



Fachhochschule  
Nordwestschweiz

**Bericht**

# **Evaluation der gemischten Kunststoffsammlung im Unteren Fricktal**

zu Händen:

Gemeindeverband Abfallbewirtschaftung Unteres Fricktal GAF

FHNW Hochschule für Technik  
Zentrum für Ressourceneffizienz ZEF  
Klosterzelgstrasse 2  
5210 Windisch

Windisch, 30.1.2019  
Thomas Heim  
Joris Strassburg



<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Glossar</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Ausgangslage</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Hintergrund</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Pilotversuch des Gemeindeverbandes Abfallbewirtschaftung unteres Fricktal (GAF)</b>	<b>13</b>
<b>5.1</b>	<b>Analyse der Stoffflüsse</b>	<b>13</b>
<b>5.2</b>	<b>Energiebilanz</b>	<b>15</b>
5.2.1	Herstellung	16
5.2.2	Thermische Verwertung: Kehrichtverbrennungsanlage (KVA)	16
5.2.3	Recycling	17
5.2.4	Vergleich Recycling/thermische Verwertung	18
5.2.5	Berechnung des energetischen Nutzens	19
<b>5.3</b>	<b>Vergleich mit anderen Studien</b>	<b>20</b>
5.3.1	Verein Kunststoffrecycling Schweiz	20
5.3.2	KuRVe Studie (Dinkel et al. 2017)	22
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>24</b>
	<b>Literatur</b>	<b>26</b>

## 1 Zusammenfassung

Kunststoffabfälle sind ein wichtiges Thema der Umweltpolitik: Einerseits finden sich grosse Mengen in der Umwelt, besonders in den Meeren, und verursachen dadurch ökologische Risiken. Andererseits sind die Stoffkreisläufe bei den meisten Kunststoffen zu wenig geschlossen, wodurch wertvolle Ressourcen verschwendet werden. Es ist aus diesen Gründen folgerichtig, dass verschiedene Akteure aus der Abfallwirtschaft das Thema Kunststoffabfälle aufgreifen und Separatsammlungssysteme anbieten. Gemäss BAFU betrug im Jahr 2012 die Kunststoffmenge in Haushaltsabfällen 212'000 t (Hügi 2017), Tendenz steigend – eine Menge, die umweltpolitisch und ressourcenökonomisch absolut relevant ist.

Der Gemeindeverband Abfallbewirtschaftung unteres Fricktal (GAF) startete im Oktober 2016 ein zweijähriges Pilotprojekt für die Separatsammlung gemischter Kunststoffabfälle aus Haushalten. Im Herbst 2018 führte das Zentrum für Ressourceneffizienz der FHNW eine Evaluation des Pilotprojekts durch. Ziel war die Abklärung der Stoffflüsse und eine Einschätzung der energetischen Effizienz.

In den Haushalten fallen vor allem folgende Kunststoffabfälle an: PE (Polyethylen), PP (Polypropylen), PET (Polyethylenterephthalat), PS (Polystyrol) und gemischte Hartkunststoffe (GHK). Werden die Kunststoffe separat gesammelt, holt sie der GAF alle zwei Wochen mit einem Kleintransporter ab. Knapp 25% des Sammelguts sind Fremdstoffe, die aussortiert werden. Diese gelangen in die Kehrichtverbrennungsanlage (KVA). Die Kunststoffarten PE, PP, PS werden zu einem Recyclingunternehmen weiter transportiert. Dort werden rund 85% des angebrachten Plastiks zu Granulat verarbeitet, aus dem neue Produkte hergestellt werden. Die restlichen Kunststofffraktionen werden in einem Zementwerk thermisch verwertet.

### Vergleichende Energiebilanz

#### *Thermische Verwertung*

Für die thermische Verwertung ist keine separate Sammlung nötig: Der Transport zur KVA Basel findet zusammen mit dem normalen Haushaltskehrrecht statt. Sammlung und Transport verursachen damit den einzigen Energieaufwand (EA) dieser Verwertungsmethode. Die in der KVA bei der Verbrennung freigesetzte Energie generiert einen Benefit von 34.5 MJ/kg (gerechnet als PE, Strom und Fernwärme). Damit wird durchschnittlich etwas mehr als 1/3 des gesamten Energieaufwands der Herstellung von Kunststoffprodukten zurückgewonnen.

#### *Separatsammlung und Recycling*

Beim Kunststoffrecycling werden die Kunststoffabfälle der Haushalte mit einem Kleintransporter abgeholt und von Hand triagiert. Danach werden sie mit einem Lastwagen zum Recyclingunternehmen transportiert, wo das Recyclinggranulat gefertigt wird. Der EA umfasst die ganze Logistik plus die benötigte Energie für das Recycling. Der Energieaufwand für die Logistik ist höher als bei der Verwertung in der KVA, weil längere Transportwege gefahren werden und ein Lastwagen anstelle eines Güterzugs verwendet wird. Dennoch fällt auch hier die benötigte Energie für die Logistik im Vergleich zu den anderen Prozessschritten fast nicht ins Gewicht. Die Granulat-Herstellung aus Recyclingmaterial ist weniger energieaufwendig als diejenige aus Erdöl. Es entsteht insgesamt ein Benefit von 58.08 MJ/kg. Dies entspricht einer Energieeinsparung von 60% gegenüber der Herstellung von neuem PE Granulat. Der

Recyclingprozess kann theoretisch mehrmals durchgeführt werden, wodurch der Benefit weiter erhöht werden kann.

### **Schlussfolgerungen, aktuelle Diskussion**

Der ökologische Benefit des Recyclings wiederverwertbarer Kunststoffabfälle wird von keiner aktuellen Publikation in Frage gestellt. Die rechnerischen Grundlagen der verschiedenen Publikationen ähneln sich zudem sehr stark; sehr unterschiedlich sind dagegen die daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen. Aus rein abfallwirtschaftlicher Sicht ist die Frage wichtig: Soll man eine bestimmte Menge Kunststoffabfälle nun rezyklieren oder verbrennen? Aus der Perspektive der Kreislaufwirtschaft geht es dagegen eher um die Frage: Was können wir aus einer bestimmten Menge Erdöl, die zu Kunststoffen verarbeitet wird, maximal herausholen? Hier spielt nicht nur der unmittelbar nächste Schritt nach der Abfallentstehung eine Rolle, und auch umweltpolitisch sind die Systemgrenzen sehr viel weiter gesetzt.

Fazit der bisherigen Entwicklung dürfte wohl sein, dass die flächendeckende separate Erfassung und die stoffliche Verwertung recycelbarer Kunststoffabfälle noch in einer Anfangsphase stecken und entsprechend auch noch nicht abschliessend beurteilt werden können, und dass es technische Verbesserungen bei der Auftrennung und Verwertung der gesammelten Kunststoffe braucht, wenn man sich nicht auf einige wenige Kunststoffarten beschränken will. Kreislaufführungen von Materialien sind immer dann sinnvoll, wenn bei vertretbarem Aufwand ein grosser Anteil nicht nur der inneren Energie (= des Heizwerts), sondern auch des Produktionsinputs und damit des kumulierten Energieaufwands erhalten werden können, wie dies bei einer Verbrennung grundsätzlich nicht möglich ist. Dies ist vor allem dann wichtig, wenn der kumulierte Energieaufwand für ein Produkt deutlich höher ist als die innere Energie – was bei vielen Kunststoffprodukten trotz des offensichtlich hohen Heizwerts zutrifft. Die Verbrennung ist zudem eine typische Einfachnutzung, während die stoffliche Verwertung, abhängig von technischen Gegebenheiten wie Gehalt an Additiven oder chemischen Veränderungen, durchaus mehrfach geschehen kann (gefolgt zudem von einer thermischen Verwertung am Schluss des Lebenszyklus). Eine unmittelbare Forderung ergibt sich jedoch heute schon: Die Stoffflüsse der gesammelten Kunststoffabfälle müssen transparent ausgewiesen werden, damit eine unabhängige Beurteilung der verschiedenen Systeme jederzeit möglich ist. Für bisher nicht verwertbare Anteile mit relevanten Stoffströmen (z.B. PET in Gemüsekörbchen) sollten zudem Verwertungsmöglichkeiten geschaffen werden, und der relativ hohe Ausschuss bei der Sortierung des separat gesammelten Materials muss gesenkt werden.

Dass die Verwertung von Kunststoffabfällen heute dermassen umstritten ist, zeigt ganz klar, wie wertvoll diese Materialien sind. Es gilt deshalb, die Verwertung im Sinne der Kreislaufwirtschaft zu optimieren und mittelfristig die Stoffflüsse entsprechend zu lenken. Kurzfristige ökonomische Interessen sollen durchaus berücksichtigt werden, dürfen aber die Entwicklung längerfristiger Perspektiven nicht behindern: Sehr oft ist es in der Umweltpolitik nötig, die falschen Preisanreize, die durch niedrige Ressourcenkosten gesetzt werden, vorübergehend zu

korrigieren, damit nachhaltigere Wirtschaftsweisen überhaupt konkurrenzfähig werden und sich gegenüber weniger ressourceneffizienten Verfahren durchsetzen können. Auch Ansätze zur Abfallvermeidung haben in dieser Strategie ihren wichtigen Platz.

**Fazit**

Der Pilotversuch des GAF zeigt eindeutige ökologische Vorteile des Recyclings gegenüber der rein thermischen Nutzung. Die Kostenseite sieht weniger vorteilhaft aus: Nur ca. ein Viertel der Zusatzkosten können durch Einsparungen an Energie aufgewogen werden. Allerdings sind externe Kosten in einer solchen Rechnung nicht berücksichtigt. Schliesslich ist festzuhalten: Dass es sehr oft billiger ist, Gegenstände und Materialien wegzuworfen oder zu verbrennen, statt sie zu reparieren oder zu rezyklieren, ist eines der Haupthindernisse für die Entwicklung einer Kreislaufwirtschaft, aber kein Argument dagegen.

## 2 Glossar

Begriff	Definition/ Erklärung
<b>Additive</b>	Additive oder auch Hilfsstoffe sind Zusatzstoffe, die Produkten in geringen Mengen zugesetzt werden, um bestimmte Eigenschaften zu erreichen oder zu verbessern. Quelle: <a href="http://www.chemie.de/lexikon/Additiv.html">http://www.chemie.de/lexikon/Additiv.html</a>
<b>BAFU</b>	Das Bundesamt für Umwelt ist die Fachbehörde des Bundes für die Umwelt in der Schweiz und hat den Auftrag, die nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen sicherzustellen. Quelle: <a href="https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/amt/das-bafu-in-kuerze.html">https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/amt/das-bafu-in-kuerze.html</a> 28.01.19
<b>Blister Verpackung</b>	Synonym Sichtverpackung Die Vorderseite der Verpackung besteht aus Kunststoff und erlaubt es das Produkt zu sehen. Die Rückseite besteht meist aus einem Karton oder einer Kunststoffolie.
<b>Biologisch aktive Chemikalien</b>	Stoffe mit (toxischer) Wirkung auf Organismen
<b>Ecoinvent Datenbank</b>	Prozessdatenbank für die Erstellung von Ökobilanzen (Grundlegenden)
<b>Gärrückstand</b>	Flüssiger oder Fester Rückstand aus der Vergärung in einer Biomasseanlage. Dank seines hohen Nährstoffgehalts findet er oft Verwendung als Dünger. Quelle: <a href="https://de.wikipedia.org/wiki/G%C3%A4rrest">https://de.wikipedia.org/wiki/G%C3%A4rrest</a>
<b>Hartkunststoffe</b>	Hartkunststoffe (Duroplaste) bestehen aus grossen organischen Molekülen, die durch chemische Bindungen eng miteinander vernetzt sind. Beim Erhitzen zersetzen sie sich und können deshalb nicht durch Schmelzprozesse rezykliert werden.
<b>Innere Energie</b>	Die Innere Energie ist ein Begriff aus der Thermodynamik und gibt an, wie gross die in einem abgeschlossenen System gespeicherte Energie ist. Hier: Heizwert pro Menge Kunststoff
<b>Kreislaufwirtschaft</b>	Kreislaufwirtschaft ist das Gegenteil der Wegwerfwirtschaft. Es wird versucht, Materialkreisläufe zu schliessen und erneuerbare Energie möglichst effizient zu nutzen.
<b>Kunststoff-Granulat</b>	Kunststoff-Granulat ist ein körniges Rohmaterial der Kunststoffverarbeitung. Durch seine Form ist es einfach zu transportieren und zu verarbeiten
<b>Kumulierter Energieaufwand (KEA)</b>	Der KEA bildet die Summe aller Primärenergieinputs, die für ein Produkt oder eine Dienstleistung aufgewendet werden. Quelle: <a href="https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/kumulierter-energieaufwand-kea-52378">https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/kumulierter-energieaufwand-kea-52378</a>

<b>Makromolekül</b>	Riesenmolekül, kann aus mehreren Tausend Atomen bestehen. Das „Skelett“ besteht aus Kohlenstoffatomen, die sich verzweigende Ketten bilden und je nach Stoffklasse verschiedene andere Atomgruppen tragen. Typische makromolekulare Stoffklassen sind Proteine, Nukleinsäuren (DNS), Enzyme, aber auch Kunststoffe wie PVC, Polyethylen etc.
<b>Molekül</b>	Moleküle sind zwei- oder mehratomige Teilchen, bei denen die Atome durch chemische Bindungen verknüpft sind. Sowohl Elemente wie auch Verbindungen können aus Molekülen aufgebaut sein (z.B. O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O). Auch zwischen den Molekülen treten Bindungskräfte auf; diese bestimmen Eigenschaften wie Schmelz- und Siedepunkt, Kristallstruktur.
<b>Organische Chemie</b>	Die organische Chemie ist ein Teilgebiet der Chemie. Darin werden die chemischen Verbindungen behandelt, die auf Kohlenstoff basieren (ausser CO <sub>2</sub> , Karbonate, Graphit, etc.). Quelle: Wikipedia
<b>Ökobilanz</b>	Eine Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA) ist eine Methode zur Berechnung der Umweltbeeinträchtigung eines Produktes. Quelle: <a href="https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wirtschaft-konsum/fachinformationen/methodische-grundlagen-von-oekobilanzen.html">https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wirtschaft-konsum/fachinformationen/methodische-grundlagen-von-oekobilanzen.html</a>
<b>Polyethylen (PE)</b>	Polyethylen ist der weltweit meist verwendete Kunststoff. Er wird hauptsächlich für Verpackungen verwendet. Quelle: Wikipedia
<b>Polyethylenterephthalat (PET)</b>	PET wird oft als Verpackung für Getränkeflaschen verwendet, aber unter anderem auch für Folien oder Textilfasern. Quelle: Wikipedia
<b>Polypropylen (PP)</b>	PP ist der am zweithäufigsten verwendete Kunststoff. Meistens wird er als Verpackungsmaterial eingesetzt. Es ähnelt PE in seinen Eigenschaften, ist aber härter und wärmebeständiger. Quelle: Wikipedia
<b>Polystyrol (PS)</b>	Polystyrol ist ein Kunststoff, der ausschliesslich für formstabile Verpackungen eingesetzt wird. Expandiertes PS (Handelsname Styropor) wird als Schaumstoff verwendet. Quellen: <a href="http://www.chemgapedia.de">http://www.chemgapedia.de</a> , Wikipedia
<b>Polyvinylchlorid (PVC)</b>	PVC ist ein chlorhaltiger Kunststoff. Er wird zur Herstellung von Fensterprofilen, Rohren und Bodenbelägen verwendet. Quelle: Wikipedia



<b>Ressource</b>	Eigentlich Quelle, Vorkommen von Rohstoffen: z.B. erneuerbare Rohstoffe nach den Kategorien schnell erneuerbar, langsam erneuerbar oder gefährdet, sowie nicht-erneuerbare Rohstoffe. Oft durch geochemische Vorgänge angereichert. Manchmal wird der Begriff auch für Rohstoffe oder Energieträger verwendet.
<b>Ressourceneffizienz</b>	Ressourceneffizienz bedeutet die effiziente Nutzung von technisch-wirtschaftlichen und natürlichen Ressourcen (z.B. dargestellt durch Nutzen/Aufwand oder gewünschter Output/gesamter Input) Quelle: <a href="https://www.ressource-deutschland.de/themen/allgemeines/was-ist-ressourceneffizienz/">https://www.ressource-deutschland.de/themen/allgemeines/was-ist-ressourceneffizienz/</a>
<b>Rohstoff</b>	Material, das einer Ressource entnommen und aufbereitet, aber noch nicht zur Verwendung weiterverarbeitet worden ist (z.B. Eisen, Holz, Weizen, etc.)
<b>Stoff</b>	Chemisches Element oder Verbindung. Elemente bestehen aus lauter gleichen Atomen (Fe, O <sub>2</sub> , Ar), Verbindungen sind aus unterschiedlichen Atomen aufgebaut (H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ).
<b>Systemgrenze</b>	Willkürliche, reale oder gedachte Abgrenzung des Systems von seiner Umwelt (Umsystem) Die Wahl der Systemgrenze hängt vom Zweck der Systemuntersuchung ab. Systemgrenzen können örtlich oder zeitlich definiert werden. Quelle: <a href="http://www.enzyklo.de/Begriff/systemgrenze">http://www.enzyklo.de/Begriff/systemgrenze</a>
<b>Triage</b>	Triage ist vom französischen Verb trier abgeleitet und bedeutet Sortieren.
<b>Thermische Verwertung</b>	Anderes Wort für Verwertung durch Verbrennung
<b>Umwelttoxikologie</b>	Lehre vom Verhalten und von toxischen Wirkungen von Stoffen in der Umwelt

### **3 Ausgangslage**

Der Gemeindeverband Abfallbewirtschaftung unteres Fricktal (GAF) startete im Oktober 2016 ein zweijähriges Pilotprojekt für die Separatsammlung gemischter Kunststoffabfälle aus Haushalten. Ziel war eine möglichst hohe stoffliche Wiederverwertung der gesammelten Abfälle.

Im Herbst 2018 beauftragte der GAF das Zentrum für Ressourceneffizienz ZEF der FHNW in Brugg, das Pilotprojekt zu evaluieren. Dafür wurde eine Studierendengruppe des Studiengangs Energie und Umwelttechnik EUT einbezogen (Ngeno et al. 2018). Bei der Evaluation wurden ausschliesslich die ökologischen Aspekte betrachtet. Einerseits wurde untersucht, was mit den einzelnen Kunststofffraktionen nach der Sammlung geschieht. Andererseits wurde die Meinung der Bevölkerung zum Kunststoffrecycling und zur Arbeit des GAF erfragt. Weiter wurde abgeschätzt, ob die separate Kunststoffsammlung energietechnisch sinnvoll ist.

## 4 Hintergrund

Dass Kunststoffe umwelt- und gesundheitspolitisch problematisch sein können, ist keine neue Erkenntnis. Polyvinylchlorid (PVC) galt einst als Paradebeispiel für chemiekritische Analysen: ungenügend gereinigte Abgase der Verbrennung von PVC in Abfällen transportierten Zehntausende Tonnen Salzsäure in die Umwelt und verursachten sauren Regen; cadmiumhaltige Additive kurbelten unerwünschte anthropogene Kreisläufe dieses toxischen Schwermetalls an; bei Bränden führten Verbrennungsgase zu tödlichen Vergiftungen. Milliarden-schwere Nachrüstungen der Abgasreinigung bei den Kehrichtverbrennungsanlagen und Massnahmen an der Quelle, wie z.B. Verbote kritischer Additive in der Chemikaliengesetzgebung, liessen die Kritik vorerst verstummen, wohl auch, weil sich die Umweltorganisationen inzwischen anderen Themen zugewandt hatten.

Doch die Ruhe war trügerisch: Die Zeiten, in denen man Kunststoffe als ungiftig und deshalb allenfalls als ein ästhetisches Problem in der Umwelt wahrnahm, sind vorbei: Plötzlich erschien das Stichwort „Mikroplastik“ auf der Agenda: Man musste zur Kenntnis nehmen, dass es andere Formen toxischer Wirkungen gibt, als es dem wohlbekannten Muster biologisch aktiver Chemikalien entspricht. Um ein altes Wort der Umwelttoxikologen aufzugreifen: Persistenz ist Wirkung, will heissen: nicht nur klassisch giftige Substanzen sind ein Umweltproblem, sondern auch solche, welche in der Umwelt nicht vollständig zu ungefährlichen Materialien abgebaut werden. Und dies ist bei vielen Kunststoffen offensichtlich der Fall (vgl. z.B. Bertling et al. 2018). Manifest wurde die Umweltverschmutzung mit Kunststoffen zunächst durch grossflächige Teppiche in den Meeren. Inzwischen finden sich Kunststoffe als Folge von Littering auch bei uns in Wald und Flur, und auch die Verwerter von Grünabfällen haben mittlerweile grosse Probleme, weil die Bauern Kompost und Gärrückstände mit Kunststoffverunreinigungen nicht mehr unbeschränkt abnehmen können.

Allerdings ist der toxikologische Aspekt nur die eine Seite des Problems. Hinzu kommt: Kunststoffe werden in zunehmendem Mass für kurzlebige Verwendungsarten eingesetzt und dadurch zum Ressourcenproblem. Heute werden über 10% des Erdöls für die Produktion organischer Chemikalien inklusive Kunststoffe eingesetzt, Tendenz steigend. Man mag beispielsweise die Funktion vieler Verpackungen (Hygiene, Konservierung von Lebensmitteln, etc.) durchaus positiv würdigen – vielfach wirken diese aber auch unnötig, übertrieben aufwendig (Blisterverpackungen von Elektronik, PET-Schalen für Früchte und Gemüse, etc.) oder logistischen Sachzwängen geschuldet (Schrumpffolien, Folienverpackungen), die man auch hinterfragen könnte. Diese Entwicklung ist durchaus bedenklich: Plötzlich stehen an sich wertvolle und wichtige Materialien unter Beschuss, nur weil die Vorzüge der Kunststoffe zu einer überbordenden Anwendung führen und diese allmählich zu einem Sinnbild der Ressourcenverschwendung werden lassen.

Es ist aus diesen Gründen nur folgerichtig, dass verschiedene Akteure aus der Abfallwirtschaft das Thema Kunststoffe aufgreifen und Lösungen in Form von Separatsammlungssystemen anbieten. Diese werden allerdings kontrovers beurteilt: Während die eine Seite den

Aufwand kommunaler Separatsammlungssysteme kritisiert und vorrechnet, dass man auf anderen Gebieten einen viel grösseren Umweltnutzen pro eingesetzten Geldbetrag erzielen könnte (siehe z.B. Dinkel et al. 2017), wird auf der anderen Seite der (unbestrittene) Umweltnutzen ins Feld geführt und darüber hinaus betont, dass die Separatsammlung von der Bevölkerung gewünscht werde (z. B. InnoRecycling 2016). Festgehalten wird schliesslich auch, man solle nur separat sammeln, was auch verwertet werden könne – ein etwas frommer Wunsch angesichts der Tatsache, dass wahrscheinlich die meisten Konsumenten bei der Triage überfordert sind. Gemäss BAFU betrug im Jahr 2012 die Kunststoffmenge in Haushaltabfällen 212'000 t (Hügi 2017), Tendenz auch hier steigend – eine Menge, die umweltpolitisch und ressourcenökonomisch absolut relevant ist.

## 5 Pilotversuch des Gemeindeverbandes Abfallbewirtschaftung unteres Fricktal (GAF)

Als erster Schritt für die Evaluation des Pilotversuchs wurden die Stoffflüsse der verschiedenen Kunststoffarten analysiert. Die Grundlagendaten wurden durch den GAF und die Firma InnoRecycling zur Verfügung gestellt. In einem zweiten Schritt wurden die Graue Energie der einzelnen Prozessschritte Kunststoffherstellung und Verarbeitung, Logistik und Verwertung bestimmt. Die Daten stammten von der Datenbank Ecoinvent und wurden mit der Methode des kumulierten Energieaufwands (KEA) bewertet. Der KEA bildet sich aus der Summe aller Primärenergieinputs, die für ein Produkt oder eine Dienstleistung benötigt werden. Die Methode hat den Vorteil der einfachen Interpretierbarkeit, ein Nachteil ist jedoch die Vernachlässigung verschiedener zusätzlicher Umweltauswirkungen (Günther 2018). Da der Energieaufwand bei Kunststoffen einen beträchtlichen Teil der Gesamtauswirkungen ausmacht, ergibt sich durch diese Vereinfachung keine wesentliche Verfälschung.

### 5.1 Analyse der Stoffflüsse

In den Haushalten fallen vor allem folgende Kunststoffabfälle an: PE (Polyethylen), PP (Polypropylen), PET (Polyethylenterephthalat), PS (Polystyrol) und gemischte Hartkunststoffe (GHK). Werden die Kunststoffe separat gesammelt, holt sie der GAF alle zwei Wochen mit einem Kleintransporter ab. Anschliessend werden die Fremdstoffe aussortiert und die Kunststoffe in Fraktionen unterteilt. Knapp 25% des Sammelguts sind Fremdstoffe<sup>1</sup>. Diese gelangen in die Kehrrechtverbrennungsanlage (KVA). Die Kunststoffarten PE, PP, PS werden zu einem Recyclingunternehmen weiter transportiert. Dort werden rund 85% des angebrachten Plastiks zu Granulat verarbeitet. Aus diesem können neue Produkte hergestellt werden. Die restlichen Kunststofffraktionen können aus technischen und oder ökonomischen Gründen nicht recycelt werden, da sie mit Additiven belastet sind, Metallteile enthalten oder aus unterschiedlichen Kunststoffarten bestehen (Amsler 2018). Aus diesem Grund werden sie in einem Zementwerk thermisch verwertet (seit 2018, vorher auch KVA) und ersetzen dort fossile Brennstoffe. Werden die Kunststoffe nicht separat gesammelt, landen sie im Haushaltskehrrecht und gelange so in eine KVA. Abbildung 1 und

**Sammlung:** Gesammelte Menge Kunststoff der Haushalte, mit Fremdstoffen

*Fremdstoffe:* Fremdstoffe in der Kunststoffsammlung. Annahme: 24% der Sammelmenge

*Ausschuss:* Kunststoff, welcher nicht recycelt werden kann

*Recycling-Quote Total:* Granulat Menge/Sammelmenge

*Recycling-Quote nach Triage:* Granulat Menge/ Input Recyclingunternehmen

---

<sup>1</sup> Der Anteil PET-Flaschen ist mit 1.41 t pro 180 t Sammelgut in den bisherigen zwei Jahren (Angaben GAF) recht gering und macht nur 0.78% aus.

Tabelle 1 stellen die entsprechenden Stoffflüsse in grafischer und tabellarischer Form dar. Basis sind die Sammelergebnisse des Jahres 2017.

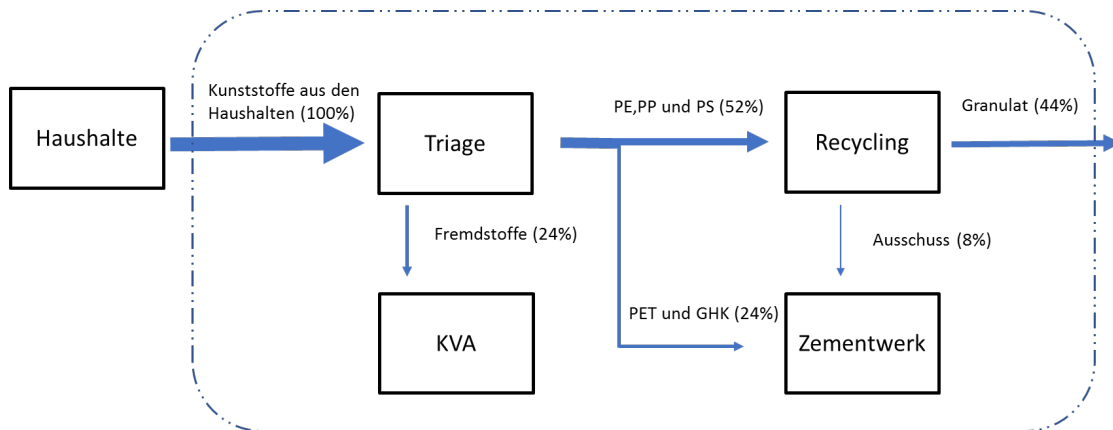


Abbildung 1: Stoffflussanalyse Separatsammlung Haushaltkunststoffe

Kunststoff Art	Sammlung [t/a]	Fremdstoffe [t/a]	Zementwerk [t/a]	Input Recycl. [t/a]	Ausschuss [t/a]	Granulatmenge [t/a]	Recycling-Quote Total [%]	Recycling-Quote nach Triage [%]	Verwertung sart
PE	36	8.64	0	27.36	4.1	23.26	64.61	85.01	Recycling
PP	20.5	4.92	0	15.58	2.34	13.24	64.59	84.98	Recycling
PS	7.7	1.85	0	5.85	0.88	4.97	64.55	84.96	Recycling
PET	16.4	3.94	12.46	0	0	0	0.00	0.00	Zementwerk
GHK	13.4	3.22	10.18	0	0	0	0.00	0.00	Zementwerk
Total	94	22.57	22.64	48.79	7.32	41.47	44.12	58.05	
Total [%]	100.00%	24.01%	24.09%	51.90%	7.79%	44.12%			

*Sammlung:* Gesammelte Menge Kunststoff der Haushalte, mit Fremdstoffen

*Fremdstoffe:* Fremdstoffe in der Kunststoffsammlung. Annahme: 24% der Sammelmenge

*Ausschuss:* Kunststoff, welcher nicht recycelt werden kann

*Recycling-Quote Total:* Granulat Menge/Sammelmenge

*Recycling-Quote nach Triage:* Granulat Menge/ Input Recyclingunternehmen

Tabelle 1: Kunststofffraktionen und ihre Verwertungsarten

Die Abbildungen 2 und 3 zeigen eine Übersicht über die Recyclingquoten mit und ohne Fremdstoffanteil.

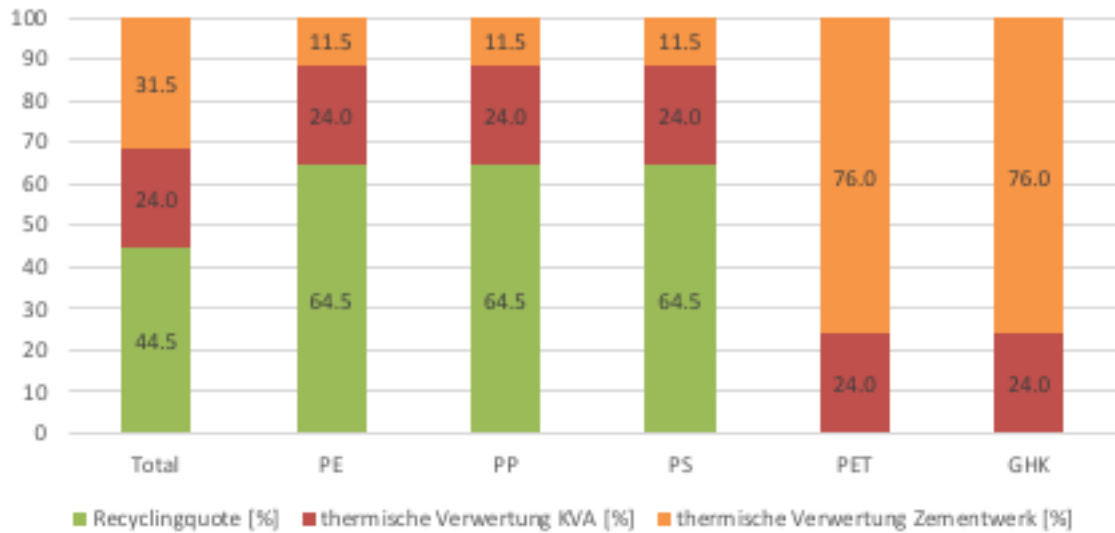


Abbildung 2: Recyclingquote der verschiedenen Kunststofffraktionen mit Fremdstoffen

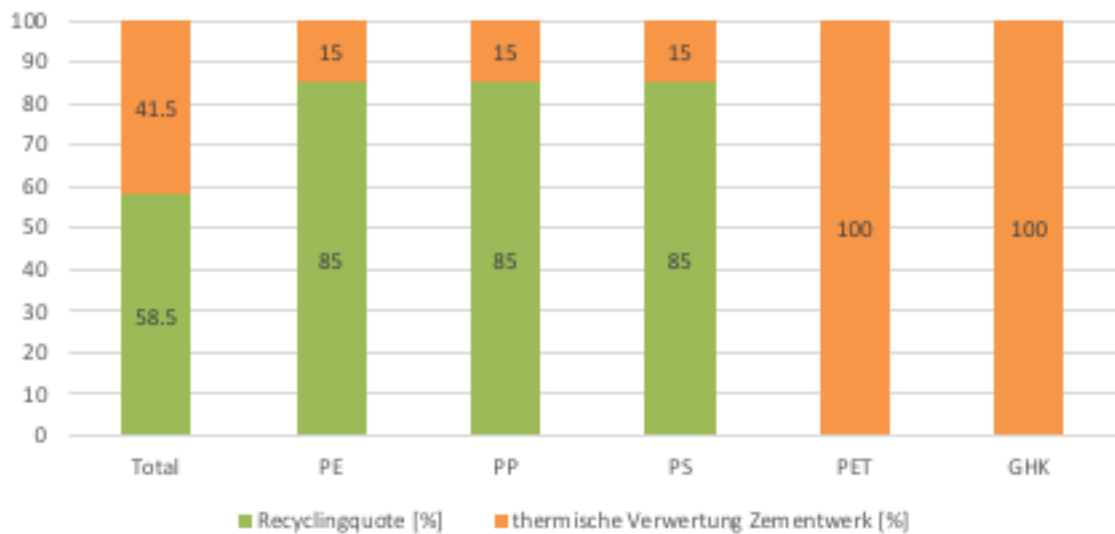


Abbildung 3: Recyclingquote der verschiedenen Kunststofffraktionen ohne Fremdstoffe

## 5.2 Energiebilanz

Im Folgenden werden die energetische Verwertung in einer KVA und das Recycling am Beispiel Polyethylen (PE) anhand der Energiebilanz miteinander verglichen.

### 5.2.1 Herstellung

Der kumulierte Energieaufwand der Herstellung setzt sich zusammen aus der inneren Energie des Kunststoffes (Verbrennungsenergie) und der sogenannten grauen Energie: dem Energieaufwand für die Granulat-Herstellung sowie für die anschliessende Herstellung eines Produkts.

Tabelle 2 zeigt die entsprechenden Werte.

Schritt	Energie [MJ/kg]	Rechnung
Innere Energie	46.10	Hu (Heizwert PE)
Granulatherstellung	32.40	
Verarbeitung Durchschnitt	15.85	(Fleece+Packaging Film)/2
Fleece	16.80	
Packaging Film	14.90	
<b>Aufwand (KEAneu)</b>	<b>94.35</b>	<b>100%</b>

Tabelle 2: Energiebilanz der Herstellung von 1kg PE

### 5.2.2 Thermische Verwertung: Kehrichtverbrennungsanlage (KVA)

Für die thermische Verwertung ist keine separate Sammlung nötig: Der Transport zur KVA Basel findet zusammen mit dem normalen Haushaltskehrrecht statt. Transportmittel sind ein normales Müllfahrzeug und anschliessend ein Güterzug. Sammlung und Transport verursachen somit den einzigen Energieaufwand (EA) dieser Verwertungsmethode. Der EA für die Logistik ist im Verhältnis zu den restlichen Prozessschritten sehr klein. Die in der KVA bei der Verbrennung freigesetzte Energie generiert einen Benefit von 34.5 MJ/kg PE (Strom und Fernwärme). Somit wird etwas mehr als 1/3 des KEA der Kunststoffherstellung zurückgewonnen. Die Energiebilanz der thermischen Verwertung in der KVA ist in Tabelle 3 dargestellt.

Schritt	Energie [MJ/kg]	Rechnung
Wirkungsgrad KVA ( $\eta_{kva}$ )	76%	
Logistik	0.54	Sammlung+Transport
Sammlung	0.52	
Transport	0.02	
Nutzen (Thermische Verwertung KVA)	35.04	Hu* $\eta_{kva}$
Zusatzaufwand	0.54	
<b>Benefit</b>	<b>34.50</b>	<b>37%</b>

Tabelle 3: Energiebilanz der Verwertungsmethode KVA (Wirkungsgrad  $\eta = 76\%$ )



### 5.2.3 Recycling

Beim Kunststoffrecycling werden die gesammelten Kunststoffe der Haushalte mit einem Kleintransporter abgeholt und von Hand triagiert. Danach werden sie mit einem Lastwagen zum Recyclingunternehmen befördert, wo das Recyclinggranulat gefertigt wird. Der EA in diesem Fall umfasst die ganze Logistik plus die benötigte Energie für das Recycling. Der Energieaufwand für die Logistik ist höher als bei der Verwertung in der KVA, weil längere Transportwege gefahren werden müssen und ein Lastwagen anstelle eines Güterzugs verwendet wird. Dennoch fällt auch hier die benötigte Energie für die Logistik im Vergleich zu den anderen Prozessschritten beinahe nicht ins Gewicht. Die Granulat-Herstellung aus Recyclingmaterial ist weniger energieaufwendig als diejenige aus Erdöl. Dadurch und durch die Erhaltung der Inneren Energie entsteht ein Benefit von 58.08 MJ/kg. Dies entspricht einer Energieeinsparung von 60% gegenüber der Herstellung von neuem PE Granulat. Der Recyclingprozess kann theoretisch mehrmals durchgeführt werden. Dies wird in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt. Wie ersichtlich ist, kann dadurch der Benefit weiter erhöht werden. Ebenfalls zeigt die Abbildung, dass der Nutzen eines einzelnen Recyclingdurchgangs mit jedem zusätzlichen Durchgang abnimmt. Die Energiebilanz des Recyclings ist in Tabelle 4 dargestellt.

Schritt	Energie [MJ/kg]	Rechnung
Wirkungsgrad Zementwerk ( $\eta_{zem}$ )	75%	
Recyclingfaktor ( $R_f$ )	85%	
Herstellung Rec. Granulat	8.87	
Herstellung neues Produkt	15.85	
Logistik	2.60	Transport + Sammlung
Sammlung	1.24	
Transport	1.33	
Transport Zementwerk	0.03	
Thermische Verwertung Zementwerk	5.18	$Hu \cdot \eta_{zem} \cdot (1 - R_f)$
Zusatzaufwand	27.32	
Nutzen	85.39	$R_f \cdot KE_{Aneu} + Hu \cdot \eta_{zem} \cdot (1 - R_f)$
<b>Benefit 1X Recyceln</b>	<b>58.08</b>	<b>62%</b>
<b>Benefit 2X Recyceln</b>	<b>107.00</b>	<b>113%</b>
<b>Verlust Recycling</b>	<b>36.28</b>	

Tabelle 4: Energiebilanz der Verwertungsmethode Recycling

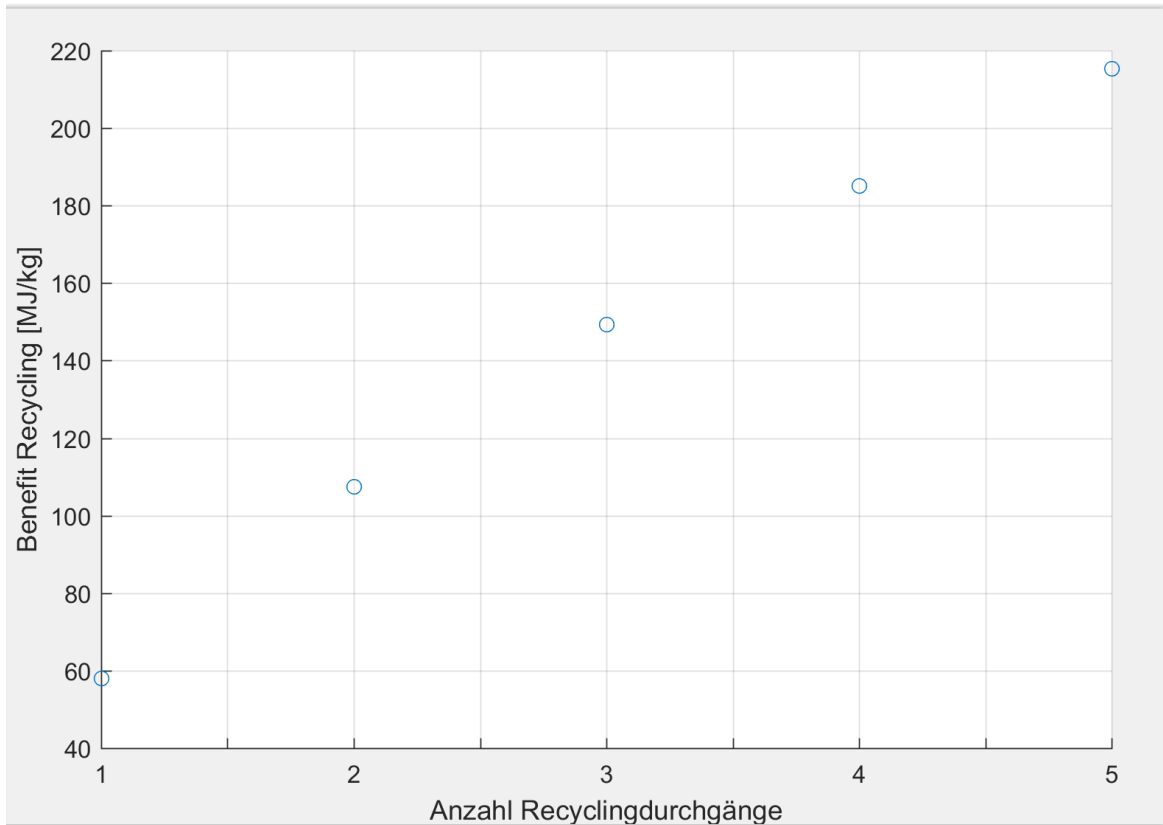


Abbildung 4: theoretischer energetischer Benefit des mehrmaligen Recyclings von Kunststoff-Reinfraktionen

#### 5.2.4 Vergleich Recycling/thermische Verwertung

Abbildung 5 vergleicht den energetischen Nutzen der beiden prinzipiellen Verwertungsmethoden miteinander. Es entsteht ein um 25 Prozentpunkte höherer Benefit durch das Recyclen von Polyethylen, verglichen mit der Verwertung in einer KVA. Dies entspricht einem zusätzlichen Energiegewinn von 23.58 MJ/kg durch die stoffliche Verwertung. Wird der Kunststoff mehr als einmal recycelt, steigt der Nutzen noch zusätzlich an. Aus energetischer Sichtweise ist das Recycling der Verbrennung deshalb klar vorzuziehen. Der Grund dafür ist die Rückgewinnung eines Teils der grauen Energie, was bei jeglicher Verbrennung prinzipiell unmöglich ist.

Für die Berechnung des energetischen Gewinnes pro Kilogramm Sammelgut (unsortierte Kunststoffe aus den Haushalten) wurden folgende Annahmen getroffen:

- Alle verwertbaren Kunststoffe werden als PE gerechnet.
- Für die KVA und das Zementwerk wird derselbe thermische Wirkungsgrad angenommen.
- Die bei der Triage aussortierten Fremdstoffe haben denselben Heizwert wie PE.

Unter diesen Annahmen können dieselben Grundlagen verwendet werden wie für die Berechnung des energetischen Gewinnes pro Kilogramm PE. Der eigentliche energetische Nutzen der

Kunststoffsammlung bildet sich aus der Differenz des Energiegewinns des Sammelgutes und der Verwertung in der KVA. Sie beläuft sich auf 12.2 MJ/kg Sammelgut bei einmaligem Recycling (bei zweimaligem Recycling wären es 32.4 MJ/kg). Für die gesamte jährliche Sammelmenge entspricht dies einer zusätzlichen Einsparung von ca. 30'000 l Heizöl oder 24'000 CHF (Annahme: Heizölpreis 80 CHF/100 l). Dies entspricht gemäss GAF etwa einem Viertel der Deckungslücke für die separate Sammlung.

### 5.2.5 Berechnung des energetischen Nutzens

Der energetische Gewinn der Verwertung bildet sich aus der Differenz von energetischem Nutzen und Energieaufwand (EA) der jeweiligen Verwertungsmethode. Der EA wird aus der Summe der benötigten Energien für die einzelnen Prozessschritte der jeweiligen Verwertungsmethode berechnet (siehe Formel 1 und 2). Der Nutzen entsteht durch die Summe aus dem KEA des ersetzten Neumaterials an PE und der durch die Verbrennung freiwerdenden Energie (siehe Formel 4). Der Verwertungsprozess Recycling kann im Gegensatz zur rein thermischen Verwertung mehrmals durchgeführt werden. Dies wird in der Formel 5 dargestellt. Damit die beiden Prozesse Recycling und thermische Verwertung miteinander verglichen werden können, wird die Annahme getroffen, dass beim n-maligen Recycling kein neuer Kunststoff hinzukommt. Dies hat zur Folge, dass der Nutzen eines einzelnen Recyclingdurchgangs immer geringer wird, da auch die Kunststoffmenge mit jedem Durchgang abnimmt. Abbildung 5 veranschaulicht den Vergleich beider Verwertungsarten. Es gelten die folgenden Zusammenhänge:

$$\text{Aufwand Recycling} = EA_{\text{Logistik}} + EA_{\text{Granulatherstellung}} + EA_{\text{Herst. neues Prod.}} \quad (1)$$

$$\text{Aufwand Verbrennung} = EA_{\text{Logistik}} \quad (2)$$

$$\text{Aufwand}(n) = \text{Aufwand}(1) * Rf^{(n-1)} \quad (3)$$

Der Gewinn beim mehrfachen Recycling errechnet sich damit nach Formel 5 und 6. Der Recyclingfaktor Rf wird mit 0.85 angenommen. Er bezeichnet den Anteil einer Kunststoffart beim Recycler, die tatsächlich zu Granulat verarbeitet wird.

$$\text{Gewinn} = \text{Nutzen} - \text{Zusatzaufwand}$$

$$\text{Gewinn} = Rf * KEA_{\text{Neu}} + (1 - Rf) * \eta * H - \text{Aufwand} \quad (4)$$

$$\text{Gewinn}(n) = Rf^n * KEA_{\text{Neu}} + (Rf^{n-1} - Rf^n) * \eta * H - \text{Aufwand}(1) * Rf^{(n-1)} \quad (5)$$

$$\text{Gewinn} = \sum_{n=1}^{\text{Anzahl Recycling}} \text{Gewinn}(n) \quad (6)$$

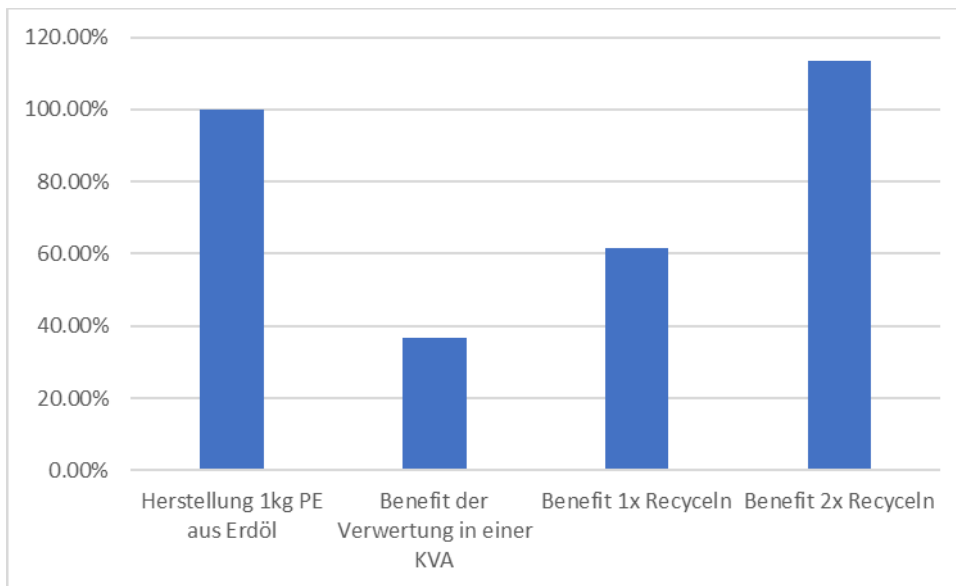


Abbildung 5: Benefit der Verwertungsmethoden KVA und Recycling

### 5.3 Vergleich mit anderen Studien

Das Kunststoffrecycling und insbesondere die Separatsammlung von Kunststoffabfällen waren bereits Gegenstand mehrerer Studien. Es fällt auf, dass diese zu deutlich unterschiedlichen Schlussfolgerungen gekommen sind. Grundsätzlich zeigen jedoch alle analysierten Studien, dass das Kunststoffrecycling gegenüber der Verwertung in einer KVA einen ökologischen Mehrwert herbeiführt. Im folgendem werden zwei ausgewählte Studien mit der vorliegenden Evaluation des GAF verglichen.

#### 5.3.1 Verein Kunststoffrecycling Schweiz

Der Verein Kunststoffrecycling Schweiz führt in der Stellungnahme zum Bericht «Verwertung Kunststoffabfälle Schweiz – Module 3 + 4» (BAFU 2016) eine Energiebilanz an, in der die Verwertungsmethoden Verbrennung (KVA) und Recycling miteinander verglichen werden.

##### Resultate

Pro rezykliertes kg PE werden 1.3 l Heizöl eingespart. Bei der thermischen Verwertung in einer KVA entsteht ein Ressourcenverlust von 1.7 l Heizöl (Abbildung 6).

typische Ausgangswerte: Energieinhalt LD-PE		43 MJ/kg	
Energieinhalt Heizöl		36 MJ/kg (10 kWh/Liter)	
<hr/>			
<b>LD-PE</b>		43 MJ/kg	
Energiebedarf (Ölförderung bis Granulat)		25 MJ/kg	
Verarbeitung bis Endprodukt		10 MJ/kg	
Energieäquivalent für Produkt aus LD-PE		78 MJ/kg	
<hr/>			
<b>Thermische Verwertung</b>			
Input		78 MJ/kg	
Entsorgung und Prozessaufwand		10 MJ/kg	
Energieäquivalent		88 MJ/kg	
Output bei 65% vom Heizwert LD-PE		+28 MJ/kg	vgl. KVA Renergia, Perlen
<b>Ressourcenverlust</b> gegenüber Neuware		<b>-60 MJ/kg</b>	<b>= -1,7 Liter Heizöl pro kg LD-PE</b>
<hr/>			
<b>Stoffliche Verwertung</b>			
Input		78 MJ/kg	
Aufwand für Sammlung bis Regranulat		20 MJ/kg	
Verarbeitung bis Endprodukt		10 MJ/kg	
Energieäquivalent		108 MJ/kg	
Energieäquivalent abzgl. Neuware		30 MJ/kg	
<b>Ressourcengewinn</b> gegenüber Neuware		<b>+48 MJ/kg</b>	<b>= +1,3 Liter Heizöl pro kg LD-PE</b>

Abbildung 2: Energiebilanzen gemäss Verein Kunststoffrecycling Schweiz

### Vergleich

Für die Evaluation des GAF wurde mit Werten in derselben Grössenordnung gerechnet. Die Schlussresultate wurden jedoch unterschiedlich interpretiert: Die Evaluation GAF vergleicht die Energieeinsparung beider Verwertungsprozesse mit der Produktion von Neuware. Der Verein Kunststoffrecycling Schweiz beziffert den Verlust in der KVA und den Ressourcengewinn des Recyclings, ohne beides zu verknüpfen. Aus diesem Grund wurde mit den Zahlen der Studie des Vereins Kunststoffrecycling Schweiz dieselbe Berechnung durchgeführt wie in der Evaluation GAF. Abbildung 3 zeigt, dass bei dieser Sichtweise die Resultate der beiden Untersuchungen in derselben Grössenordnung liegen.

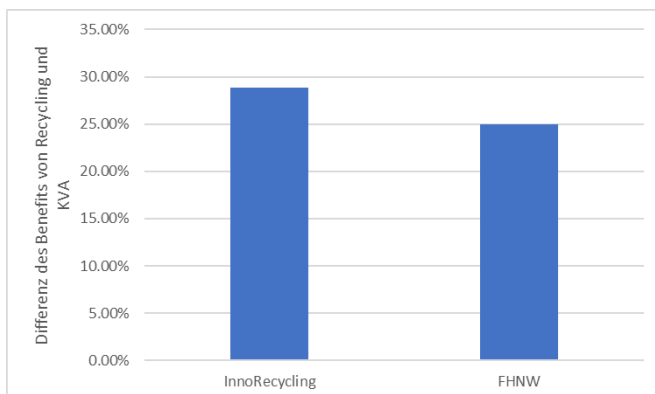


Abbildung 3: Vergleich der energetischen Effizienz gemäss Verein Kunststoffrecycling und GAF

### 5.3.2 KuRVe Studie (Dinkel et al. 2017)

In der Studie Kunststoff Recycling und Verwertung (KuRVe) wurden eine Ökobilanz und eine Kosten/Nutzen-Untersuchung zum Recycling von Kunststoffen aus Haushaltsabfällen durchgeführt. Die Bewertung der Umweltbelastung wurde mit der Methode der ökologischen Knappheit durchgeführt. Aus diesem Grund kann nur das Endergebnis mit der Evaluation des GAF verglichen werden.

#### **Resultate**

Laut KuRVe liegt der ökologische Nutzen der untersuchten Sammelsysteme zwischen 0.4 bis 0.7 Mio Umweltbelastungspunkten (UBP) pro Tonne Sammelware (vergleich PET Recycling: 1.8 Mio UBP/t). Pro Person und Jahr könnten in der Schweiz zusätzlich 14 kg Kunststoff gesammelt und verwertet werden. Durch das Recycling dieser Menge würde ein Umweltnutzen, der einer Einsparung von 30 km Autofahrt pro Jahr entspricht, entstehen. Ob die Haushaltskunststoffe am Strassenrand eingesammelt oder von den Konsumenten selbst zur Sammelstelle gebracht werden, hat beinahe keinen Einfluss auf die Ökobilanz, weil die Logistik im Vergleich zu den anderen Prozessschritten eine sehr tiefe Umweltbelastung verursacht. Einzige Ausnahme hierbei ist ein Transport von sehr geringen Kunststoffmengen. Ausserdem kommen die Autoren der KuRVe-Studie zum Schluss, dass der Wirkungsgrad der KVA einen starken Einfluss auf die Höhe des zusätzlichen Umweltnutzens beim Recycling hat.

#### **Vergleich**

Beide Untersuchungen (KuRVe und Evaluation GAF) kommen zum Schluss, dass durch das Kunststoffrecycling ein ökologischer Mehrwert entsteht und die Logistik nur einen geringen Einfluss auf die Bilanz hat.

Abbildung 4 zeigt den Vergleich der beiden Verwertungsarten in beiden Untersuchungen. Die Resultate liegen in derselben Grössenordnung. Die KuRVe Studie kommt zum Schluss, dass durch die Verbrennung des Kunststoffes in einer KVA mit hohem Wirkungsgrad der ökologische Nutzen des Recyclings stark verringert wird und bis auf null sinken kann. Abbildung 5 stellt den Einfluss des Wirkungsgrades der KVA auf den ökologischen Mehrwert des PE Recyclings entsprechend den Ergebnissen der Evaluation GAF dar. Hier würde der Nutzen des Recyclings auch bei einem hypothetischen Wirkungsgrad von 100% nicht auf null sinken.

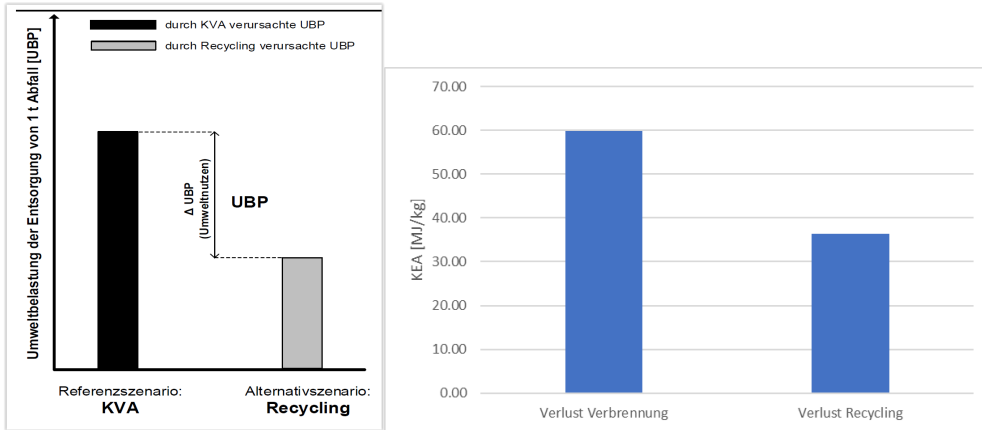


Abbildung 4: Umweltbelastung der beiden Verwertungsmethoden, links KurVe, rechts GAF

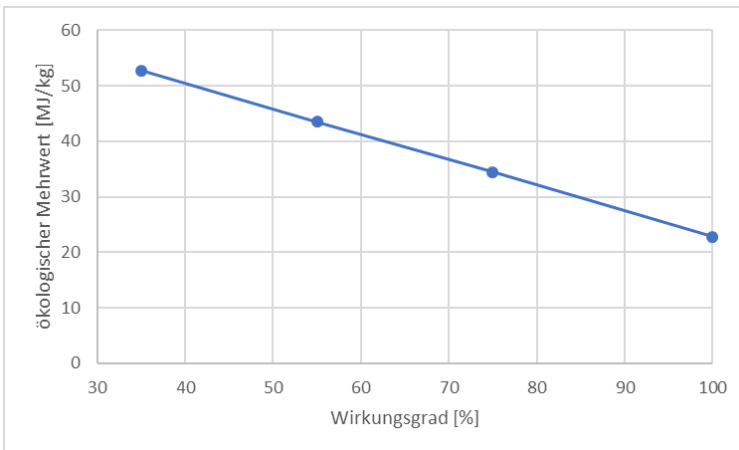


Abbildung 5: Einfluss des KVA Wirkungsgrads auf den ökologischen Nutzen von PE Recycling (GAF)

## 6 Schlussfolgerungen

Der ökologische Benefit des Recyclings wiederverwertbarer Kunststoffabfälle wird von keiner Seite in Frage gestellt. Dabei führen rein energetische Betrachtungen zu ähnlichen Ergebnissen wie umfassendere Ökobilanzen. Was genau unter „wiederverwertbar“ verstanden werden soll, und wie weit die ökonomischen Rahmenbedingungen einzubeziehen sind, wird hingegen kontrovers diskutiert und ist wohl auch Gegenstand zukünftiger Entwicklungen. Man könnte die Diskussion folgendermassen zusammenfassen: Die rechnerischen Grundlagen der verschiedenen Publikationen ähneln sich sehr stark; sehr unterschiedlich sind dagegen die daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen. Aus rein abfallwirtschaftlicher Sicht ist die Frage wichtig: Soll man eine bestimmte Menge Kunststoffabfälle nun rezyklieren oder verbrennen (vgl. z.B. die KuRVE-Studie, Dinkel et al. 2017)? Aus der Perspektive der Kreislaufwirtschaft geht es dagegen eher um die Frage: Was können wir aus einer bestimmten Menge Erdöl maximal herausholen? Hier spielt nicht nur der unmittelbar nächste Schritt nach der Abfallentstehung eine Rolle, und auch umweltpolitisch sind die Systemgrenzen sehr viel weiter gesetzt. Aus dieser Sicht wirkt die aktuelle Diskussion „Verbrennung versus Recycling“ zu eng gefasst und nur begrenzt nachhaltig.

Fazit der bisherigen Entwicklung dürfte wohl sein, dass die flächendeckende separate Erfassung und die stoffliche Verwertung recycelbarer Kunststoffabfälle noch in einer Anfangsphase stecken und entsprechend auch noch nicht abschliessend beurteilt werden können, und dass es technische Verbesserungen bei der Auftrennung und Verwertung der gesammelten Kunststoffe braucht, wenn man sich nicht auf einige wenige Kunststoffarten beschränken will. Kreislaufführungen von Materialien sind immer dann sinnvoll, wenn bei vertretbarem Aufwand ein grosser Anteil nicht nur der inneren Energie, sondern auch des Produktionsinputs und damit des kumulierten Energieaufwands erhalten werden können, wie dies bei einer Verbrennung grundsätzlich nicht möglich ist. Dies ist vor allem dann wichtig, wenn der kumulierte Energieaufwand für ein Produkt deutlich höher ist als die innere Energie – was bei vielen Kunststoffprodukten trotz des offensichtlich hohen Heizwerts zutrifft. Die Verbrennung ist zudem eine typische Einfachnutzung, während die stoffliche Verwertung, abhängig von technischen Gegebenheiten wie Gehalt an Additiven oder chemischen Veränderungen, durchaus mehrfach geschehen kann (gefolgt zudem von einer thermischen Verwertung am Schluss des Lebenszyklus). Eine unmittelbare Forderung ergibt sich jedoch heute schon: Die Stoffflüsse der gesammelten Kunststoffabfälle müssen transparent ausgewiesen werden, damit eine unabhängige Beurteilung der verschiedenen Systeme jederzeit möglich ist. Für bisher nicht verwertbare Anteile mit relevanten Stoffströmen (z.B. PET in Gemüsekörbchen) sollten zudem Verwertungsmöglichkeiten geschaffen werden, und der relativ hohe Ausschuss bei der Sortierung des separat gesammelten Materials muss gesenkt werden.

Dass die Verwertung von Kunststoffabfällen heute dermassen umstritten ist, zeigt ganz klar, wie wertvoll und wirtschaftlich bedeutend diese Materialien sind. Es gilt deshalb, die Verwertung im Sinne der Kreislaufwirtschaft zu optimieren und mittelfristig die Stoffflüsse



entsprechend zu lenken. Kurzfristige ökonomische Interessen sollen durchaus berücksichtigt werden, dürfen aber die Entwicklung längerfristiger Perspektiven nicht behindern: Sehr oft ist es in der Umweltpolitik nötig, die falschen Preisanreize, die durch niedrige Ressourcenkosten gesetzt werden, vorübergehend zu korrigieren, damit nachhaltigere Wirtschaftsweisen überhaupt konkurrenzfähig werden und sich gegenüber weniger ressourceneffizienten Verfahren durchsetzen können. Auch Ansätze zur Abfallvermeidung haben in dieser Strategie ihren wichtigen Platz.

## Literatur

- Bertling, Jürgen; Bertling, Ralf; Harmann, Leandra (2018): Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik. Ursachen, Mengen, Umweltschicksale, Wirkungen, Lösungsansätze, Empfehlungen. Kurzfassung der Konsortialstudie, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT (Hrsg.), Oberhausen
- Bundesamt für Umwelt BAFU (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
- Dinkel, Fredy; Kägi, Thomas; Bunge, Rainer; Pohl, Thomas; Stäubli, Ariane (2017): Kurzbericht KuRVe, Kunststoff Recycling und Verwertung, Ökonomisch-ökologische Analyse von Sammel- und Verwertungssystemen von Kunststoffen aus Haushalten in der Schweiz, Carbotech AG, Basel
- Günther, Edeltraut (2013): Kumulierter Energieaufwand (KEA). In: Gabler Wirtschaftslexikon [<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/kumulierter-energieaufwand-kea-52378>, 09.11.2018]
- Hügi, Michael (2017): Kunststoffmengen im Hauskehricht, Kunststofftagung, Bern, 14.11.2017
- InnoRecycling AG (2016): Sammelsack News Februar 2016, In: Sammelsack [<https://www.sammelsack.ch/facts-figures/sammelsack-news>, abgerufen 16.11.2018].
- Ngeno, Sarafina; Scheidegger, Dominik; Parisi, Fabio; Egli, Quirin, Hofer, Ramon (2018), Kunststoffsammlung im unteren Fricktal, Semesterarbeit Energie und Umwelttechnik, FHNW, Windisch (unveröffentlicht)