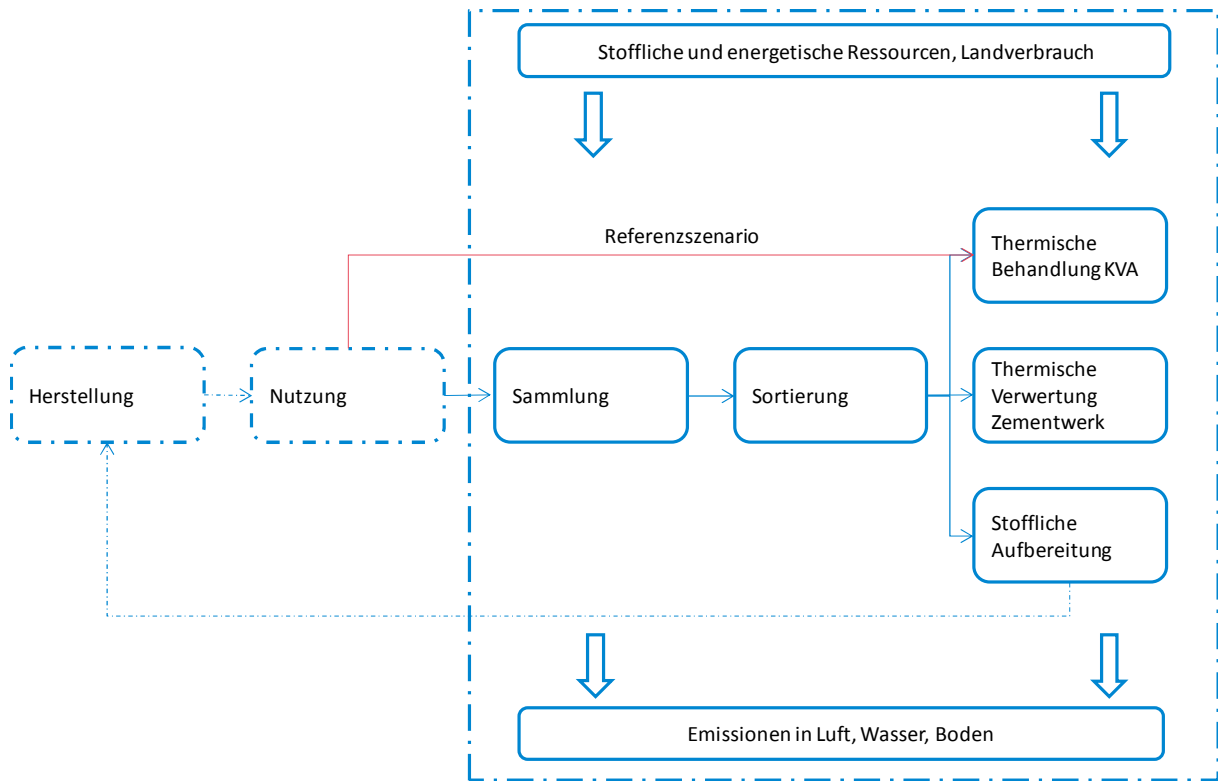


Abbildung 1: Systemgrenze (grosses, blaues Quadrat) der Kunststoffsammlersysteme und Verwertung. Transporte sind als Pfeile dargestellt.

Betrachtete Sammelsysteme

Abbildung 2 listet die Kunststoffsammlersysteme auf, welche in dieser Studie analysiert wurden. Es wurden Systeme betrachtet, bei denen plausible Daten ermittelt werden konnten. Alle diese Systeme sammeln zusammen etwas mehr als 11'000 t Kunststoffe pro Jahr. Dies entspricht rund zwei Drittel der 18'000 t Kunststoffabfällen (ohne PET-Getränkeflaschen, siehe Seyler, Sommerhalder, & Wolfensberger, 2016, Seite 23, Abb. 2), die schweizweit pro Jahr separat gesammelt werden. Als Vergleichssystem wurden PET-Recycling Schweiz PRS und der Gelbe Sack Deutschland betrachtet.

Die Länge der Balken in Abbildung 2 zeigt an, welcher Anteil der gesammelten Kunststoffe einer hochwertigen (ersetzt 90% Primärkunststoff) resp. mittelwertigen (ersetzt 70% Primärkunststoff) oder niederwertigen (ersetzt Holz oder Beton z.B. in Rasengittersteinen) stofflichen Verwertung zugeführt wird und welcher Anteil thermisch verwertet wird (Zementwerk oder KVA). Als Feuchteverlust werden nicht verwertbare Bestandteile des Sammelguts z.B. Restflüssigkeiten in Flaschen bezeichnet. Die 100% beziehen sich auf die total gesammelte Menge je Sammelsystem.

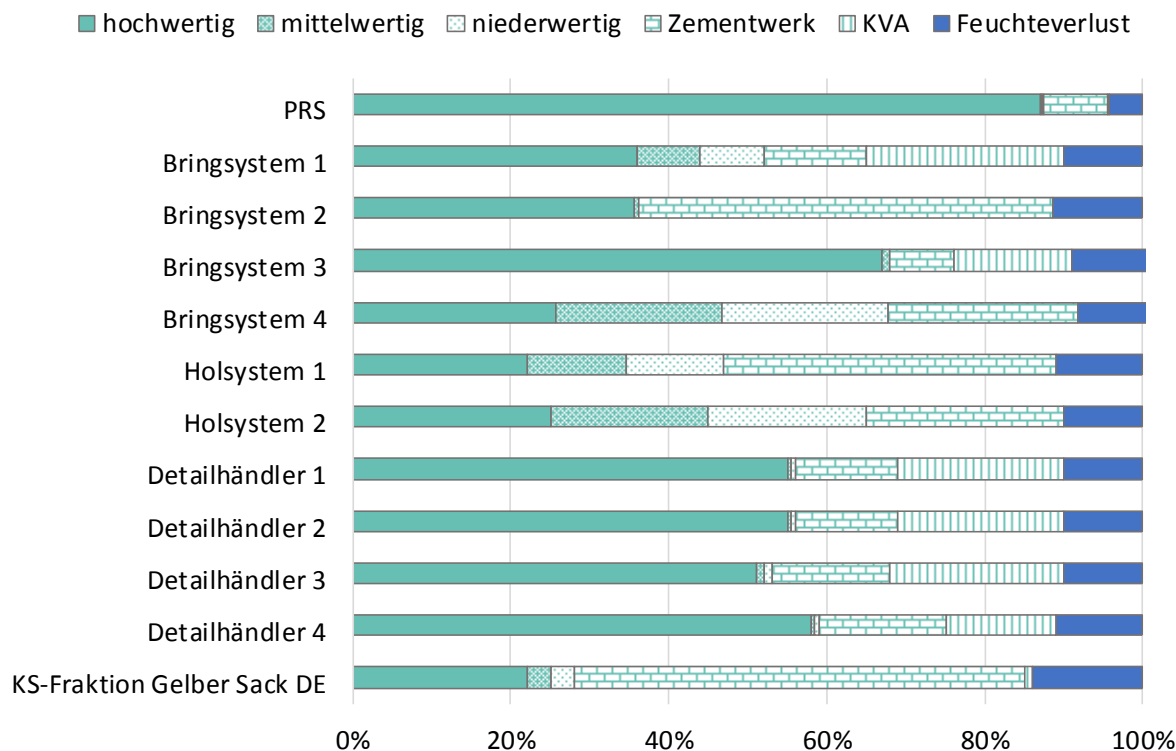


Abbildung 2: In der Studie betrachtete Kunststoffsammlersysteme (Definition siehe Glossar) und deren Entsorgungs- und Verwertungswege 2016.

Grenzen der Studie

Die Studie konzentrierte sich auf die existierenden Sammlersysteme in der Schweiz. Nicht berücksichtigt wurden:

- Andere denkbare Sammelkombinationen (z. B. Gemischtsammlung von PET-Flaschen und KS zusammen).
- Eine allfällige Beeinflussung der Qualität anderer Sammlersysteme durch die zusätzlichen Kunststoffsammlersysteme (z. B. erhöhter Verschmutzungsgrades)
- Eine allfällige Quersubventionierung des Kehrichtsacks durch den Kunststoff

Die Studie lässt keine Schlüsse zu, wie gut Kunststoffsammlersysteme in anderen Ländern (insbesondere in solchen in denen der Kunststoff ansonsten zu einem grossen Teil deponiert wird) abschneiden. Auch die Verschmutzung der Weltmeere mit Kunststoffverpackungen war nicht Teil dieser Studie, da in der Schweiz die Kunststoffe entweder verbrannt oder recycelt werden und nicht erwartet wird, dass Schweizer Kunststoffverpackungen in relevanten Mengen in die Gewässer gelangen.

3 Vorgehen und Methodik

3.1 Materialflussanalyse

Materialflussanalysen (MFA) dienen zur systematischen Erfassung, Darstellung und Interpretation von Güter- und Stoffströmen in einem zeitlich und geografisch definierten System. Sie zeigen die relevanten Massenströme auf und dienen als Grundlage zur ökobilanziellen Bewertung des betrachteten Systems. Von allen untersuchten Kunststoffsammlersystemen wurde eine Materialflussanalyse erstellt. In der Materialflussanalyse schliessen die Mengenangaben des Inputmaterials auch Fehlwürfe, Restinhalte und Feuchtigkeit mit ein. Der Fokus der Materialflussanalysen lag auf dem finalen Verbleib der Kunststoffe, siehe Abbildung 2, da dieser massgeblich die Ökobilanz eines Kunststoffsammlersystems bestimmt. Es wurde daher stark auf die Qualität des im Recycling entstehenden Kunststoffgranulats und dessen Wiederverwendungszweck (z.B. PET-Flasche, Textilfaser, Europalette etc.) geachtet. In Abbildung 3 ist eine Materialflussanalyse als Zusammenzug aller betrachteten Kunststoffsammlersysteme (ohne PET-Getränkeflaschen) dargestellt.

Als Grundlage für die Materialflussanalyse wurden eine umfassende Literaturrecherche und eine ausführliche Stakeholderbefragung durchgeführt.

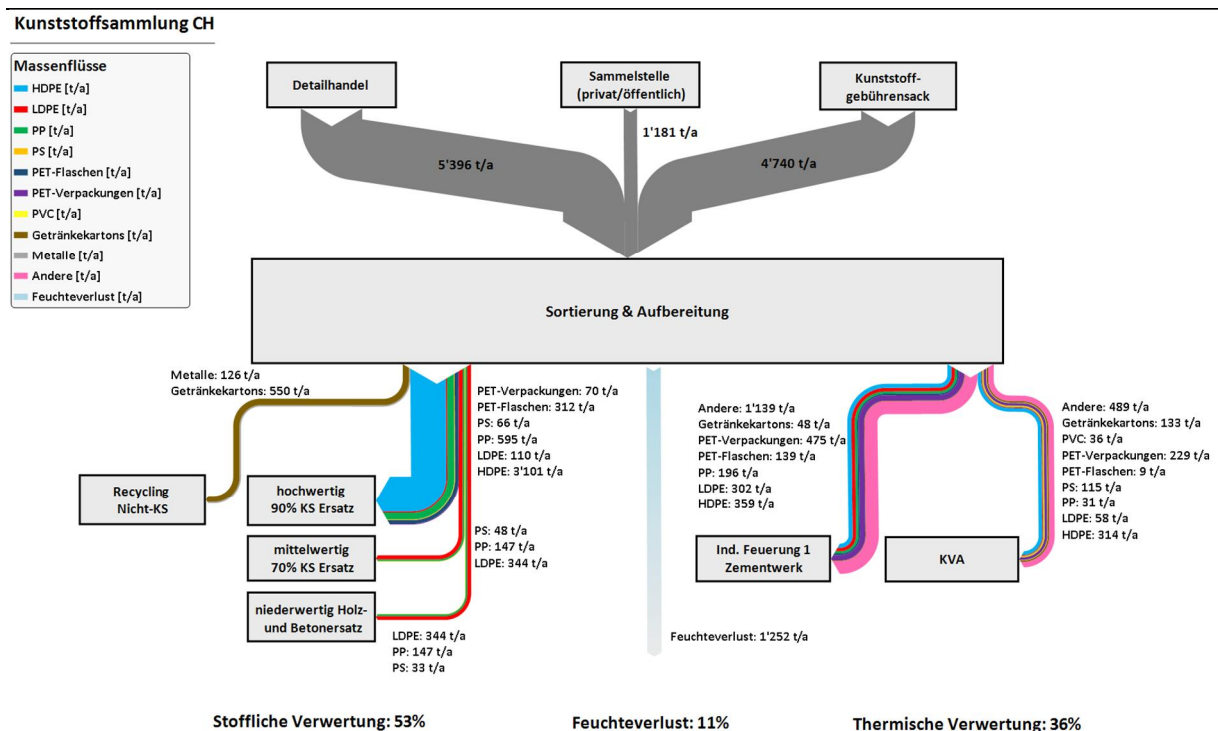


Abbildung 3: Materialflussanalyse aller betrachteten Kunststoffsammlersysteme (ohne PET-Getränkeflaschen). Die total gesammelte Menge über alle betrachteten Kunststoffsammlersysteme beträgt etwas mehr als 11'000t/a. Evident sind sowohl die Bedeutung der einzelnen Sammelkanäle als auch der finale Verbleib des Recyclingguts.

3.2 Kostenanalyse

In einem weiteren Modellierungsschritt wurden sowohl die Systemkosten der Recyclingsysteme wie auch diejenigen einer durchschnittlichen Schweizer KVA bestimmt (siehe Abbildung 4). Dabei wurden die gesamten Aufwände berücksichtigt und die Wertstoff- und Energieerlöse davon abgezogen (Nettokosten) und somit dieselben Systemgrenzen wie bei der ökologischen Analyse verwendet. Dies ist wesentlich für die Ökoeffizienz Analyse.

Die Daten zu den Kosten der Verbrennung von Kunststoffen in KVA wurden vom Verband der Betreiber Schweizerischer Abfallverwertungsanlagen (VBSA) zur Verfügung gestellt und von uns auf Plausibilität geprüft. Die Kosten und Erlöse der analysierten Kunststoffsammlersysteme haben wir grösstenteils aus den Stakeholder-Interviews erhalten und auch diese auf Plausibilität geprüft. Wo keine Daten vorhanden waren, resp. aus Vertraulichkeitsgründen keine Daten zur Verfügung gestellt wurden, haben wir Annahmen getroffen bzw. Analogiebetrachtungen vorgenommen.

Bei der Kunststoffsammlung hätte neben der systemorientierten Kostenbetrachtung auch eine volkswirtschaftliche Betrachtungsweise ihre Berechtigung. Wird im Rahmen einer kurz- bis mittelfristigen Betrachtung der bestehende KVA-Park berücksichtigt, entzieht die separate Sammlung von Haushaltskunststoffen der lokalen KVA „Brennstoff“. Dies kann je nach Fall zu finanziellen Konsequenzen für den Betreiber der KVA, also in der Regel den Kehricht-Zweckverband, beziehungsweise in letzter Konsequenz für die Bevölkerung, führen (Tariferhöhung). Diese volkswirtschaftlichen Kosten wurden in den nachfolgenden Resultaten nicht berücksichtigt.

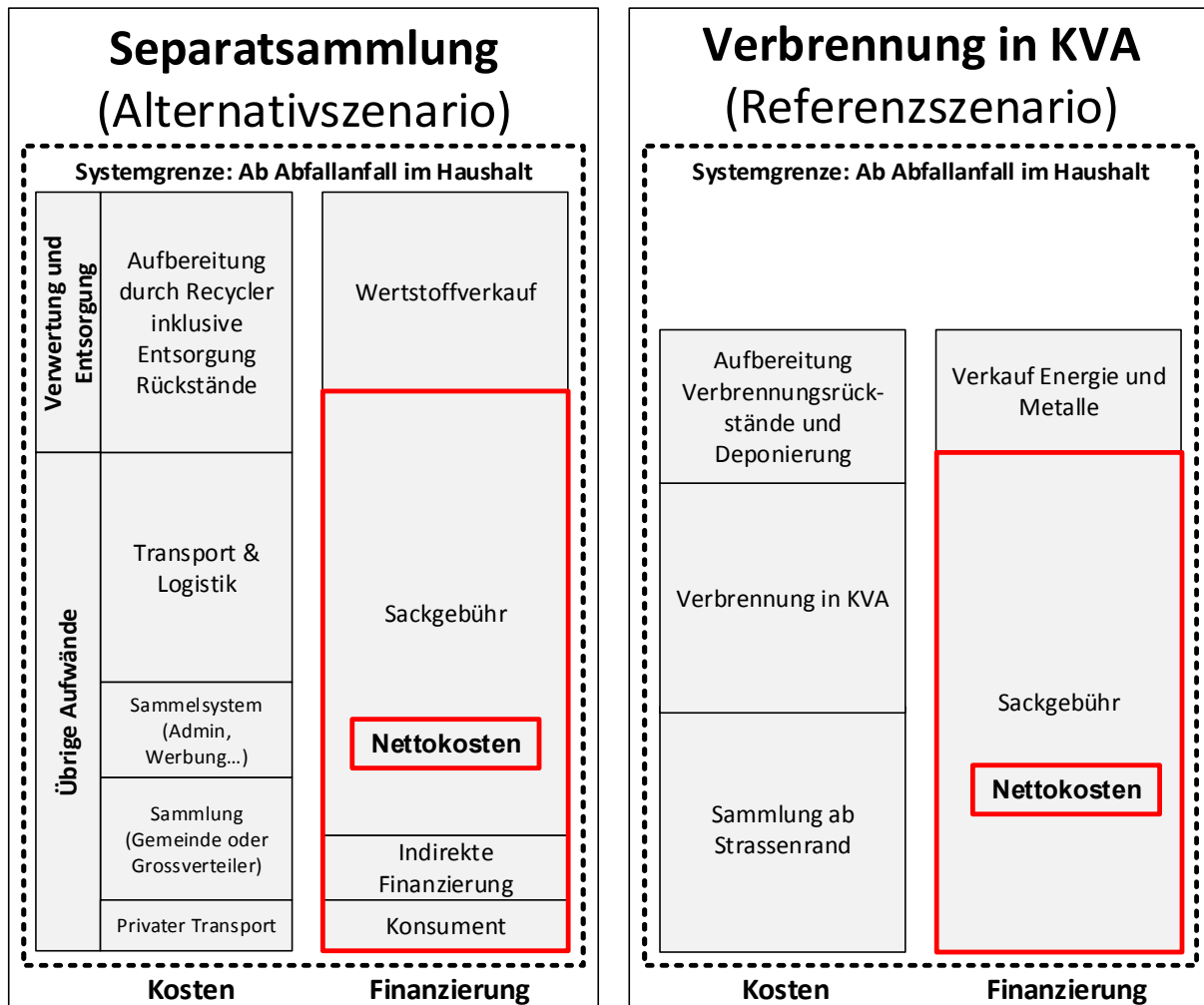


Abbildung 4: Die Systemkosten des Alternativszenarios innerhalb der Systemgrenze „Ab Abfallanfall im Haushalt“ werden in „Verwertung und Entsorgung“ (Aufbereitung durch Recycler inklusive Entsorgung Rückstände) und „übrige Aufwände“ (Sammelstellen- und Logistikaufwände etc.) gegliedert. Im Referenzszenario KVA werden die Sammlungs-, Verbrennungs- sowie Aufbereitungs- und Deponierungskosten betrachtet. Während diese Kosten durch eine Sackgebühr und den Verkauf von Energie und Metallen gedeckt sind, finanzieren sich Recyclingsysteme durch den Wertstoffverkauf sowie durch allfällige Sackgebühren oder „indirekte Finanzierungen“ z.B. Rücknahmeaufwänden der Grossverteiler. Die Bevölkerung trägt zur Finanzierung bei, indem sie sich unentgeltlich an der Separatsammlung beteiligt. Die

Grösse der Boxen entspricht dem ungefähren Anteil an der Kosten- resp. Finanzierungsstruktur der Verwertungssysteme. Die Nettokosten ergeben sich aus den Kosten abzüglich dem Wertstoff- und Energieverkauf.

3.3 Ökobilanzierung

Die Lebenszyklusanalyse oder Ökobilanz ist eine umfassende und aussagekräftige Methode, um die Umweltauswirkungen von Produkten und Systemen zu beurteilen⁴. Die Umweltwirkung im Rahmen dieses Projekts wurde daher durch eine Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA) modelliert. Dabei richtete sich das Vorgehen im Wesentlichen an die Norm ISO 14'040/44 Norm (ISO 14'040 2006) (ISO 14'044 2006). Bezüglich der Verwendung von gesamttaggregierenden Bewertungsmethoden, wie dies die Umweltbelastungspunkte (UBP) sind, geht die Studie über die Norm hinaus.

Angaben zu den gesammelten Kunststofffraktionen, der Sortiereffizienz und der Industrierückführungsquote stammen aus der Materialflussanalyse. Daten zu den Transporten sowie Daten zu Sortier- und Recyclingaufwände wurden übernommen aus aktuellen sowie neu erhobenen Ökoinventaren (Kägi, Zschokke, & Stettler, 2017). Bei Bringsystemen wurde auch der Anteil der Kunststoff-Fraktion am privaten Transport zu den Sammelstellen mitberücksichtigt basierend auf erhobenen Daten einer Bachelorarbeit (Scherer, 2016). Für die Verwertung in der KVA wurde der durchschnittliche, aktuelle Energienutzungsgrad verwendet (Rytec, 2016).

Ein Nutzen durch das stoffliche Recycling ergibt sich dann, wenn mit dem Rezyklat neuer Kunststoff ersetzt werden kann. Dies ist z.B. bei PET Getränkeflaschen der Fall, bei denen ein Anteil aus rezykliertem PET besteht. Der ökologische Nutzen ergibt sich entsprechend aus der Differenz der Umweltbelastung der Herstellung des Neumaterials und der Umweltbelastung der Herstellung des Recyclingmaterials. Bei diesem sogenannten Substitutionsprinzip ist die Qualität des Sekundärmaterials entscheidend. Je nach Qualität des Sekundärmaterials wurde mit unterschiedlichen Ersatzfaktoren gerechnet. Bei der thermischen Verwertung in einer KVA wurde davon ausgegangen, dass der dabei verkaufte Strom einen Grenzstrommix ersetzt (angenhört mit dem Europäischen Strommix). Die von der KVA verkaufte Wärme ersetzt einen Wärmemix aus Öl (55 %) und Gas (45 %). Bei der thermischen Verwertung in einem Zementwerk wurde davon ausgegangen, dass heutzutage Steinkohle als Energieträger ersetzt wird.

Die Sachbilanz sowie die Umweltauswirkungen und deren Bewertung wurde mit der Ökobilanz-Software SimaPro V8.0 (PRé Consultants, 2011) berechnet. Als Datengrundlage für vorgelagerte Prozesse wurde auf Standarddaten aus ecoinvent V3.3 (ecoinvent, 2016) oder eigene Prozesse zurückgegriffen.

Für die Bewertung der Umweltwirkungen wurde die Methode der Ökologischen Knappheit verwendet (Frischknecht R. & Büsser Knöpfel S., 2013). Diese Methode wurde mit dem Ziel entwickelt, die verschiedenen Umweltauswirkungen (u.a. CO₂-Emissionen, weitere Luftemissionen, Versauerungs-Emissionen, Verbrauch nicht erneuerbarer Ressourcen, Emissionen ins Wasser und Boden etc.) zu einer einzigen Kenngrösse (Umweltbelastungspunkte [UBP]) zusammenzufassen. Es handelt sich um eine ökologische Bewertungsmethode, bei der neben den bereits bestehenden Belastungen die umweltpolitischen Ziele der Schweiz berücksichtigt werden. Je grösser die Umweltbelastung eines Produktes ist, desto mehr Umweltbelastungspunkte erzeugt seine Bewertung.

Die Studie wurde einem Critical Review, angelehnt an ISO 14'040/44 (2006a, b), unterzogen. Das Review wurde studienbegleitend durchgeführt. Als Gutachter wurden Melanie Haupt (ETH Zürich), Roland Hischier (EMPA) sowie Günter Dehoust (Öko-Institut e.V.) beigezogen.

⁴ Zur Erfassung der Umweltwirkung eines Produkts oder System gehört die quantitative Berechnung des Verbrauchs an Energie und Ressourcen sowie der verursachten Emissionen in Luft (z.B. CO₂), Wasser (z.B. Phosphat) und Boden (z.B. Schwermetalle) über den gesamten Lebenszyklus. Im Rahmen der Ökobilanz werden diese Einflussgrössen normiert und gewichtet und dadurch auf einen „gemeinsamen Nenner“ gebracht, z.B. Umweltbelastungspunkte UBP.

3.4 Ökoeffizienz (SEBI)

Kurz und bündig wird Effizienz grundsätzlich beschrieben als: „Doing more with less“ (Kuosmanen, 2005). Der Indikator Ökoeffizienz wurde vom WBCSD⁵ im Jahre 1991 definiert. Er zeigt auf wie hoch der Umwelt-nutzen bei einem bestimmten ökonomischen Aufwand ist. D.h. er misst, ob die finanziellen Mittel aus ökolo-gischer Sicht gut eingesetzt sind. Berechnet wird die ökologische Effizienz wie folgt:

$$\text{Ökologische Effizienz} = \frac{\text{Umweltnutzen}}{\text{Kosten}}$$

Dieser Indikator wird verwendet um den spezifischen Ökonutzenindikator (Specific-Eco-Benefit-Indicator SEBI) wie folgt zu definieren:

$$\begin{aligned} \text{SEBI} &= \frac{\text{Nutzen gegenüber Referenzszenario}}{\text{Kosten gegenüber Referenzszenario}} = \frac{\text{vermiedene Umweltauswirkung}}{\text{zusätzliche Kosten}} \\ &= \frac{UBP_{\text{Referenzszenario}} - UBP_{\text{Alternativszenario}}}{\text{Kosten}_{\text{Alternativszenario}} - \text{Kosten}_{\text{Referenzszenario}}} \left[\frac{\text{eingesparte UBP}}{\text{CHF}} \right] \end{aligned}$$

Als Kostenbasis für den SEBI wurden in dieser Studie nicht, wie in früheren Veröffentlichungen, die Brutto-kosten verwendet, sondern die Nettokosten (also die Gesamtkosten abzüglich Wertstoff- und Energieerlöse – siehe Kommentar zur Abb. 4). Daher wird im Rahmen dieses Berichts die Bezeichnung SEBI* benutzt. Um die ökologische Effizienz zu ermitteln, wird folglich ein „Alternativszenario“ mit einem „Referenzszenario“ verglichen (Abbildung 5). Das Alternativszenario ist ein zum Referenzszenario alternativer „Entsorgungsweg, z.B. das Recycling (stoffliche Nutzung) von PET-Flaschen und anderen Haushaltskunststoffen anstelle der thermischen Behandlung in der KVA (unser Referenzszenario).

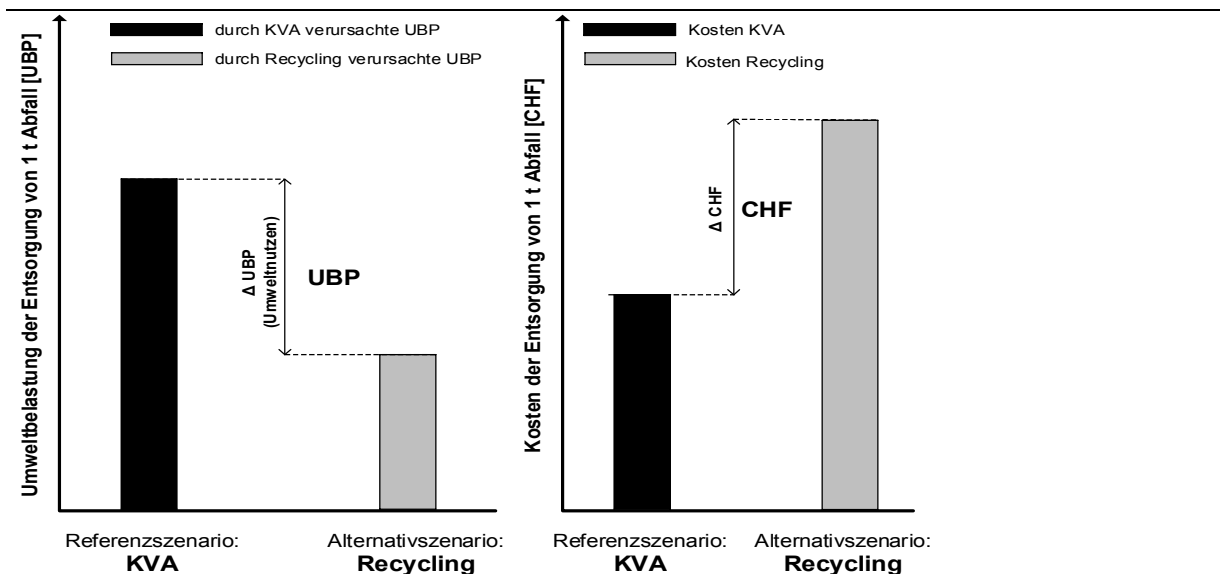


Abbildung 5: Referenzszenario Kehrlichtverbrennung KVA vs. Alternativszenario Recycling. Links: Quantifizierung des Umweltnutzens mittels Umweltbelastungspunkten führt zu ΔUBP. Rechts: Analog dazu werden die gegenüber einem Referenzszenario zusätzlich anfallenden Kosten (ΔCHF) bestimmt. Diese beiden Differenzen (ΔUBP und ΔCHF) werden zur Bestimmung des SEBI* dividiert: SEBI* = ΔUBP / ΔCHF = eUBP / CHF (eUBP steht für eingesparte UBP).

⁵ WBCSD: World Business Council For Sustainable Development

4 Resultate

4.1 Kosten

Abbildung 6 zeigt eine Übersicht der zusätzlichen Nettokosten (Nettokosten der Sammelsysteme abzüglich den 250 CHF / t Nettokosten der Entsorgung in einer KVA) der betrachteten Kunststoffsammlsysteme. Die analysierten zusätzlichen Systemkosten schwanken im Bereich von 300 CHF/t bis 700 CHF/t. Der Mittelwert kommt dabei auf rund CHF 500 pro Tonne Kunststoff zu liegen. Als Vergleichsgrösse dienen die zusätzlichen Systemkosten von PET Recycling Schweiz PRS, welche ca. dem Mittelwert entsprechen. Die grössten Schwankungen weisen die Detailhändler auf, wobei angemerkt werden muss, dass die hier dargestellten Kosten für alle Detailhändler ohne den Verkaufsflächenverlust abgebildet wurden, da dieser meist als „Werbeaufwand zur Kundenbindung“ verbucht wird. Betrachtet wurden nur Systeme, welche mehr als 100t Kunststoff jährlich erfassen. Einige Kostenangaben durch die Systembetreiber wurden von uns aufgrund von Plausibilitätsbetrachtungen korrigiert.

Die Systemkosten beinhalten nur die direkten Kosten der Kunststoffsammlung und -verwertung, die volkswirtschaftlichen Kosten wurden nicht eingerechnet. Es wird also nicht berücksichtigt, dass mit der Separatsammlung von Kunststoffen dem Siedlungsabfall Stoffe entzogen werden. Dabei ist zu beachten, dass die leichten aber voluminösen Kunststoffe den Kehrichtsack finanziell „subventionieren“. Eine verstärkte Separatsammlung von Kunststoffen kann folglich dazu führen, dass der Abfallsack teurer wird, damit die Kosten der Abfallsammlung und Entsorgung getragen werden können. Berechnungen haben gezeigt, dass diese volkswirtschaftlichen Kosten rund 500.- / t separat gesammeltem Kunststoff betragen würden (Schweizer Durchschnitt).

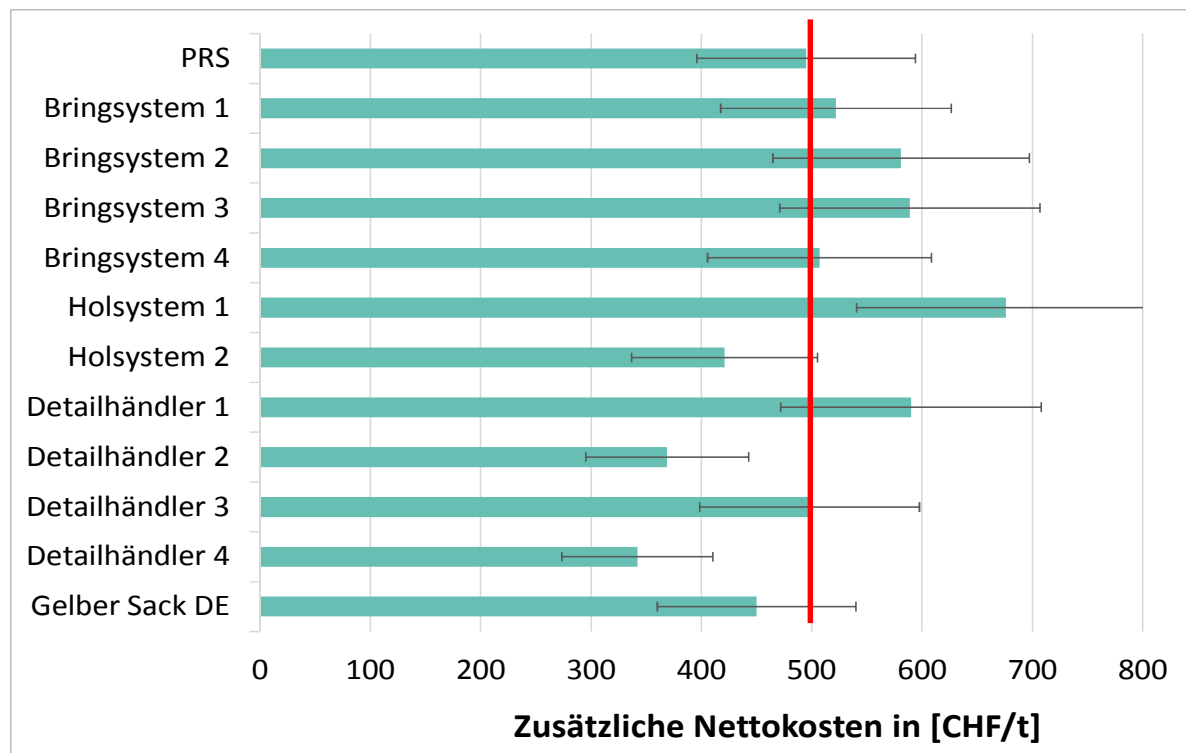


Abbildung 6: Zusammenstellung der zusätzlichen Nettokosten der betrachteten Kunststoffsammlsysteme (Definition siehe Glossar). Zusätzlich wurden zum Vergleich die zusätzlichen Nettokosten von PET Recycling Schweiz PRS aufgeführt. Die rote Linie stellt den Mittelwert der analysierten Systemkosten dar. Nebenbemerkung: Bei den betrachteten Detailhändlern wurde der allfällige Verlust der Verkaufsfläche, verursacht durch die Kunststoffsammlung, nicht mit eingerechnet.

4.2 Ökobilanz

Der Umweltnutzen der betrachteten Kunststoffsammlersysteme liegt zwischen 0.4 bis 0.7 Mio. UBP pro Tonne Sammelware (siehe Abbildung 7). In der Schweiz könnten pro Person und Jahr rund 14 kg Kunststoffe zusätzlich gesammelt und verwertet werden. Der sich daraus ergebende potenzielle ökologische Nutzen entspricht etwa der Einsparung einer Autofahrt von 30 Kilometer pro Person und Jahr. Der Umweltnutzen wird v.a. von folgenden Aspekten beeinflusst:

- Qualität des Rezyklats und der damit verbundenen Möglichkeit neues Material zu ersetzen.
- Getrennte z.B. nur PE-Flaschen oder selektiv gemischte Sammlungen z.B. nur PE-Flaschen und Getränkekartons führen tendenziell zu besseren Qualitäten als gemischte Sammlungen.
- Die Höhe der Industrierückführungsquote⁶. Diese liegt z.B. bei Flaschen höher als bei Folien.
- Ein Umweltnutzen ergibt sich auch dann, wenn minderwertige Kunststoff-Fractionen (Bsp. LDPE-Folien) statt stofflich recycelt in einem Zementwerk energetisch genutzt werden.
- In dieser Studie wurde mit der Energieeffizienz einer durchschnittlichen Schweizer KVA gerechnet. Je nach Energieeffizienz der KVA kann der Umweltnutzen der Kunststoffsammlersysteme jedoch zwischen 0 und 1.2 Mio. UBP pro Tonne schwanken. Würde im Referenzszenario eine optimierte KVA verwendet, reduziert sich der Umweltnutzen in den meisten Systemen um rund zwei Drittel und liegt bei einigen Systemen sogar um Null. Wird der Modellierung hingegen eine KVA mit geringer Energieeffizienz zu Grunde gelegt, erhöht sich der Umweltnutzen des Kunststoffrecyclings um mindestens 50 %. (siehe auch Abbildung 14 in Anhang A1.3).
- Ob die Kunststoffsammlung als Bring-, Holsystem oder via Detailhändler organisiert wird, beeinflusst die Resultate kaum.

Weitaus höher liegt der Umweltnutzen des PET-Recyclingsystems mit rund 1.8 Mio. UBP pro Tonne. Ein Grund hierfür ist, dass PET sortenrein gesammelt wird und in sehr guter Qualität recycelt werden kann. Soll aus einer PET-Getränkeflasche wieder eine PET-Getränkeflasche werden, ist eine sortenreine Sammlung nötig, da sonst die Verschmutzung zu gross ist und die Bestimmungen der Lebensmittelgesetzgebung nicht mehr erfüllt werden können. Zudem verursacht Primär-PET in der Herstellung mehr Umweltbelastung als Primär-Polyolefine⁷. Somit fällt bei PET die Gutschrift für den Ersatz von Primärmaterial höher aus. Weiter weist PET einen tieferen Heizwert auf als Polyolefine. Somit fällt der Nutzen des Referenzsystems (Verwertung in der KVA) geringer aus (weniger Strom und Wärme). Beides zusammen führt zu einem höheren Nutzen des PET Recyclings als dies beim Recycling von Polyolefinen der Fall ist.

Um eine Abschätzung der Leistungsfähigkeit eines Systems, welches grosse Mengen an Kunststoffen mit unterschiedlicher Qualität erfasst, vornehmen zu können, wurde das in Deutschland verbreitete System „Gelber Sack“ betrachtet. Dieses System liegt mit einem Umweltnutzen von rund 0.3 Mio. UBP pro Tonne am unteren Ende der Skala für den ökologischen Nutzen aller Kunststoffverwertungen. Der Grund hierfür liegt bei einer tiefen stofflichen Verwertungsquote aufgrund der schlechten Qualität der Sammelware. Ein wesentlicher Anteil gelangt in Zementwerke und ersetzt dort fossile Brennstoffe, was zur Reduktion der nationalen CO₂-Emissionen beiträgt.

Ob ein Kunststoffsammlersystem als Bringsystem (Transport bis zur Sammelstelle durch den Konsumenten) oder als Holsystem (Abholung am Strassenrand) organisiert ist, hat im Allgemeinen keinen grossen Einfluss

⁶ Die Industrierückführungsquote beschreibt, welcher Anteil der separat gesammelten Kunststoffe tatsächlich wieder als Sekundärrohstoff in der Industrie eingesetzt werden kann.

⁷ Polyolefine sind gesättigte Kohlenwasserstoffe, welche die mengenmässig grösste Gruppe der Kunststoffe darstellen. Die wichtigsten Vertreter dieser Gruppe sind Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP). Ein Beispiel eines Produkts aus PE sind Shampooflaschen. Zu einer anderen Kunststoffgruppe, den Polyester, gehört PET (Polyethylenterephthalat), ein thermoplastischer Kunststoff.

auf das Resultat. Das hängt damit zusammen, dass der Sammeltransport nicht entscheidend ist für den Umweltnutzen insgesamt. Zudem sind die Auswirkungen der Sammeltransporte durchaus vergleichbar, wenn die Kunststoff -Fraktionen zusammen mit anderen Recyclinggütern wie Glas, Karton etc. zur Sammelstelle gebracht werden. Jedoch birgt ein Bringsystem die Gefahr, dass der Umweltnutzen der zur Sammelstelle gebrachten Kunststoffe zunichte gemacht wird, wenn nur wegen einer kleinen Kunststoff-Abfallmenge extra zur Sammelstelle gefahren wird. Diese Gefahr besteht bei den Holsystemen prinzipiell nicht.

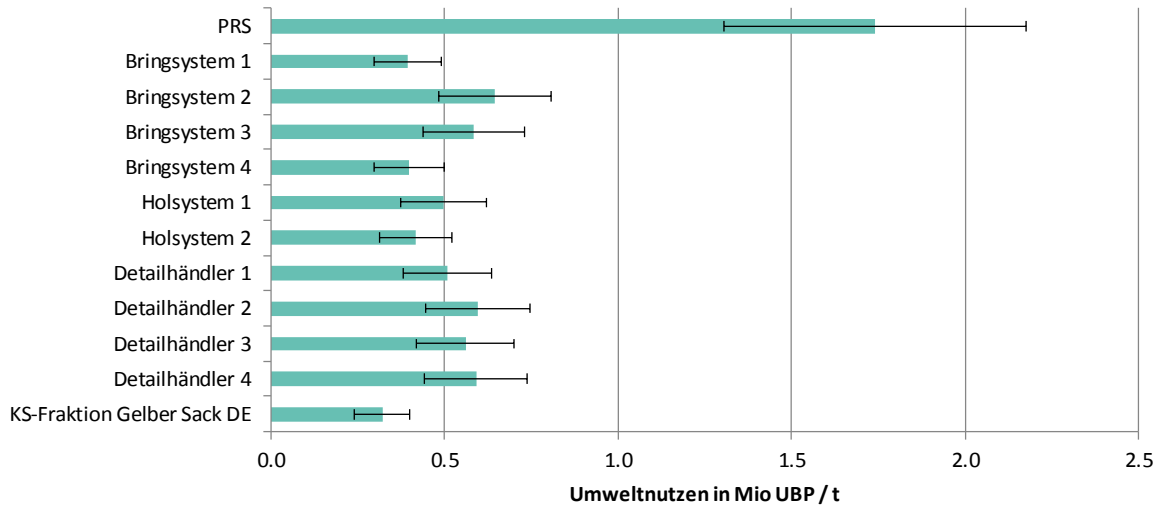


Abbildung 7: Zusammenstellung des Umweltnutzens der betrachteten Kunststoffsammlsysteme (Definition siehe Glossar). Zusätzlich wurden zum Vergleich der Umweltnutzen von PET Recycling Schweiz und von der Kunststoff -Fraktion des Gelben Sacks Deutschland aufgeführt.

4.3 Ökoeffizienz SEBI*

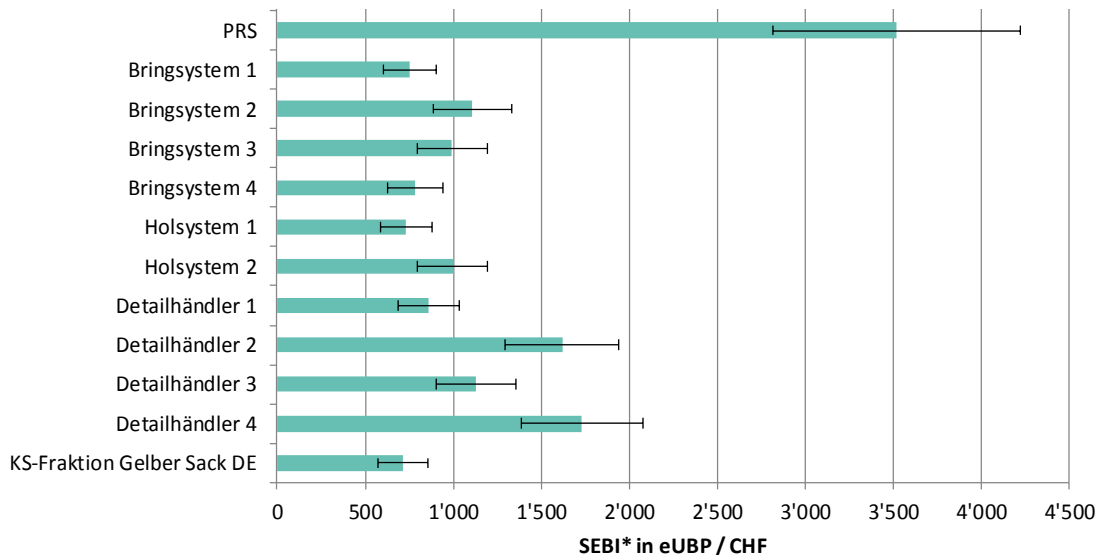


Abbildung 8: Ökoeffizienz der betrachteten Systeme (Definition siehe Glossar) im Vergleich pro t gesammeltes Material

Die höchste Ökoeffizienz, also den höchsten SEBI* von Kunststoffsammlsystemen, erreicht mit 3'500 eUBP/CHF das PET Recycling Schweiz, gefolgt von der separaten Sammlung von Polyethylenflaschen. Auffällig ist, dass die meisten gemischten Sammlungen von stofflich heterogenen Haushaltskunststoffen eine

tieferer Ökoeffizienz aufweisen, als die separate Sammlung von PE-Flaschen. Die SEBI* der analysierten Kunststoffsammlungen liegen alle im Bereich von 700 – 1'700 eUBP/CHF und sind somit etwa 2 – 5-mal weniger effizient als PET Recycling Schweiz (siehe Abbildung 8).

Abbildung 9 zeigt die SEBI* der in diesem Projekt betrachteten Kunststoffsammlensysteme im Vergleich mit dem Effizienzspektrum anderer Schweizer Recyclingmassnahmen, welche im Rahmen des Projekts EconEcol (Bunge, Stäubli, & Pohl, 2016) analysiert wurden. Der Vergleich zeigt, dass alle betrachteten Kunststoffsammlensysteme, ob Bring-, Hol- oder Detailhändlersystem, eher am unteren Ende des Ökoeffizienz-Spektrums der Schweizer Recyclinglandschaft liegen, nämlich um einen SEBI* von ca. 1'000 eUBP/CHF oder noch tiefer. Der SEBI* der separaten Kunststoffsammlung liegt somit im Bereich des Alu-Kaffeekapseln-Recyclings. PET Recycling Schweiz liegt mit ca. 3'500 eUBP/CHF im mittleren Bereich. Ebenso im Mittelbereich liegt das Recycling von Leuchten und Leuchtmitteln. Im Vergleich dazu liegt das Recycling von Elektronikgeräten (SWICO[®]) deutlich höher. Im obersten Ökoeffizienz-Bereich liegt das Recycling von Metallverpackungen wie Aluminium und das Recycling von SENS-Elektrogeräten.

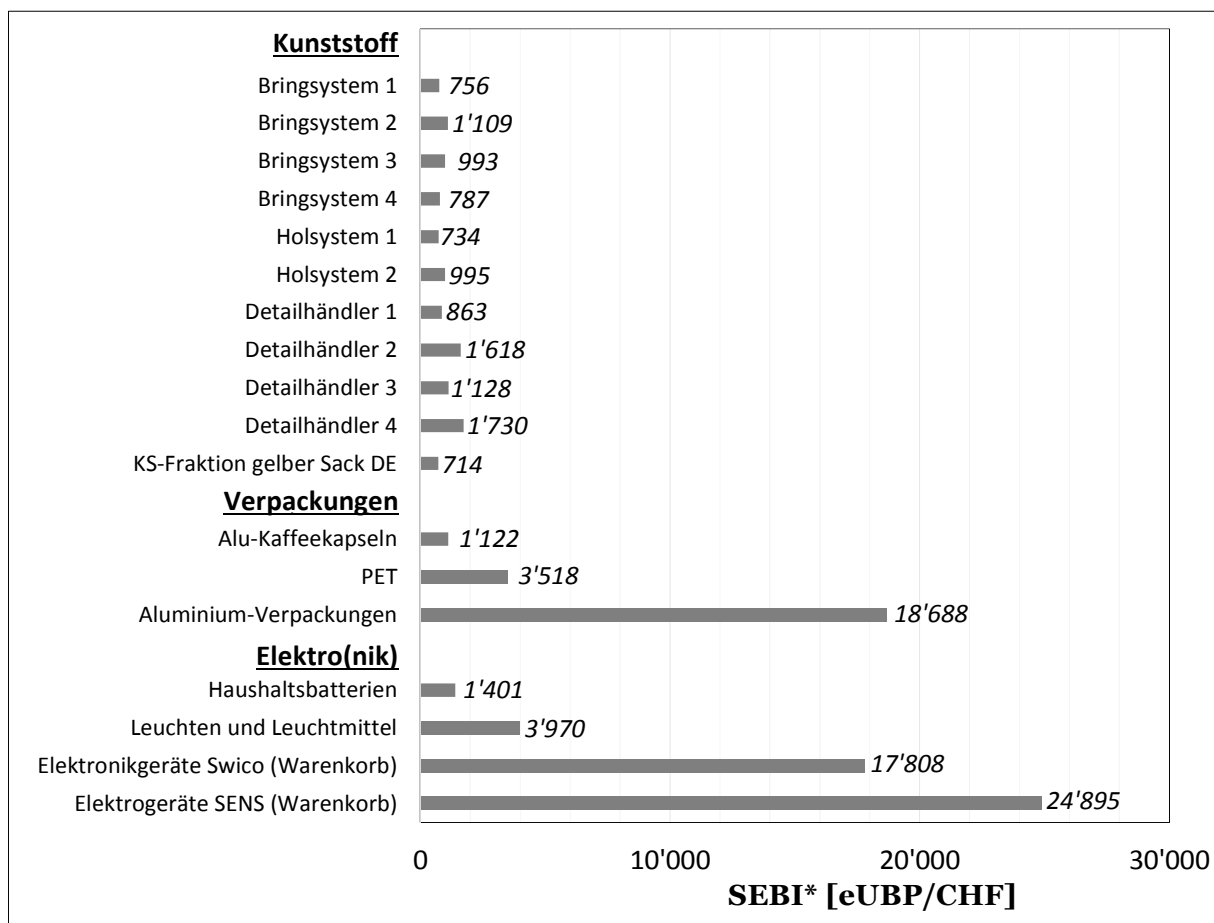


Abbildung 9: SEBI* der Kunststoffsammlensysteme (Definition siehe Glossar) aufgetragen im Effizienzspektrum anderer Schweizer Recyclingmassnahmen, welche im Rahmen des Projekts EconEcol (Bunge u. a., 2016) auf ihre Ökoeffizienz geprüft wurden. Je höher die Ökoeffizienz der Recyclingmassnahmen ist, desto höher der SEBI* und desto länger die Balken. Die SEBI* der Kunststoffsammlungen befinden sich am unteren Ende des Ökoeffizienzspektrums der Schweizer Recyclinglandschaft. Anmerkung: Der SEBI* wurde ohne die Einbindung der volkswirtschaftlichen Kosten (500 CHF/t, siehe Kapitel 4.1) abgebildet. Würden diese mit einbezogen, würden sich die SEBI* der Kunststoffsammlungen deutlich reduzieren. Für die Berechnung des SEBI* wurden je System die aktuell gesammelten Mengen berücksichtigt (gemäss Angaben der Stakeholder).

[®]Definition SWICO und SENS: siehe Glossar

4.4 Potential von Gemischt- und Separatsammlungen

Die meisten der untersuchten Systeme sind neu und in der Aufbauphase. Zum heutigen Zeitpunkt kann noch nicht gesagt werden, welche Systeme sich durchsetzen werden. Als Entscheidungshilfe ist es wichtig, die Potentiale von schweizweiten Sammelsystemen zu kennen. Zu diesem Zweck wurden die folgenden Sammelszenarien definiert und ausgewertet:

1. Gemischt CH: Alle Kunststoffe inkl. Getränkekartons werden gemischt gesammelt (ohne PET-Getränkeflaschen, die werden weiterhin separat gesammelt und sind nicht Teil der potentiellen Menge).
2. Selektive Separatsammlung: Kunststoffflaschen und Getränkekartons (GK) werden zusammen gesammelt (ohne PET-Getränkeflaschen, denn diese werden weiterhin separat gesammelt und sind nicht Teil der potentiellen Menge)
3. PRS: Heute bestehendes System als Vergleichsgrösse

Das heute bestehende PET-Getränkeflaschen Recyclingsystem (50'000t/a) ist nicht Teil der Szenarien und folglich nicht in den potentiellen Mengen mit eingerechnet. Bei einer Sammelquote von 100% würde das Potential des Systems eins (gemischt CH) bei 195'000 t/a⁹ und das Potential des Systems zwei (selektive Separatsammlung) bei rund 35'000 t/a¹⁰ liegen. Um ein realistisches Potential zu erhalten, wurden für alle Fraktionen mit einer zukünftigen Sammelquote von 70 % gerechnet mit Ausnahme der Fraktion «diverse Kunststoffe» und «Folien», für die mit tieferen Sammelquoten gerechnet wurde. Daraus resultiert für System eins ein Wert von 112'000 t/a und für System zwei einer von 24'500 t/a (für die Herleitung und Annahmen zur Sammelquote siehe Tabelle 1 im Anhang). Die heute bereits gesammelten Kunststoffverpackungen (18'000t/a) sind Teil dieser Menge. Die potentiellen Mengen beziehen sich auf die gesammelten Mengen, also auf den Punkt in der Recyclingkette, an dem noch keine Sortierung oder Aufbereitung stattgefunden hat. Mit diesen beiden Werten wurden im Folgenden der potentielle Umweltnutzen und die Kosten der Gemischt- und Separatsammlungen berechnet, basierend auf der Modellierung der heutigen Kennzahlen (Sammelaufwand, Sortieraufwand, Recyclingraten, Energieeffizienz der KVA, Strommix etc.). Grundsätzlich wäre es besser mit zukünftigen Kennzahlen zu rechnen. Da die erwartete Entwicklung zu teilweise gegenläufigen Tendenzen führen und wie alle Zukunftsszenarien mit grossen Unsicherheiten behaftet sind, wurde darauf verzichtet, da zu erwarten ist, dass die Resultate nicht aussagekräftiger, aber dafür unsicherer werden. Um dennoch etwas über zukünftige Entwicklungen aussagen zu können, wurden verschiedene Variantenanalysen durchgeführt. Dabei hat sich gezeigt, dass der Umweltnutzen der analysierten Kunststoffsammlensysteme je nach Annahmen gleich bis fast doppelt so hoch sein dürfte, trotz der zunehmenden Energieeffizienz der Schweizer KVA (siehe dazu auch Anhang A1.4). Der Grund liegt in der Annahme einer leicht höheren Recyclingeffizienz und einem umweltfreundlicheren Strom- und Wärmemix, welcher als Gutschrift für die von der KVA produzierten Energie verwendet wurde.

Abbildung 10 zeigt den ökologischen Nutzen pro Jahr, d.h. die Effektivität der drei Systeme sowie deren Systemkosten. Eine gemischte Kunststoffsammlung (ohne PET) generiert trotz der zweieinhalb Mal höheren Menge nur etwa gleich viel Umweltnutzen wie PET Recycling Schweiz, da die Industrierückführungsquote und der Nutzen pro kg Regranulat geringer ist als bei PET. Demgegenüber sind die Kosten fast drei Mal höher als bei PET-Recycling Schweiz. Weiter ist ersichtlich, dass eine zusätzliche selektive Separatsammlung (GK und Kunststoffflaschen ohne PET) rund ein Fünftel des Umweltnutzens von PET Recycling Schweiz generiert bei etwa halb so hohen Kosten. Die Tatsache, dass der Nutzen der zusätzlichen Kunststoffsammlensysteme relativ teuer erkaufte werden muss, zeigt sich auch in Abbildung 11. In dieser sind die SEBI* der Systeme

⁹(BAFU, Seyler u. a., 2016) Tabelle im Anhang A2. Berücksichtigt wurden folgende Fraktionen: Folien, Tragtaschen, Hohlkörper ohne Flaschen (Schalen, Blister etc.), Becher, Flaschen Milchprodukte, Flaschen divers, Füllmaterial Verpackungen, diverse Verpackungen. Dazu kommen 20'000t/a Getränkekartons (Angabe Raymond Schelker). Die PET-Getränkeflaschen sind nicht mit eingerechnet.

¹⁰(BAFU, Seyler u. a., 2016) Berücksichtigt wurde die Fraktion PE-Flaschen (15'000t/a). Dazu kommen 20'000t/a an Getränkekartons (Angabe Verein Getränkekarton Schweiz).

dargestellt. Eine zusätzliche Kunststoffsammlung – ob KS-Gemischtsammlung (ohne PET) oder selektive Separatsammlung von GK und KS-Flaschen (ohne PET) - weist einen weniger als halb so hohen SEBI* auf wie das PRS-System.

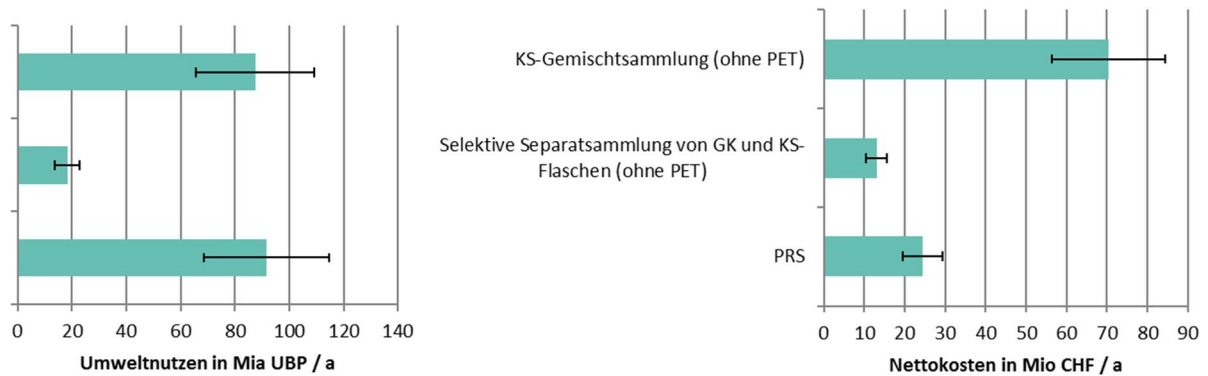


Abbildung 10: Potentieller Umweltutzen und potentielle Nettoosten pro Jahr von schweizweiten Sammelsystemen. Folgende Mengen wurden für die Hochrechnung angenommen: 112 '000 t/a für eine gemischte Kunststoffsammlung und 24'500 t/a Separatsammlung von KS-Flaschen und GK. Für das Vergleichssystem PRS wurde mit 50'000t/a gerechnet.

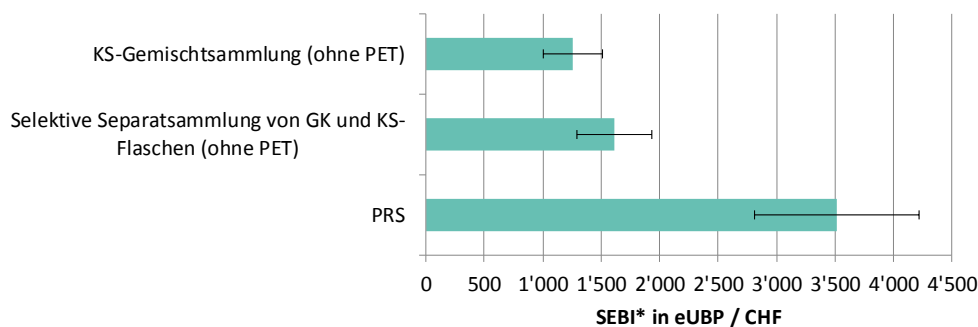


Abbildung 11: SEBI*der Potentialbetrachtung von schweizweiten Sammelsystemen. Folgende Mengen wurden für die Hochrechnung angenommen: 112'000 t/a für eine gemischte Kunststoffsammlung und 24'500 t/a Separatsammlung von KS-Flaschen und GK. Für das Vergleichssystem PRS wurde mit 50'000t/a gerechnet.

Ein Vergleich des absoluten Umweltutzen mit anderen Recyclingsystemen (Dinkel, Kägi, & Weber, 2017) zeigt, dass der potentielle Umweltutzen einer Kunststoffgemischtsammlung (ohne PET) im Bereich der Recyclingsysteme Alu, PET oder Glas liegt (Abbildung 12).

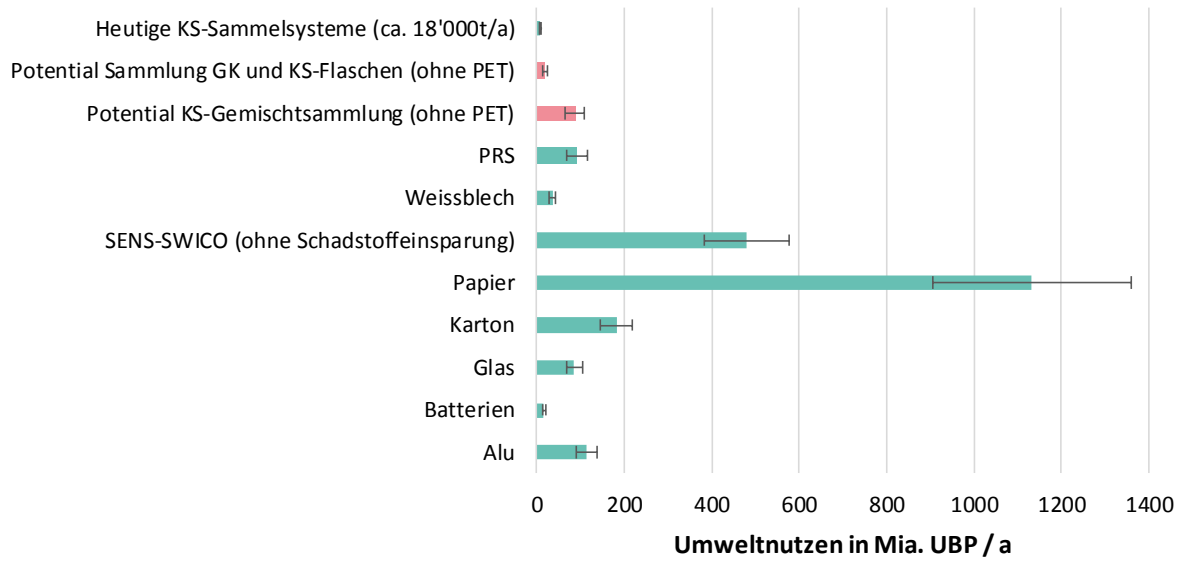


Abbildung 12: Umweltnutzen von ausgewählten Recyclingsystemen. Grün: bestehende Systeme. Für das heutige KS-Sammelsystem wurde mit 18'000t gerechnet (Seyler, Sommerhalder, & Wolfensberger, 2016). Rot: Potential einer schweizweiten Kunststoff-Sammlung (ohne PET-Flaschen). Folgende Mengen wurden für die Hochrechnung angenommen: 112'000 t/a für eine gemischte Kunststoffsammlung und 24'500 t/a für eine Separatsammlung von KS-Flaschen und GK.

5 Schlussfolgerungen

Die Stakeholder-Befragungen und die ausführliche Literaturrecherche haben gezeigt, dass es zurzeit eine grosse Vielfalt an Kunststoffsammlsystemen in der Schweiz gibt, welche unterschiedliche Kunststofffraktionen auf unterschiedliche Weise sammeln und verarbeiten. In der vorliegenden Studie wurde eine umfangreiche und repräsentative Auswahl an Kunststoffsammlsystemen analysiert und dargestellt. An dieser Stelle sei angemerkt, dass sich viele dieser Systeme noch im Aufbau befinden. Dies zeigt sich auch daran, dass die betrachteten Kunststoffsammlsysteme zusammen nur ca. 11'000 t/a sammeln. Die pro System gesammelten Mengen liegen zwischen 12 t/a und 3'000 t/a. Angesichts des Potentials von 112'000 t/a für eine gemischte Kunststoffsammlung und 24'500 t/a für eine selektive Separatsammlung von Kunststoffflaschen und Getränkekartons ist das nur ein geringer Teil der potentiell sammel- und verwertbaren Kunststoffabfälle aus Haushaltungen. Im Vergleich dazu sammelte PET Recycling Schweiz im Jahre 2016 rund 50'000 t PET-Getränkeflaschen¹¹. Viele der betrachteten Kunststoffsammlsysteme stehen in Konkurrenz zueinander, weil die Kunststoffmenge der Schweiz nicht gross genug ist, um alle diese Systeme auszulasten.

Die Analyse der Finanzierungssituation der betrachteten Kunststoffsammlsysteme hat gezeigt, dass die Nettokosten im Mittel 750 CHF/t betragen. Im Vergleich zum Referenzszenario, KVA mit thermischer Nutzung (250 CHF/t Nettokosten), fallen demnach rund 500 CHF/t an Mehrkosten an. Demgegenüber steht der durch das Recycling generierte ökologische Nutzen. Unsere Analysen haben gezeigt, dass alle betrachteten Kunststoffsammlsysteme, im Vergleich zur thermischen Nutzung in einer durchschnittlichen Schweizer KVA, einen Umweltnutzen aufweisen. Dieser schwankt zwischen 0.4 – 0.7 Mio. UBP pro Tonne gesammeltem Kunststoff. Je nach Energieeffizienz der KVA kann der Umweltnutzen der Kunststoffsammlsysteme jedoch zwischen 0 und 1.2 Mio. UBP pro Tonne liegen. Diese Resultate werden durch eine aktuelle Studie aus den Niederlanden gestützt (Raymond H.J.M. et al. 2017). Bezüglich Umweltnutzen sind die folgenden drei Punkte relevant:

- Rückführung von hochwertigem Rezyklat in die Industrie.
- Für minderwertige Sammelware ist eine thermische Nutzung in einem Zementwerk ökologisch vorteilhaft gegenüber der Entsorgung in einer durchschnittlichen KVA.
- Je höher die Energieeffizienz der KVA ist, desto geringer der Umweltnutzen der Kunststoffsammlung. Dennoch haben Szenarienrechnungen gezeigt, dass in Zukunft (2050) der Umweltnutzen der Kunststoffsammlung trotz optimierten KVA leicht ansteigen wird.

Die Ökoeffizienz (SEBI*) der betrachteten Kunststoffsammlsysteme liegt mit 700 bis 1'700 eUBP/CHF am unteren Ende des Ökoeffizienzspektrums von bisher durchgeführten Recyclingmassnahmen. Unsere Berechnungen haben gezeigt, dass die Ökoeffizienz vor allem dann tief ist, wenn der Anteil an hochwertigem Recyclingmaterial tief ist.

Fazit: mit dem Kunststoffrecycling wird ein vergleichsweise geringer Umweltnutzen ziemlich teuer erkauft.

¹¹ Ein interessantes Detail: PET Recycling Schweiz ist über Fehlwürfe von 3'500 t/a immer noch der grösste Schweizer „PET-Separatsammler“.

6 Glossar

Übersicht über die analysierten Sammelsysteme

System	Was wird gesammelt?
PRS – PET Recycling Schweiz	PET-Getränkeflaschen
Gelber Sack Deutschland	Alle Kunststoffe, Metalle wie Alu-Dosen, Verbundverpackungen wie Getränkekartons, (betrachtet wurden in dieser Studie nur die Kunststoffe und Verbundverpackungen)
Bringsystem 1	Alle Kunststoffe ausser PET-Getränkeflaschen und PVC
Bringsystem 2	Alle Kunststoffe ausser PET-Getränkeflaschen und PVC
Bringsystem 3	Kunststoff-Flaschen und Getränkekartons GK
Bringsystem 4	Alle Kunststoffe ausser PET-Getränkeflaschen und PVC
Holsystem 1	Alle Kunststoffe ausser PET-Getränkeflaschen und PVC
Holsystem 2	Alle Kunststoffe ausser PET-Getränkeflaschen und PVC
Detailhändler 1	Kunststoff-Flaschen z.B. Shampoo oder Milchflaschen
Detailhändler 2	Kunststoff-Flaschen z.B. Shampoo oder Milchflaschen
Detailhändler 3	Kunststoff-Flaschen z.B. Shampoo oder Milchflaschen
Detailhändler 4	Kunststoff-Flaschen und Getränkekartons GK

Definitionen

GK	Getränkekartons
Industrierückführungsquote	Beschreibt, welcher Anteil der separat gesammelten Kunststoffe tatsächlich wieder als Sekundärrohstoff in der Industrie eingesetzt werden kann.
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
SEBI	spezifischer Ökonutzenindikator (Specific-Eco-Benefit-Indicator SEBI) eines Systems im Vergleich zum Referenzsystem: Umweltnutzen dividiert durch die zusätzlichen Systemkosten (Bruttokosten)
SEBI*	spezifischer Ökonutzenindikator (Specific-Eco-Benefit-Indicator SEBI*) eines Systems im Vergleich zum Referenzsystem: Umweltnutzen dividiert durch die zusätzlichen Nettokosten
SENS	Die Stiftung SENS tritt gegen aussen mit der Marke SENS eRecycling auf und ist Expertin für die nachhaltige Wiederverwertung von ausgedienten Elektro- und Elektronikgeräten sowie Leuchtmittel und Leuchten.
SWICO	Swico ist der Verband der ICT-Anbieter sowie weiterer verwandter Branchen in der Schweiz. Swico Recycling ist das freiwillige nationale Rücknahmesystem für Elektronik-Altgeräte.
Verwertung, hochwertig	Sekundärgranulat ersetzt 90% Primärkunststoff, z.B. aus PET-Granulat von PET-Getränkeflaschen werden wieder PET-Getränkeflaschen, aus PE-Granulat von Milchflaschen werden Leitungsrohre hergestellt
Verwertung, mittelwertig	Sekundärgranulat ersetzt 70% Primärkunststoff, z.B. aus PE-Granulat von Folien werden Blumentöpfe hergestellt
Verwertung, niederwertig	Sekundärgranulat ersetzt Holz oder Beton z.B. in Europaletten oder in Rasengittersteinen

7 Literaturverzeichnis

- Bunge, R., Stäubli, A., & Pohl, T. (2016). *EconEcol - Kosten-Nutzen-Analyse von umweltbezogenen Massnahmen im Recyclingbereich (Kurzbericht)*. Rapperswil: UMTEC.
- Dinkel, F., Kägi, T., & Weber, L. (2017, Februar). Ökologischer Nutzen von Recyclingsystemen in der Schweiz - Update 2017. Im Auftrag von Swissrecycling.
- ecoinvent. (2016). *ecoinvent 2016: Version 3.3*. Swiss Center for Life Cycle Inventories.
- Frischknecht R., & Büsser Knöpfel S. (2013). *Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der Ökologischen Knappheit - Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz* (Umwelt-Wissen No. 1330) (S. 256). Bern: Bundesamt für Umwelt.
- Haupt, M., Vadenbo, C., & Hellweg, S. (2016). Do We Have the Right Performance Indicators for the Circular Economy? (Journal of Industrial Economy). Zürich: ETH Zürich.
- ISO 14040. (2006). *Environmental management—Life cycle assessment—Requirements and guidelines*. Geneva.
- ISO 14044. (2006). *Environmental management—Life cycle assessment—Principles and framework*. Geneva.
- Kägi, T., Zschokke, M., & Stettler, C. (2017). *Life Cycle Inventories for Swiss Recycling Processes - Part Carbotech: Recycling of Cardboard, Glass, PE, PET, Tinplate*. Im Auftrag des BAFU.
- PRé Consultants. (2011). SimaPro (Version 8.3.0). Pré Consultants.
- Steiger, U. (2014). *Erhebung der Kehrrechtzusammensetzung*. Bern: BAFU.
- Raymond H.J.M. et al. (2017). A Cost-effectiveness Analysis for Incineration or Recycling of Dutch Household Plastic Waste. *Ecological Economics* 135 (2017) 22–28
- Rytec. (2016). *Einheitliche Heizwert- und Energiekennzahlenberechnung der Schweizer KVA nach europäischem Standardverfahren – Resultate 2015*. Im Auftrag der Bundesämter für Umwelt und Energie. Abgerufen am 01.03.2017 von http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_425037652.pdf.
- Scherer, S. (2016). *Vom Haushalt zum Recyclinghof: Ökobilanz des Transports von separat gesammelten Siedlungsabfällen* (Bachelorarbeit). Zürich: ETH Zürich.
- Schwegler, R., Spescha, G., Schläppi, B., & Iten, R. (2015). *Klimaschutz und Grüne Wirtschaft- was meint die Bevölkerung? Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsbefragung*. Im Auftrag des BAFU. Zürich: INFRAS.
- Seyeler, C., Sommerhalder, M., & Wolfensberger, M. (2016). *Bericht Module 3 + 4 Verwertung Kunststoffabfälle Schweiz im Auftrag des Runden Tisches Kunststoff unter der Leitung des BAFU mit Stellungnahmen der Mitglieder des Projektausschusses Runder Tisch Kunststoff*. Bern.

8 Anhang

A1.1 Potentielle Kunststoff sammelmengen

Tabelle 1 listet die verwendeten Kunststoffmengen (ohne PET) nach Verbrauchsmengen und Sammelmengen auf. Die Verbrauchsmengen stammen aus Seyler, Sommerhalder, & Wolfensberger (2016, Anhang A2-1, Seite 95), ergänzt mit 20'000 t Getränkekarton (Angabe Raymond Schelker). Es wurde für die meisten Fraktionen eine Sammelquote von 70 % angenommen basierend auf Erfahrungen mit anderen Recyclingsystemen. Für die Fraktion «diverse Kunststoffe» und einen Teil der Fraktion «Folien» wurde mit einer Sammelquote von 35 % gerechnet. Die Analyse der Materialflüsse der bestehenden Kunststoffsammlsysteme zeigt, dass die Sammelquote der oben beiden genannten Fraktionen wesentlich tiefer sein muss als bei den übrigen Fraktionen, da deren Anteil am Sammelsack wesentlich tiefer ist als dies bei einer gleich hohen Sammelquote der Fall sein würde.

Tabelle 1: Auflistung der verwendeten KS-Mengen (ohne PET) nach Verbrauchsmengen und Sammelmengen.

Fraktion	Beschrieb	Verbraucht in t/a	Annahme Sammelquote	Sammelmenge in t/a
Folien	Lebensmittel-Verpackungen wie Fleisch-, Käse-, Chips-, Teigwaren-, Tiefkühlprodukte-, Frischhalte-, Zeitschriften-, Elektrogeräte-Verpackungen etc.	50'000	25'000 t zu 70% 25'000 t zu 35%	26'250
Tragtaschen	Tragtaschen für Kleider und Lebensmittel, Beutel etc.	12'000	70%	8'400
Hohlkörper ohne Flaschen	Schalen, Dosen, Blister etc.	45'000	70%	31'500
Becher	Joghurt-, Glacé-, Kaffee-Becher etc.	5'000	70%	3'500
Milchflaschen	Milch-, Rahm-, Milchdrinks-Flaschen etc.	5'000	70%	3'500
Flaschen diverse	Waschmittel-, Kosmetik-, Reinigungs-, Food-Flaschen (ohne PET-Flaschen) etc.	10'000	70%	7'000
Füllmaterial, Verpackungen	Füllmaterial hauptsächlich für Elektro(nik)geräte	3'000	70%	2'100
Diverse	Verpackungen divers, z. B. Kehrichtsäcke	45'000	35 %	15'750
Getränkekartons	Milch-, Fruchtsäfte—GK etc.	20'000	70 %	14'000
Total		195'000		112'000

A1.2 Klimanutzen

Auf ausdrücklichen Wunsch wurde auch der Carbon Footprint berechnet und der Klimanutzen in t CO₂eq. pro Tonne Kunststoffsammlersystem dargestellt (Abbildung 13). Der Klimanutzen der Kunststoffsammlersysteme liegt zwischen 0.7 und 2.4 t CO₂eq pro Tonne gesammelter Kunststoffe. Einige erreichen annähernd den Klimanutzen des PET Recycling Schweiz, welcher bei 2.8 t CO₂eq / t liegt. In der Schweiz könnten pro Person und Jahr rund 14 kg Kunststoffe zusätzlich gesammelt und verwertet werden. Der sich daraus ergebende potenzielle Nutzen bezüglich klimarelevanten Emissionen entspricht etwa der Einsparung einer Autofahrt von 100 Kilometer pro Person und Jahr.

Zu beachten ist, dass beim Carbon Footprint nur klimarelevante Emissionen betrachtet werden. Im Vergleich dazu werden beim Umweltnutzen, berechnet mit der Methode der ökologischen Knappheit, neben klimarelevanten Emissionen auch diverse andere Emissionen in Luft, Wasser und Boden wie auch Ressourcenverbräuche mitberücksichtigt. Der Carbon Footprint bildet somit nur eine von vielen Umweltwirkungen ab und ist daher nur bedingt für die Entscheidungsfindung geeignet.

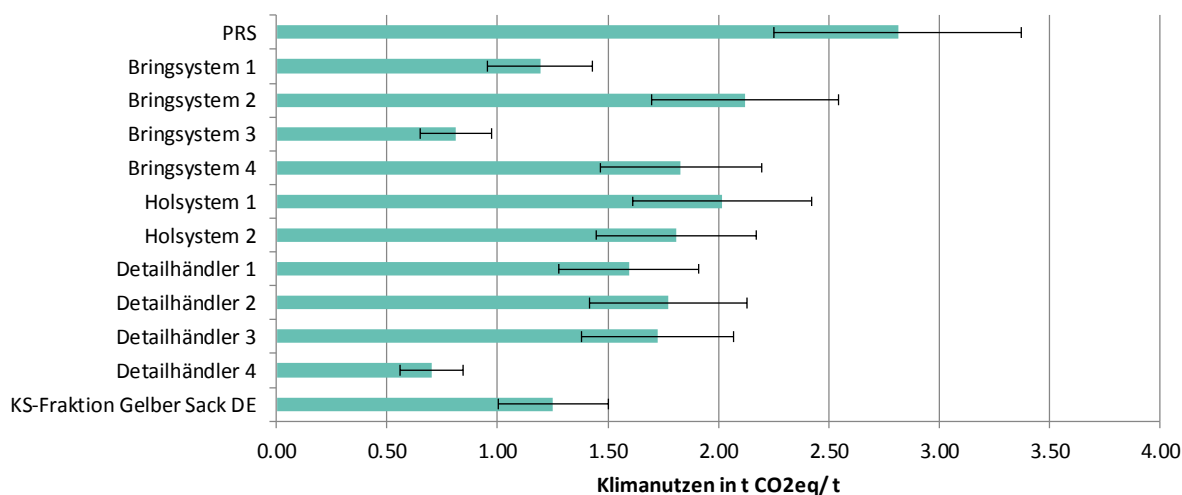


Abbildung 13: Zusammenstellung des Klimanutzens der betrachteten Kunststoffsammlersysteme (Definition siehe Glossar) in Abhängigkeit der Energieeffizienz der KVA.

A1.3 Einfluss KVA-Effizienz

Abbildung 14 beschreibt den ökologischen Nutzen der Kunststoffsammlersysteme in Abhängigkeit der Effizienz der KVA. In dieser Studie wurde mit der Energieeffizienz einer durchschnittlichen Schweizer KVA gerechnet. Würde stattdessen im Referenzszenario eine optimierte KVA verwendet, reduziert sich der Umweltnutzen in den meisten Systemen um rund zwei Drittel und liegt bei einigen Systemen sogar um Null. Wird der Modellierung hingegen eine KVA mit geringer Energieeffizienz zu Grunde gelegt, erhöht sich der Umweltnutzen des Kunststoffrecyclings um mindestens 50 %. In der folgenden Abbildung wurden aus Gründen der Verständlichkeit die Unsicherheiten der Resultate nicht angegeben. Bei der Interpretation der Graphik ist zu beachten, dass die Unsicherheiten mehr als 0.3 Mio. UBP / t betragen. Entsprechend bedeuten die negativen und sehr kleinen positiven Werte, dass sich kein Nutzen ergibt, jedoch kann daraus nicht geschlossen werden, dass eine KVA mit hoher Energieeffizienz einen höheren Nutzen hat.

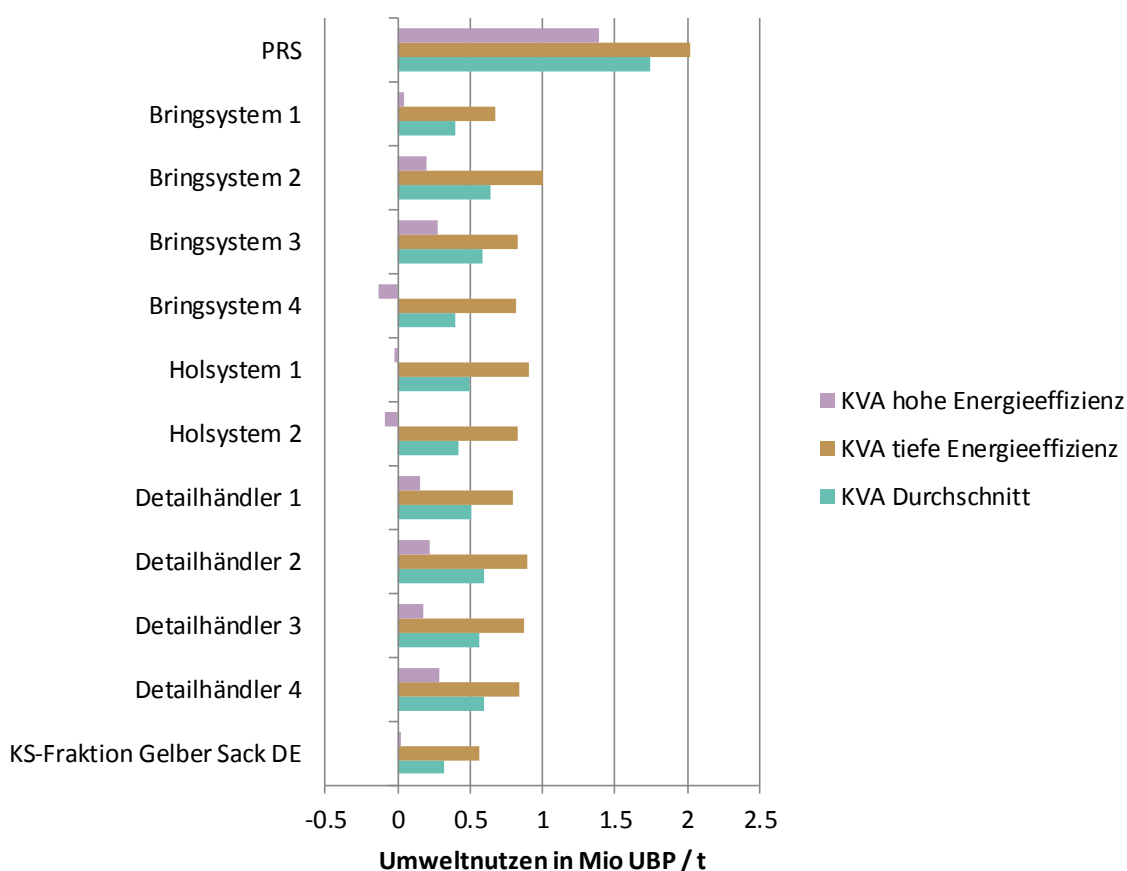


Abbildung 14: Zusammenstellung des Umweltnutzens der betrachteten Kunststoffsammlersysteme (Definition siehe Glossar) in Abhängigkeit der Energieeffizienz der KVA.

A1.4 Zukünftiger Umweltnutzen der KS-Sammelsysteme

Abbildung 15 stellt den zukünftigen Umweltnutzen der Kunststoffsammelsysteme dar. Dabei wird ersichtlich, dass der Nutzen bei allen Kunststoffsammelsystemen bei einer Extrapolation in die Zukunft zunimmt. Die Hauptgründe dafür sind folgende Annahmen: Die Recyclingqualität respektive die Industrierückführungsquote steigt zukünftig an. Die KVA im Referenzszenario wird zwar wesentlich effizienter (hohe Energieeffizienz) und weist tiefere KVA-spezifische Emissionen (NO_x, SO₂, PM, Dioxin etc.) auf, gleichzeitig wird jedoch der zu ersetzende Strom- und Wärme-Mix wesentlich umweltfreundlicher, was zur Folge hat, dass die Gutschrift kleiner wird. Weiter wird angenommen, dass auch in Zukunft in Zementwerken Kohle ersetzt wird¹².

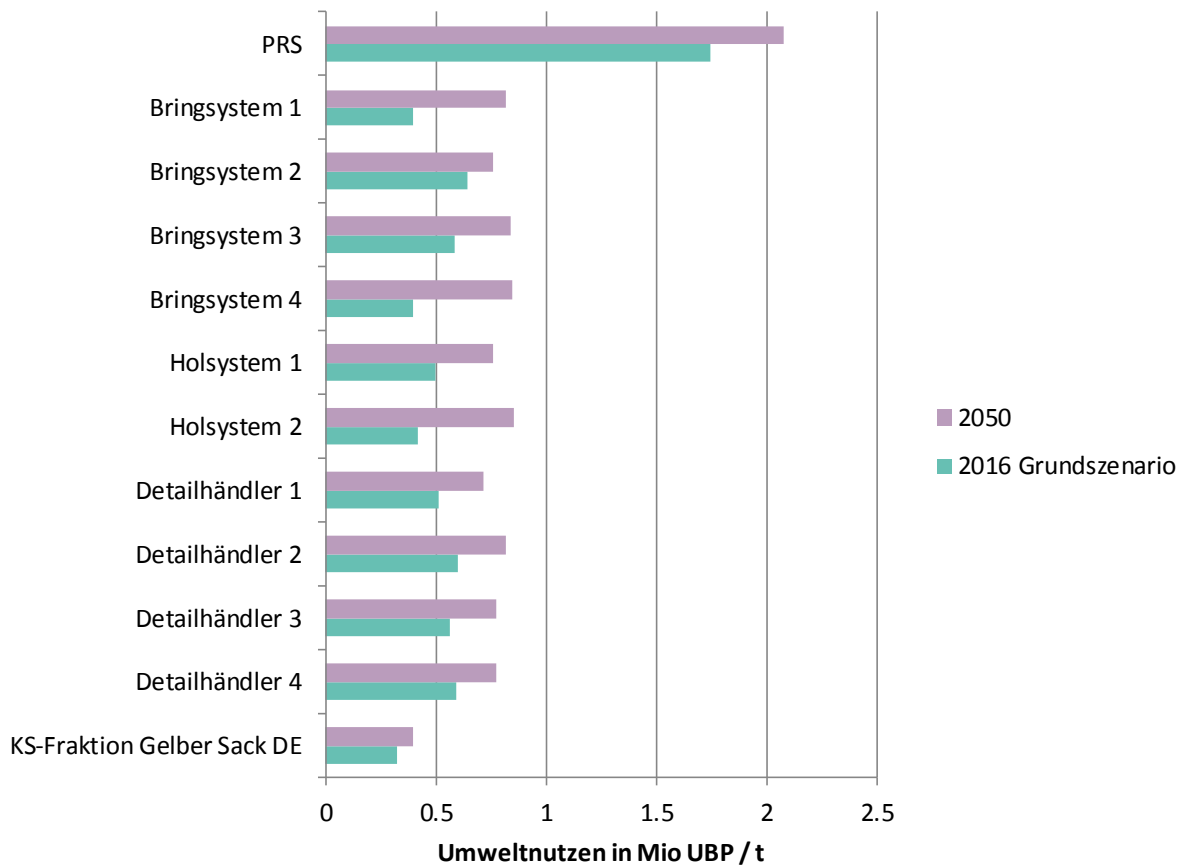


Abbildung 15: Zusammenstellung des zukünftigen Umweltnutzens der betrachteten Kunststoffsammelsysteme (Definition siehe Glossar).

¹² Das Ziel der Schweizer Zementwerke ist, den Anteil Ersatzbrennstoffe sukzessive zu erhöhen und dadurch den Anteil Kohle zu senken. Solange noch Kohle verwendet wird, kann davon ausgegangen werden, dass eine zusätzliche Einheit Ersatzbrennstoffe die entsprechende Menge Kohle ersetzt. Der Einsatz von Öl oder Gas ist in den nächsten 40 Jahren keine Option gemäss Aussage cemsuisse.