

**Bericht**

# Ökologischer Nutzen des PET-Recyclings in der Schweiz

**Ökologischer Vergleich von PET-Selektivsammlung mit der Verwertung in einer KVA CH im 2020**

**Auftraggeber**

Jean-Claude Würmli, PRS

**Verfasser**

Thomas Kägi & Fredy Dinkel

Anzahl Seiten: 18  
Zürich, Februar 2022

## Impressum

**Titel**

Ökologischer Nutzen des PET-Recyclings in der Schweiz

**Auftraggeber**

Jean-Claude Würmli, PRS

**Auftragnehmer**

Carbotech AG, Basel

**Autoren**

Thomas Kägi & Fredy Dinkel

**Projektleitung/ Kontakt**

Thomas Kägi

+41 44 444 20 17

t.kaegi@carbotech.ch

**Hinweis**

Diese Studie wurde im Auftrag von PRS verfasst. Für den Inhalt ist ausschliesslich der Auftragnehmer verantwortlich

**Version**

1.11

**Datum**

Februar 2022

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>4</b>
<b>1 Ausgangslage und Zielsetzung</b>	<b>5</b>
<b>2 Methodik und Vorgehen</b>	<b>6</b>
2.1 Allgemeine Beschreibung der Ökobilanzierung	6
2.2 Vorgehen bei der Ökobilanzierung	6
2.3 Zielsetzung und Rahmenbedingungen	7
2.3.1 Zielsetzung	7
2.3.2 Funktionelle Einheit	8
2.3.3 Anwendung und Zielgruppe der Studie	8
2.3.4 Beschreibung PRS-System	8
2.3.5 Systemgrenze	9
2.4 Sachbilanz	10
2.4.1 Modellierung des Produktsystems	10
2.4.2 PET-Selektivsammlung mit stofflichem Recycling	10
2.4.3 Referenzszenario kein Recycling	11
2.4.4 Hintergrunddaten	11
2.5 Allokation	11
2.5.1 Entsorgung in KVA mit Energienutzung	11
2.5.2 Stoffliches Recycling	12
2.6 Wirkbilanz	13
2.7 Bewertung der Umweltbelastungen	13
<b>3 Resultate</b>	<b>15</b>
<b>4 Fazit</b>	<b>17</b>
<b>5 Literatur</b>	<b>18</b>

# Zusammenfassung

Seit der letzten Ökobilanzierung des PET-Recycling Schweiz (PRS) haben sich verschiedene Rahmenbedingungen verändert. So ist z.B. die Energienutzung in den KVA der Schweiz gestiegen, wie auch die PET-Sammelungsrate und der Anteil von R-PET, welcher in Flaschen eingesetzt wird. Aus diesen Gründen wurde die Ökobilanz mit aktuellen Daten neu berechnet mit dem Ziel, den jährlichen Umweltnutzen des PET-Recycling Systems im Vergleich zum Referenzszenario «kein Recycling, Verwertung in der KVA» für das Jahr 2020 auszuweisen. Als Indikatoren der Umweltauswirkungen wurde das Treibhauspotential (Klimabelastung) sowie die Gesamtumweltbelastung, gemessen in Umweltbelastungspunkten (UBP), verwendet.

Aufwandseitig trägt die Sammlung der PET-Flaschen wie auch die Aufbereitung zu Rezyklat am meisten bei. Es wird aber auch deutlich, dass der Umweltnutzen des Rezyklats, nämlich der Ersatz von Neumaterial, um ein Vielfaches grösser ist als der Recyclingaufwand.

Im Referenzsystem, in dem angenommen wurde, dass dieselbe Menge an Material komplett in einer KVA thermisch verwertet wird, sind die Umweltauswirkungen durch die Emissionen der Verbrennung etwas grösser als der energetische Nutzen, der sich aus dem Ersatz von Strom und Wärme ergibt.

Der eigentliche Nutzen des PRS-Systems ergibt sich aus der Differenz des PET-Recyclings und des Referenzsystems. Der Umweltnutzen des PET-Recycling Schweiz liegt mit 3.36 Mio. UPB resp. 2.65 t CO<sub>2</sub>eq. ähnlich hoch wie in früheren Studien und wesentlich höher als der von anderen Kunststoffsammlensystemen (Dinkel u. a., 2018). Es macht also weiterhin aus ökologischer Sicht Sinn, das jetzige PRS-System beizubehalten.

Der grösste Teil des Umweltnutzens stammt vom PET-Flaschenmaterial. 11 % des Umweltnutzens wird jedoch von Nebenprodukten generiert, die dank dem PRS-System ebenfalls einem stofflichen Recycling zugeführt werden (allen voran die PE-Deckel der PET-Flaschen).

Im Jahre 2020 konnte das PRS-System Einsparungen von 126'000 t CO<sub>2</sub>eq. erreichen, dies entspricht:

- knapp 0.3 % des gesamten Treibhausgas-Ausstosses in der Schweiz von 46 Mio. t CO<sub>2</sub>eq. im Jahre 2020
- knapp 9'500 Erdumrundungen mit einem Auto
- Einem Heizölverbrauch von rund 34 Mio. Litern: damit könnten ca. 26'000 Haushalte ein Jahr lang geheizt werden

**Tabelle 1: Resultate Umweltnutzen PRS-System**

	<b>2020</b>
Umweltnutzen in Mio. UPB / t Sammelware	3.36 ± 15%
Klimanutzen in t CO <sub>2</sub> eq. / t Sammelware	2.65 ± 10%
Umweltnutzen in Mia. UPB / a	160 ± 15%
Klimanutzen in t CO <sub>2</sub> eq. / a	126'000± 10%

# 1 Ausgangslage und Zielsetzung

In der Schweiz werden durch den Verein PET Recycling Schweiz (PRS) PET-Flaschen gesammelt und dem werkstofflichen Recycling zugeführt. Ein gewisser Teil des rezyklierten PET wird wieder in Getränkeflaschen eingesetzt, ein anderer Teil gelangt in andere Anwendungen und ersetzt dort ebenfalls primäres PET. Immer wieder taucht die Frage auf, wie hoch der Nutzen für die Umwelt ist, welcher durch die Aktivität der PRS generiert wird. Im Speziellen stellt sich die Frage, ob der Nutzen der gesammelten und stofflich verwerteten Flaschen wesentlich höher ist als die Belastung der Flaschen, wenn sie in einer KVA entsorgt würden.

Im Jahre 2008 wurde der Nutzen des PET Recyclings erstmals berechnet, indem die gesamten Umweltauswirkungen durch die Sammlung, Sortierung und Verwertung der PET Flaschen mit den Auswirkungen der Entsorgung in einer Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) mit Energiegewinnung und Neuproduktion von PET verglichen wurden (Dinkel & Hauser, 2008). Dabei wurde die Methode der Ökobilanzierung verwendet, welche die Umweltauswirkungen von der Rohstoffgewinnung bis zur Verwertung bzw. Entsorgung berücksichtigt. Diese Studie wurde im 2014 aktualisiert.

In der Zwischenzeit haben sich verschiedene Rahmenbedingungen verändert. So ist z.B. die Energienutzung in den KVA der Schweiz gestiegen, wie auch die PET-Sammlungsrate und der Anteil von R-PET, welcher in Flaschen eingesetzt wird. Aus diesen Gründen möchte PRS die bestehende Bilanz mit aktuellen Daten neu berechnen und den jährlichen Nutzen ausweisen lassen. Dabei interessiert vor allem der Vergleich der Auswirkungen aller innert eines Jahres in der Schweiz verkaufter PET-Getränkeflaschen, falls diese in einer KVA mit Energienutzung entsorgt würden, mit den Auswirkungen, die sich durch die Tätigkeit des Vereins PRS PET-Recycling Schweiz im selben Jahr ergeben. Als Indikatoren der Umweltauswirkungen werden das Treibhauspotential (Klimabelastung) sowie die Gesamtumweltbelastung, gemessen in Umweltbelastungspunkten (UBP), verwendet.

Die Carbotech AG wurde beauftragt, diese Fragen auf Basis der bereits erstellten Bilanzierung zu beantworten.

## 2 Methodik und Vorgehen

Heute besteht ein breiter wissenschaftlicher Konsens, dass die Ökobilanz die umfassendste und aussagekräftigste Methode ist, um die Umweltauswirkungen von Produkten und Systemen zu beurteilen. Daher wird diese Methode verwendet, um die Umweltauswirkungen der genannten Produkte zu eruieren.

### 2.1 Allgemeine Beschreibung der Ökobilanzierung

Die Ökobilanzierung respektive Lebenszyklusanalyse („Life Cycle Assessment“, LCA) ist eine Methode, um die Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten auf die Umwelt zu erfassen, zu beurteilen und daraus Optimierungspotentiale abzuleiten. Aufgrund der Komplexität der Natur und des globalen Wirtschaftssystems reicht es nicht, nur einzelne Problemstoffe oder lokale Auswirkungen zu betrachten. Aus dem Anspruch an eine umfassende Beurteilung ergeben sich die folgenden Anforderungen an die Methode:

- Möglichst umfassende Berücksichtigung der verschiedenen Umweltauswirkungen
- Berücksichtigung des gesamten Lebensweges
- Quantifizierung der Umweltauswirkungen
- Bewertung der verschiedenen Auswirkungen als Basis für Entscheidungen
- Wissenschaftlich abgestützt, um eine hohe Zuverlässigkeit und Akzeptanz zu erreichen

Die Ökobilanzierung ist diejenige Methode, welche heute diese Anforderungen am besten erfüllt. Die Ergebnisse der Ökobilanz können eingesetzt werden:

- zur Erfassung der relevanten Auswirkungen
- zur Ermittlung der wesentlichen Einflussfaktoren
- als Entscheidungshilfen bei verschiedenen Varianten
- in der strategischen Planung zur Ermittlung von Optimierungspotentialen
- zur Beurteilung von Massnahmen
- als Grundlage für Eco-Design
- zur Ableitung von Handlungsempfehlungen

Im Rahmen dieses Projektes stehen die Bestimmung der relevanten Auswirkungen, der Variantenentscheid sowie die strategische Planung im Vordergrund.

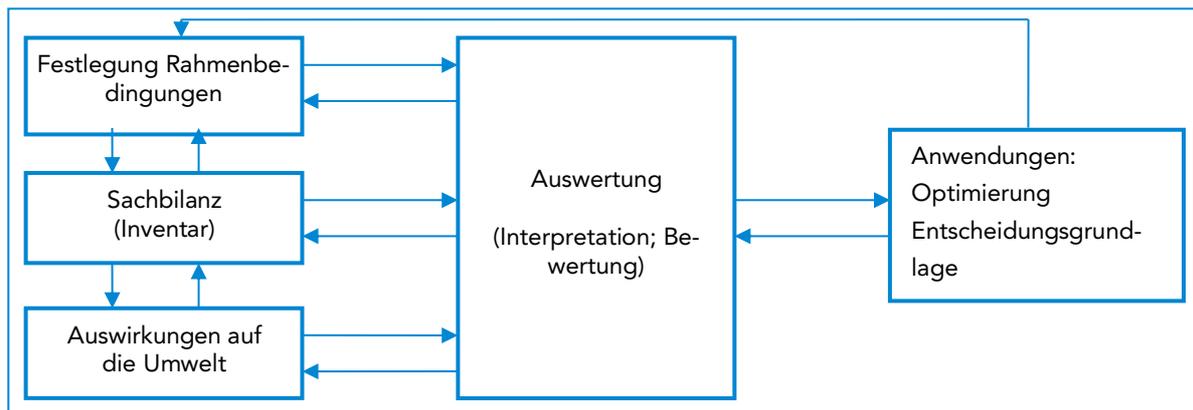
### 2.2 Vorgehen bei der Ökobilanzierung

Nachdem die Fragestellung und die zu untersuchenden Systeme definiert sind, werden die Waren-, Stoff- und Energieflüsse sowie der Ressourcenbedarf über den gesamten Lebensweg erfasst. Anschliessend werden die Auswirkungen auf die Umwelt mit Hilfe von gewählten Indikatoren, welche diese Wirkungen beschreiben, bestimmt. Mit dem Ziel, die Ergebnisse mit einer Kennzahl auszudrücken und damit die Auswertung zu ermöglichen oder zumindest zu erleichtern, kann eine Bewertung der verschiedenen Umweltauswirkungen durch eine entsprechende Gewichtung erfolgen.

Nach ISO 14'040/44 (ISO, 2006; ISO/TC, 2006) umfasst eine Ökobilanz die folgenden Schritte:

- Festlegen der Zielsetzungen und Systemgrenzen (Rahmenbedingungen)
- Erfassen der relevanten Stoff- und Energieströme sowie den Ressourcenbedarf (Sachbilanz)
- Bestimmen der Auswirkungen auf die Umwelt (Wirkbilanz)
- Interpretation der Umweltauswirkungen aufgrund der Zielsetzungen (Bewertung)
- Erarbeiten von Massnahmen (Optimierung)

Wie Abbildung 1 zeigt, ist dies kein linearer Prozess, sondern ein interaktiver Erkenntnis- und Optimierungsprozess.



**Abbildung 1: Schritte einer Ökobilanz nach ISO 14'040/44**

Die vorliegende Studie richtet sich in allen wesentlichen Punkten nach der Norm ISO 14'040; in einzelnen Punkten, wie der Verwendung von gesamttaggregierenden Methoden, weicht die vorliegende Studie aus den in Kapitel 2.7 aufgeführten Gründen von der Norm ab. Die Einhaltung der Norm würde verlangen, dass für vergleichende Ökobilanzen, welche für die Öffentlichkeit bestimmt sind, keine gesamttaggregierenden Methoden, welche die verschiedenen Umweltauswirkungen zu einer Kennzahl zusammenfassen, verwendet werden dürfen.

## 2.3 Zielsetzung und Rahmenbedingungen

Die Definition der zu untersuchenden und vergleichenden Systeme hängt von der Zielsetzung bzw. Fragestellung ab. Daraus ergeben sich unterschiedliche Rahmenbedingungen und Systemgrenzen. Die Systemgrenzen definieren, welche Prozesse und vorgelagerten Prozesse berücksichtigt werden. Dabei werden etwa der zeitliche Rahmen der verwendeten Daten sowie die zu untersuchenden Umweltauswirkungen festgelegt.

### 2.3.1 Zielsetzung

Mit dieser Ökobilanz soll die Frage beantwortet werden:

«Wie hoch ist der ökologische Nutzen des PET-Recycling-Schweiz Systems?»

Insbesondere sollen folgende Ziele verfolgt werden:

- Analyse der Umweltwirkungen des Recycling-Systems.
- Berechnung des ökologischen Nutzens des PRS Systems im Vergleich zum Referenzszenario «kein Recycling».

Die Beantwortung dieser Fragestellung kann des Weiteren auch für Optimierungen oder für die strategische Ausrichtung verwendet werden.

### **2.3.2 Funktionelle Einheit**

Vergleicht man ein Produkt mit Alternativen, müssen diese denselben Nutzen erbringen bzw. dieselbe Funktion erfüllen. Die Grösse, auf welche sich der Vergleich bezieht, wird als funktionelle Einheit bezeichnet.

Als funktionelle Einheit in dieser Studie wird eine Tonne gesammelte PET-Flaschen definiert.

### **2.3.3 Anwendung und Zielgruppe der Studie**

Die Studie richtet sich in erster Linie an den Auftraggeber und die interessierte Öffentlichkeit.

### **2.3.4 Beschreibung PRS-System**

#### **Sammlung**

Das PRS-System fokussiert auf die Sammlung von Getränkeflaschen aus PET. Getränkeflaschen aus anderen Materialien oder andere Verpackungen aus PET sind nicht teil des Sammelsystems. Die Flaschen werden bei Firmen, an Verkaufsstellen, öffentlichen Plätzen oder bei Veranstaltungen in PET-Sammelbehältern und PET-Säcken gesammelt. Insgesamt betreibt PRS ein Sammelstellennetz mit mehr als 50'000 Sammelstellen in der ganzen Schweiz. Die vollen Säcke werden dann von Logistikpartnern abgeholt und teilweise via Umschlagzentren an die Sortierer geliefert. Der grösste Teil der Sammlungslogistik erfolgt mit LKWs.

#### **Sortierung**

Bei der Sortierung wird die angelieferte Sammelware zunächst auf Fremdstoffe analysiert. Mittels Metallabscheidern werden die metallischen Verunreinigungen aus dem Sammelgut entfernt. Danach wird mittels elektronischer Sortierung (Laser- und Nahinfrarot-Sensoren) das Sammelgut nach Farben und Materialien sortiert. Durch die manuelle Nachsortierung werden die letzten Fehlsortierungen ausgemerzt. Die Reinheit des sortierten Materials beträgt danach über 99.9%. Zum Schluss werden die sortierten Flaschen zu Ballen gepresst für eine effizientere Lieferung zur Regranulat (R-Granulat)-Herstellung

#### **Aufbereitung zu (lebensmitteltauglichem) Granulat**

Die sortierte PET-Getränkeflaschen werden zu den R-Granulat-produzierenden Betrieben transportiert. Die nach Farbe und Qualität sortierte Lieferware werden von den R-Granulat-produzierenden Betrieben vor Beginn des Aufbereitungsprozesses kontrolliert. Es erfolgt nochmals eine Entfernung von metallischen Fremdstoffen mittels Metallabscheider. Danach wird das Sortiergut zu Flakes zerkleinert und heiss gewaschen. Im Schwimm-Sink-Verfahren wird das PE-Material (Deckel) vom PET-Material (Flaschen) getrennt. Während das PE-Material gesammelt und ins PE-Recycling weitergeliefert wird, wird das PET-Material anschliessend mit Natronlauge behandelt. Es erfolgt eine weitere Oberflächenreinigung und Vakuumbehandlung mit abschliessender Nachwäsche und Trocknung.

Bei lebensmitteltauglichem R-Granulat kann alternativ eine Schmelzfiltrierung und anschliessende Granulierung bei hohen Temperaturen und im Hochvakuum angewandt werden, mit der kleinste Verunreinigungen entfernt werden können. In der Nachkondensation (solid state polymerisation) wird das R-Granulat mehrere

Stunden erhitzt, so dass flüchtige Bestandteile freigesetzt und entfernt werden. Gleichzeitig können in diesem Prozessschritt die technischen Eigenschaften des R-Granulats feinjustiert werden.

### **Einsatz in Flaschen**

Das lebensmitteltaugliche R-Granulat kann analog zum Neu-Granulat als Rohstoff für die Flaschenherstellung eingesetzt werden. Normalerweise wird das PET-Granulat zuerst vorgetrocknet und dann in einer Spritzgiessmaschine zunächst zu Flaschenrohlingen (Preforms) gespritzt. In einem zweiten Schritt werden diese dann mittels Streckblasverfahren zur Flasche geformt.

## **2.3.5 Systemgrenze**

Die vorliegende Ökobilanz betrachtet die ökologischen Auswirkungen und Einsparungen „von der Wiege bis zur Bahre“, wobei in dieser Studie der Ausgangspunkt die gebrauchte PET Flasche ist. Somit beginnt der Lebensweg bei der Sammlung der PET-Flaschen, geht über die Sortierung und Aufbereitung zu R-Granulat bis zu deren Ersatz von neuem R-Granulat für Anwendungen.

Entsprechend des Ökobilanz-Ansatzes werden soweit möglich alle umweltrelevanten Prozesse innerhalb der Systemgrenze erfasst und bewertet.

Die Herstellung und Nutzungsphase der PET-Flaschen wurde nicht berücksichtigt, da diese Prozesse für die Nutzenberechnung sowohl fürs PRS-System wie auch fürs Referenzsystem identisch und für den Vergleich somit nicht relevant sind.

Die Systemgrenze der vorliegenden Studie umfasst damit im Wesentlichen die folgenden als relevant betrachteten Stoff- und Energieflüsse der nachfolgenden Prozesse und Dienstleistungen (siehe Abbildung 2):

- Bereitstellung der Hilfsstoffe und Herstellung R-PET Granulat
- Herstellung des neuen PET Granulates, das ersetzt wird
- Entsorgung in einer KVA mit Energiegewinnung für das Referenzszenario
- Transporte von Rohstoffen, Hilfsstoffen und Sammelware
- Abfälle entlang der Produktionsketten, aus der Bereitstellung Hilfsstoffe und Energie
- Bereitstellung Wärmeenergie und elektrische Energie, Energieträger wie Erdöl, Erdgas, Kohle, etc. für die involvierten Prozesse

Für alle diese Prozesse werden die Auswirkungen durch Emissionen in Boden, Luft und Wasser sowie der Ressourcenbedarf (z.B. energetische Ressourcen oder Landnutzung) berücksichtigt.

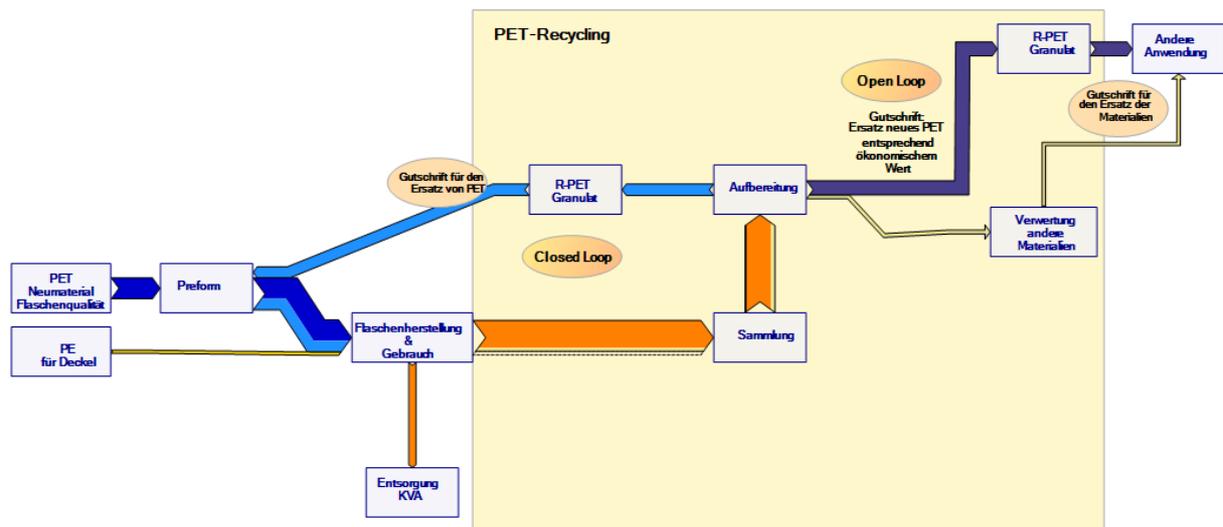


Abbildung 2: Schematische Darstellung der berücksichtigten Prozesse des PET-REcyclings. Die Herstellung und Nutzungsphase der PET-Flaschen wurde nicht berücksichtigt, da diese Prozesse für die Nutzenberechnung sowohl fürs PRS-System wie auch fürs Referenzsystem identisch sind und für den Vergleich somit nicht relevant sind. Im Referenzsystem «kein Recycling» entfallen die Prozesse des PET-Recyclings und 100% der Flaschen gehen in die KVA.

## 2.4 Sachbilanz

### 2.4.1 Modellierung des Produktsystems

In der Sachbilanz wird ein Modell für das zu bilanzierende System entworfen und es werden die Energie- und Stoffflüsse der damit verbundenen Prozesse erfasst. Diese umfassen:

- Die Beziehungen eines Prozesses mit anderen Prozessen der Technosphäre, wie z. B. Menge an benötigten Rohmaterialien, Hilfsstoffen, Energiebedarf, Transporte oder Verwertungs- beziehungsweise Entsorgungssysteme.
- Die Beziehungen eines Prozesses mit seiner natürlichen Umwelt der Ökosphäre, wie z. B. Bedarf an Ressourcen (fossile Energieträger, Landressourcen etc.) und Emissionen, wie z. B. CO<sub>2</sub>, VOC, Methan, Stickoxide u. a.

Die Sachbilanz wurde mit der Ökobilanz-Software SimaPro Versio 9 (PRé Consultants, 2020) berechnet und als Basis für die Wirkbilanz verwendet.

### 2.4.2 PET-Selektivsammlung mit stofflichem Recycling

Daten zur Selektivsammlung und Aufwände des stofflichen Recyclings von PET wurden von den involvierten Akteuren für 2020 neu erhoben. Aus Vertraulichkeitsgründen sind keine detaillierten Daten dargestellt.

#### Sammlung

Für jeden Logistikschritt stellte PRS folgende Daten zur Verfügung: Wieviel Sammelware (Menge) wurde auf welche Weise (lose, als Ballen) und mit welchem Transportmittel (LKW-Typ bezüglich Grösse und EURO-Norm, Bahn) über welche Distanz (km) befördert.

### **Sortierung**

Die angelieferte Sammelware wird in verschiedenen Sortiercentern sortiert. Angaben für den Sortieraufwand wurden von den involvierten Sortiercentern abgefragt.

### **Aufbereitung**

Die angelieferte sortierte Sammelware wird in verschiedenen Aufbereitungsstandorten zu PET-Rezyklat verarbeitet. Angaben für den Aufbereitungsaufwand wurden von den involvierten Regranulat-produzierenden Betrieben abgefragt.

## **2.4.3 Referenzszenario kein Recycling**

### **Herstellung von primärem PET und verwendete Hintergrunddaten**

Sowohl für die Herstellung von primärem PET-Granulat wie auch für sämtliche Hintergrunddaten (vorgelagerte Prozesse, Emissionsfaktoren etc.) wurden die entsprechenden Inventare der Ökobilanzinventar-Datenbank ecoinvent v3.7.1 (ecoinvent, 2020) verwendet.

### **PET-Verwertung in einer durchschnittlichen Schweizerischen KVA**

Für die Verbrennung von PET in einer durchschnittlichen KVA wurden die in der KVA für PET spezifischen Emissionen sowie der Infrastruktur und Ressourcenbedarf mit den entsprechenden ecoinvent v3.7.1 Inventaren abgebildet. Zusätzlich wurde der durchschnittliche Strom- und Wärmenutzungsgrad der Schweizerischen KVAs berücksichtigt. Gemäss Rytec (2021) wurde aus dem eingehenden Energiegehalt im 2020 durchschnittlich 13.7 % Strom und 29.1 % Wärme bereitgestellt und genutzt. Dabei wurde angenommen, dass der KVA-Strom Europäischen Importstrom, angenähert mit dem UCTE-Mix, ersetzt und die KVA-Nutzwärme Heizwärme aus Erdöl (50%) und Erdgas (50%) ersetzt.

## **2.4.4 Hintergrunddaten**

Die Vordergrunddaten wurden mit den Hintergrunddaten der Ökoinventardatenbank ecoinvent V3.7.1 verknüpft. Die Verwendung von ecoinvent Hintergrunddaten hat in der Praxis und in wissenschaftlichen Kreisen eine hohe Akzeptanz.

## **2.5 Allokation**

Die Modellierung der betrachteten Systeme erfordert an verschiedenen Stellen die Anwendung so genannter Allokationsregeln (Zuordnungsregeln). Die Frage der Allokation stellt sich dann, wenn ein System neben dem eigentlichen, über die funktionelle Einheit abgebildeten Nutzen, weitere Zusatznutzen erbringt. Dies ist der Fall, wenn das untersuchte Produktsystem Energie- und Materialflüsse für andere Produktsysteme bereitstellt oder Abfälle verwertet. In dieser Studie wurde je nach Fragestellung und Datenbasis das adäquate Allokationsverfahren durchgeführt. Die wichtigsten Stellen, an denen eine Allokation vorgenommen wurde, werden im Folgenden kurz beschrieben.

### **2.5.1 Entsorgung in KVA mit Energienutzung**

Wird zum Beispiel eine PET-Flasche in einer Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) entsorgt, wird neben der eigentlichen Entsorgungsdienstleistung heutzutage auch Strom und Fernwärme produziert. Je nach KVA fallen diese Nebenprodukte der Entsorgung unterschiedlich aus. Im schweizerischen Durchschnitt generieren die KVAs pro verbranntes Megajoule (MJ, unterer Heizwert) 13.7 % Strom und 29.1 % Wärme (Chrenko & Kiener, Rytec AG, 2021). Diese zusätzlich generierten Energieformen ersetzen die Energieträger UCTE-

Strom-Mix (als Approximation für den Grenzstrom-Mix<sup>1</sup>), respektive Wärme produziert aus Erdgas oder Heizöl. In dieser Studie wurde auf der Basis der Energiestatistik des Bundesamtes für Energie (BfE, 2021) ein Verhältnis von Erdgas und Heizöl am Schweizer Wärmebedarf von rund 0.50 zu 0.50 verwendet.

## 2.5.2 Stoffliches Recycling

Im Folgenden wird zuerst auf den Unterschied zwischen closed loop und open loop eingegangen. Danach wird der Substitutionsansatz für die stoffliche Verwertung beschrieben.

### Stoffflüsse – closed loop oder open loop?

In der Ökobilanzierung wird zwischen den folgenden zwei Arten von werkstofflichem Recycling unterschieden: «closed loop» und «open loop» Recycling. Nach ISO 14'040 kennzeichnen sie sich wie folgt (ISO 2006b):

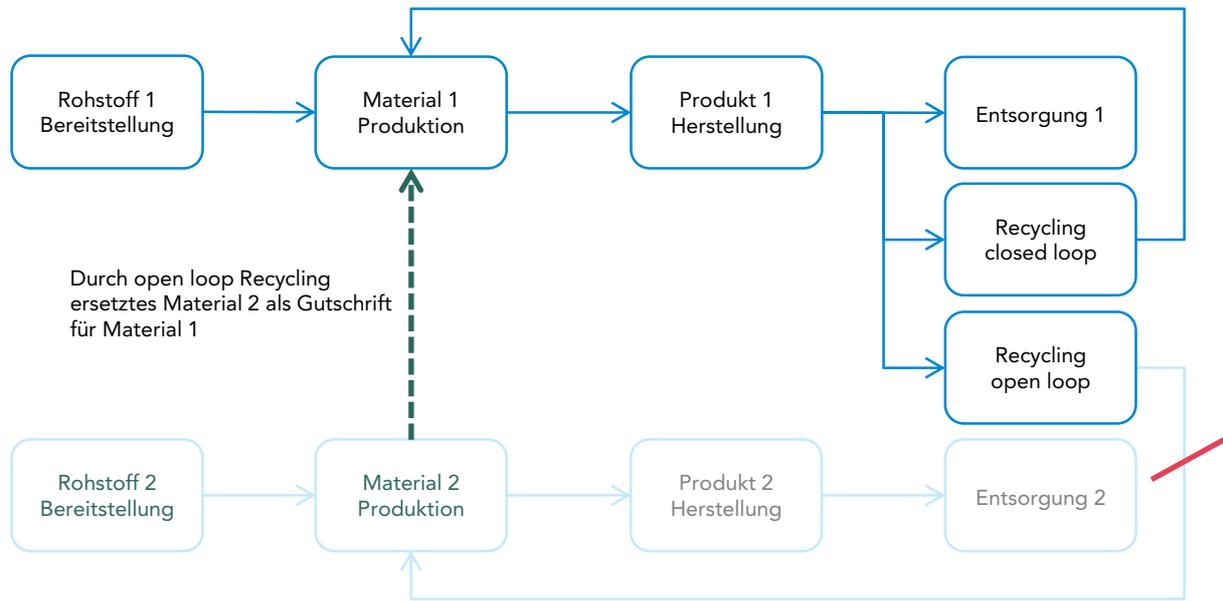
- Geschlossener Kreislauf (closed loop)  
Bei diesem Kreislauf können aus Rezyklat wieder Produkte in gleicher Qualität hergestellt werden. Das Rezyklat ersetzt neues Material zu 100%. Im Rahmen der Ökobilanzierung ist bei diesem Ansatz nicht wesentlich, dass dasselbe Produkt hergestellt wird, sondern ob das rezyklierte Material dieselben inhärenten Materialeigenschaften wie das ursprüngliche Material besitzt und damit Produkte von gleicher Qualität hergestellt werden können, siehe dazu auch z. B. ISO 14'040.
- Offener Kreislauf (open loop)  
Bei diesem Kreislauf wird das Rezyklat einer anderen stofflichen Verwertung zugeführt, wobei das Material veränderte Eigenschaften hat. Falls die Qualität des Rezyklats nicht die gleichen Anforderungen wie das Neumaterial erfüllt, kann es wegen der eingeschränkten Verwendung nicht 100 % des Neumaterials ersetzen. Es ist daher notwendig, eine Korrektur zur Abbildung des Minderwertes vorzunehmen. Als Erfahrungswert wurde in dieser Studie deshalb mit einem Ersatzpotential von 0.9 gerechnet. Für minderwertiges PET-Material (PET Siebmaterial), welches ebenfalls einem stofflichen Recycling zugeführt wird, wurde noch mit einem Ersatzpotential von 0.5 gerechnet (angelehnt an die CFF Default Parameters 2018).

### Allokationsansätze fürs Recycling: Substitutionsprinzip (Recyclability substitution approach, ILCD 2010)

Die Festlegung von Allokationsfaktoren lässt sich nicht alleine mit wissenschaftlichen Erwägungen begründen, sondern stellt eine Konvention dar, in die auch Werthaltungen einfließen. Verschiedene, in der Literatur anzutreffende Allokationssätze sind denkbar, wenn es um die Abbildung von Recyclingsystemen geht. Wir vertreten die Meinung, dass das Substitutionsprinzip am besten geeignet ist, um den Nutzen von Recyclingsystemen adäquat mitzuberechnen. Beim Substitutionsprinzip erfolgt eine Systemerweiterung, in dem einerseits die Recyclingaufwände mitberücksichtigt werden und andererseits eine Gutschrift für den Ersatz von primärem Material gegeben wird. Falls es sich um ein Downcycling handelt, wird die Gutschrift noch mit einem Faktor, welcher das qualitative Werteverhältnis zwischen Neu- und Recyclingmaterial wiedergibt, korrigiert.

---

<sup>1</sup> Als Grenzstrom wird diejenige Art der Strombereitstellung verstanden, die bei einem zusätzlichen Bedarf an Strom eingesetzt würde, bzw. der Kraftwerkspark der abgeschaltet würde bei einer Reduktion der Nachfrage nach Elektrizität. Da die Schweiz einen Stromhandel mit Europa betreibt, wird als Annäherung für den Grenzstrom-Mix hier der Europäische Strom-Mix UCTE verwendet.



**Abbildung 3: Substitutionsprinzip beim Recycling**

## 2.6 Wirkbilanz

In diesem Schritt wird die Sachbilanz bezüglich der Auswirkungen auf die Umwelt bewertet. Die Berechnung der Wirkbilanz beinhaltet die folgenden zwei Teilschritte:

- Klassifizierung (Einteilung der Stoffe aus der Sachbilanz bezüglich ihrer Auswirkungen)
- Charakterisierung (Berechnung der Auswirkungen auf die Umwelt)

Dabei werden die einzelnen Substanzen entsprechend ihres Schädigungspotenzials bezüglich einer Leitsubstanz gegeneinander gewichtet. Daraus ergeben sich die Schädigungspotenziale bezüglich einer bestimmten Umweltauswirkung. Beim Treibhauspotential wird CO<sub>2</sub> als Leitsubstanz verwendet und Beiträge von weiteren Treibhausgasen wie Methan und Lachgas in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten umgerechnet.

Auf Ebene Umweltwirkungen wird auf Wunsch des Auftraggebers nur das Treibhauspotential gemäss IPCC 2021, GWP 100a (IPCC, 2021) ausgewiesen.

## 2.7 Bewertung der Umweltbelastungen

Beim Resultat der Wirkbilanz handelt es sich um eine Zusammenstellung von verschiedenen Indikatoren, welche jeweils einen Aspekt der Umweltauswirkungen beschreiben. Um eine fundierte Entscheidungsbasis zu erhalten, können die verschiedenen Auswirkungen gewichtet und zu einer Kennzahl zusammengefasst werden. Die Gewichtung verschiedener Umweltauswirkungen ist ein Prozess, in welchen Werthaltungen einfließen und welcher deshalb für eine hohe Akzeptanz möglichst breit abgestützt wird.

Im Rahmen dieser Studie wurden die Methode der ökologischen Knappheit 2021 (Frischknecht u. a., 2021) verwendet. Die Bewertung mittels der Methode der ökologischen Knappheit wurde unter Mitarbeit des Bundesamts für Umwelt entwickelt und ist in der Schweiz etabliert. Diese Methode wurde gewählt, weil sie für die Bewertung die Umweltsituation wie auch die Umweltziele der Schweiz berücksichtigt (vgl. Abbildung 4)

und somit bezüglich Werthaltung breit abgestützt ist. Bezüglich der Verwendung der gesamtaggrierenden Methoden weicht die vorliegende Studie von der ISO Norm 14'040 ab<sup>2</sup>.

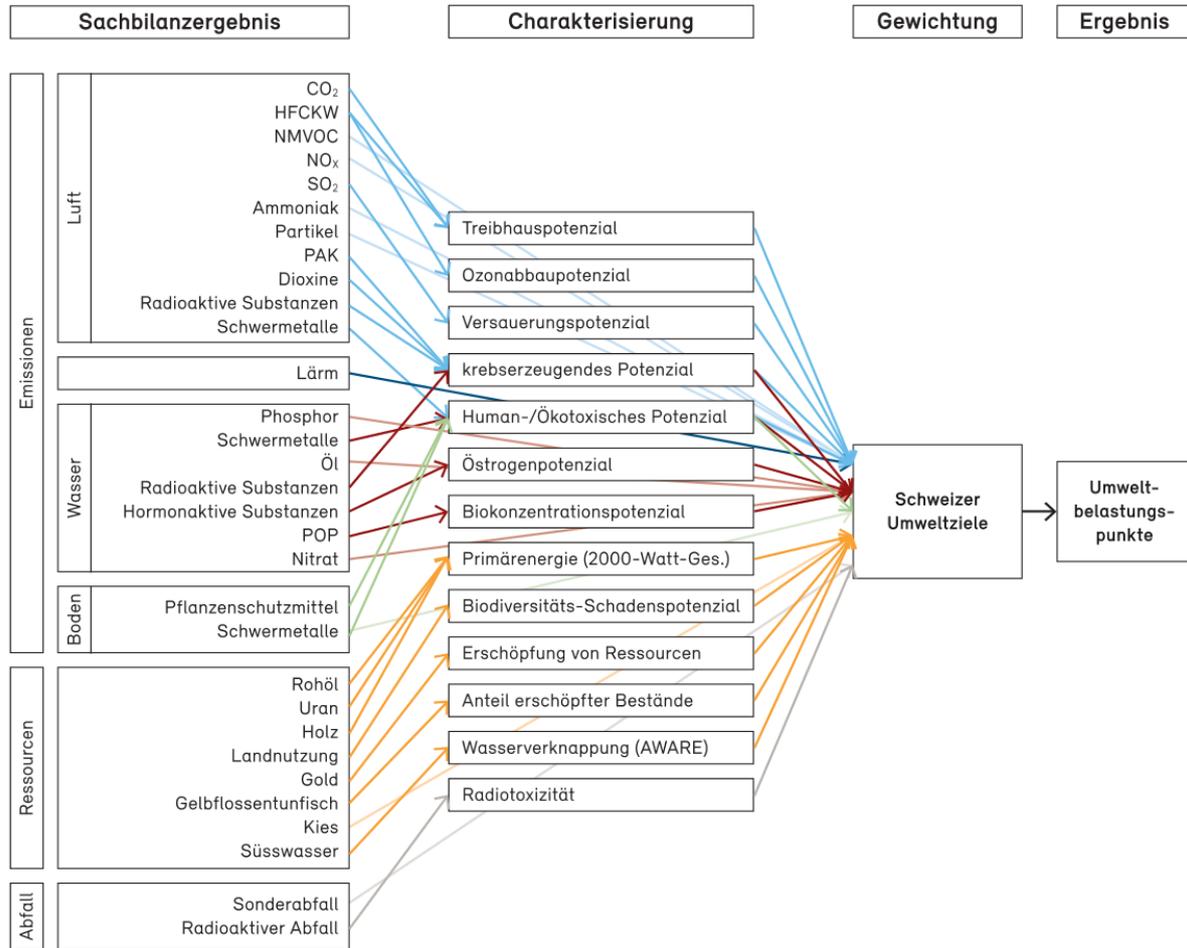


Abbildung 4: Grundschemata der Methode der ökologischen Knappheit (Grafik aus (Frischknecht u. a., 2021))

<sup>2</sup> Da die Bewertung der verschiedenen Umweltauswirkungen von Wertmassstäben abhängig ist, werden diese gesamtaggrierenden Methoden teilweise abgelehnt. Dabei ist zu beachten, dass auch eine Auswahl der Umweltauswirkungen subjektiv ist. Falls nur ein Teil der Auswirkungen, z. B. nur der CO<sub>2</sub>-Fussabdruck betrachtet wird, kommt dies einer Gewichtung der anderen Auswirkungen mit Null gleich. Die Betrachtung der einzelnen Wirkkategorien kann durchaus hilfreich sein, z. B. zur Ermittlung der Ursachen von spezifischen Auswirkungen und Erarbeitung von möglichen Optimierungspotentialen. Als Entscheidungsgrundlage oder für die Betrachtung der gesamten Umweltauswirkungen dürfen jedoch nicht einzelne Umweltaspekte ausgeklammert werden. Dafür sind gesamt aggregierende Bewertungsmethoden nicht nur hilfreich sondern notwendig (Kägi u. a., 2016) um die Aussagekraft der Resultate abzusichern.

# 3 Resultate

## Prozessbeiträge zum Nutzen

Aufwandseitig trägt die Sammlung der PET-Flaschen wie auch die Aufbereitung zu Rezyklat am meisten bei. Es wird aber auch deutlich, dass der Nutzen des Rezyklats, nämlich der Ersatz von Neumaterial, um ein Vielfaches grösser ist als der Recyclingaufwand.

Im Referenzsystem, in dem angenommen wurde, dass dieselbe Menge an Material komplett in einer KVA thermisch verwertet wird, sind die Umweltauswirkungen durch die Emissionen der Verbrennung etwas grösser als der energetische Nutzen, der sich aus dem Ersatz von Strom und Wärme ergibt.

Der eigentliche Nutzen des PRS-Systems ergibt sich aus der Differenz des PET-Recyclings und des Referenzsystems. Der Nutzen liegt bei rund 3.36 Mio. UBP pro Tonne Sammelware respektive bei 2.65 t CO<sub>2</sub>eq. pro Tonne Sammelware. 89 % des Umweltnutzens wird durch das PET-Material erzeugt. Beim CO<sub>2</sub>-Fussabdruck stammen rund 86 % vom PET-Material.

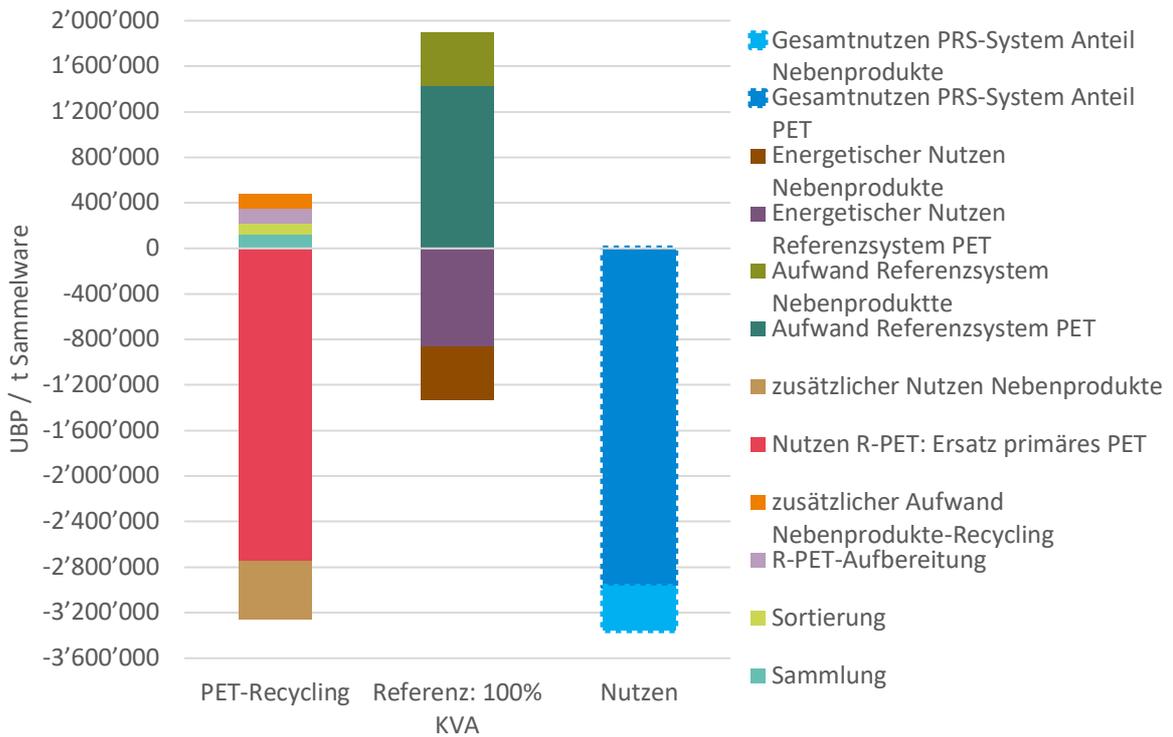
## Jährlicher Umweltnutzen

Pro Jahr generiert das PRS-System einen Umweltnutzen von rund 160 Mia. UBP respektive rund 126'000 t CO<sub>2</sub>eq.

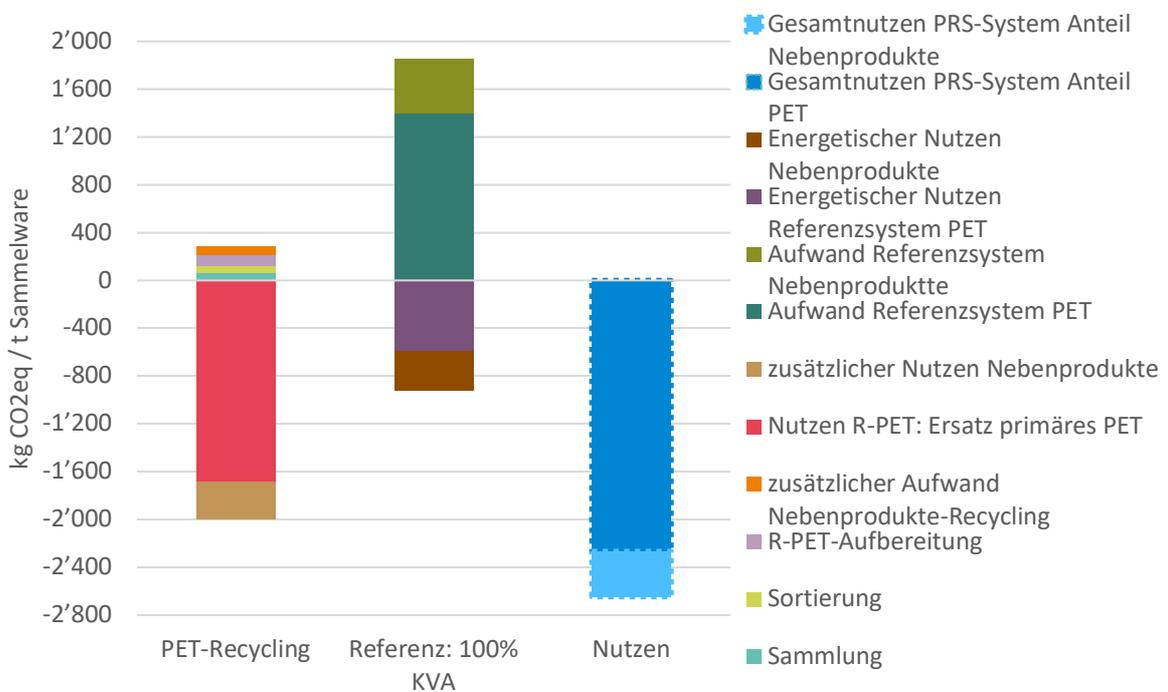
## Vergleich mit früherer Studie

Im Vergleich zur früheren Studie (Dinkel & Hauser, 2008) hat sich die gesammelte PET-Flaschenmenge merklich erhöht von rund 38'100 t im 2008 auf 47'600 t im 2020 (+20 %). Gleichzeitig hat sich auch der Anteil des R-Granulats, welcher wieder in Flaschen eingesetzt werden kann, von rund 30 % auf 47 % erhöht. Im selben Zeitraum hat sich zusätzlich die Energieeffizienz der durchschnittlichen KVA (Referenzszenario) erhöht von 11.4 % auf 13.7 % bei Strom und 23.4 % zu 29.1 % bei Wärme.

Der Umweltnutzen berechnet mit der Methode der Ökologischen Knappheit 2021 (MöK2021) ist nicht mehr vergleichbar mit älteren Studien berechnet mit MöK2013 oder MöK2006. Bezüglich des CO<sub>2</sub>-Fussabdrucks liegt der Nutzen des PRS-Systems im 2020 bei 126'000 t CO<sub>2</sub>eq. (2.65 t CO<sub>2</sub>eq pro Tonne Sammelware) im Vergleich zu 112'500 t CO<sub>2</sub>eq. im 2008 (2.95 t CO<sub>2</sub>eq pro Tonne Sammelware). Der höhere Gesamtnutzen ergibt sich durch die höhere Sammelmenge. Der tiefere Nutzen pro t Sammelware lässt sich dadurch erklären, dass das Referenzszenario höhere Gutschriften für die Energiebereitstellung erhält und auch dadurch, dass der CO<sub>2</sub>-Fussabdruck der Primär-PET-Herstellung heutzutage wesentlich tiefer ausfällt als noch vor 15 Jahren und somit ist auch die Gutschrift für den Ersatz von Primärmaterial kleiner als früher.



**Abbildung 5: Vergleich des Umweltfussabdrucks des PRS-Systems 2020 mit dem Referenzszenario «kein Recycling» gemäss der Methode der ökologischen Knappheit 2021**



**Abbildung 6: Vergleich des CO<sub>2</sub>-Fussabdrucks des PRS-Systems 2020 mit dem Referenzszenario «kein Recycling» gemäss IPCC 2021, GWP 100a**

---

**Tabelle 2: Resultate Umweltnutzen PRS-System**

	<b>2020</b>
Umweltnutzen in Mio. UBP / t Sammelware	3.36 ± 15%
Klimanutzen in t CO <sub>2</sub> eq. / t Sammelware	2.65 ± 10%
Umweltnutzen in Mia. UBP / a	160 ± 15%
Klimanutzen in t CO <sub>2</sub> eq. / a	126'000± 10%

## 4 Fazit

Der Umweltnutzen des PET-Recycling Schweiz liegt bei 3.36 Mio. UBP resp. 2.65 t CO<sub>2</sub>eq. pro Tonne Sammelware. Dieser Nutzen ist wesentlich höher als der von anderen Kunststoffsammlsystemen (Dinkel u. a., 2018). Es macht also weiterhin aus ökologischer Sicht Sinn, das jetzige PRS-System beizubehalten.

Der grösste Teil des Umweltnutzens stammt vom PET-Flaschenmaterial. 11 % des Umweltnutzens wird jedoch von Nebenprodukten generiert, die dank dem PRS-System ebenfalls einem stofflichen Recycling zugeführt werden (allen voran die PE-Deckel der PET-Flaschen).

Im Jahr 2020 konnte das PRS-System Einsparungen von 126'000 t CO<sub>2</sub>eq erreichen, dies entspricht<sup>3</sup>:

- knapp 0.3 % des gesamten Treibhausgas-Ausstosses in der Schweiz von 46 Mio. t CO<sub>2</sub>eq. im Jahre 2020
- knapp 9'500 Erdumrundungen mit einem Auto
- Einem Heizölverbrauch von rund 34 Mio. Litern: damit könnten ca. 26'000 Haushalte ein Jahr lang geheizt werden

---

<sup>3</sup> Für eine weitere Veranschaulichung der Bedeutung von CO<sub>2</sub>-Emissionen siehe <https://carbotech.ch/projekte/die-bedeutung-von-1-kg-co2eq-emissionen>

## 5 Literatur

BfE. (2021). Schweizerische Gesamt Energiestatistik 2020. Bundesamt für Energie (BfE), Bern.

Chrenko, R., & Kiener, Ryttec AG, M. (2021). *Einheitliche Heizwert- und Energiekennzahlenberechnung der Schweizer KVA nach europäischem Standardverfahren, Resultate 2020*. Münsingen: Bundesamt für Energie BFE.

Dinkel, F., Bunge, R., Kägi, T., Pohl, T., & Stäubli, A. (2018). *KuRVe (Kunststoff Recycling und Verwertung) Ökonomisch-ökologische Analyse von Sammel- und Verwertungssystemen von Kunststoffen aus Haushalten in der Schweiz*. Bern: BAFU.

Dinkel, F., & Hauser, A. (2008). *Ökologischer Nutzen des PET-Recycling Schweiz*. Im Auftrag von PET Recycling Schweiz. Abgerufen von [http://carbotech.ch/cms2/wp-content/uploads/Carbotech\\_LCA\\_PET-RE-cycling-Schweiz.pdf](http://carbotech.ch/cms2/wp-content/uploads/Carbotech_LCA_PET-RE-cycling-Schweiz.pdf)

ecoinvent. (2020). *ecoinvent 2020: Version 3.7.1*. Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

Frischknecht, R., Dinkel, F., Braunschweig, A., Ahmadi, M., Kägi, T., Krebs, L., u. a. (2021). *Ökofaktoren Schweiz 2021 gemäss der Methode der Ökologischen Knappheit - Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz* (S. 260). Bern: Bundesamt für Umwelt.

IPCC. (2021). *Climate Change 2021, The Physical Science Basis - Summary for Policymakers*. Abgerufen von <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

ISO. (2006). *ISO 14040:2006 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*. Geneva.

ISO/TC. (2006). *Environmental management–Life cycle assessment–Principles and framework*. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.

Kägi, T., Dinkel, F., Frischknecht, R., Humbert, S., Lindberg, J., De Mester, S., u. a. (2016). Session “Midpoint, endpoint or single score for decision-making?”—SETAC Europe 25th Annual Meeting, May 5th, 2015. Conference Session Report. *Int J Life Cycle Assess*, 21(1), 129–132. <http://doi.org/10.1007/s11367-015-0998-0>

PRé Consultants. (2020). SimaPro 9.1.1 (Version 9.1.1). PRé Consultants.