

Carbotech AG
Eulerstrasse 68
CH-4051 Basel
T +41 61 206 95 25
F +41 61 206 95 26
www.carbotech.ch



Bericht

Ökologischer Nutzen des PET- Recycling Schweiz

Verfasser

Dr. Fredy Dinkel (Projektleitung)
Andrea Hauser

Im Auftrag von PET Recycling Schweiz, Zürich
282.07
Basel, im Oktober 2008

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	i
1 Einleitung	1
2 Auftrag und Ziele	2
3 Vorgehen und Methodik	3
3.1 Allgemeine Beschreibung der Ökobilanz	4
3.1.1 Methodik der Ökobilanzierung	4
3.1.2 Vorgehen bei der Ökobilanzierung	4
3.2 Zielsetzung und Rahmenbedingungen	5
3.2.1 Fragestellungen	6
3.2.2 Vergleichbasis, die "Funktionelle Einheit"	6
3.2.3 Systemgrenzen	6
3.3 Sachbilanz	8
3.4 Bestimmung der Umweltauswirkungen (Wirkungsbilanz)	9
3.5 Bewertung der Umweltbelastungen	10
3.5.1 Methode Ökologische Knappheit 2006 ("Umweltbelastungspunkte" - UBP)	10
3.5.2 Eco-Indicator '99 HA	10
3.6 Grenzen der vorliegenden Untersuchung	11
3.6.1 Inhaltlich	11
3.6.2 Methodisch	11
3.7 Unsicherheit und Signifikanz	12
4 Ergebnisse	13
4.1 Szenarien und Sensitivitätsanalysen	13
4.2 Ergebnisse des Standardszenarios	14
4.2.1 Detailanalyse der Herstellung von R-PET Flakes/Granulat	16
4.2.2 Fazit Standardszenario	16
4.3 Ergebnisse der Variationen	17
4.3.1 Zukunftsszenarien, bessere Verwertungsquote und höherer Rezyklatanteil in der Flasche	17
4.3.2 Nutzen des PET-Recyclings: Vergleich zwischen offenem und geschlossenem Kreislauf	20
4.3.3 Sensitivität der ökonomischen Gutschrift	22
4.3.4 Energienutzungs-Szenario	23
5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen	26
6 Literatur	28
Bericht zur kritischen Prüfung	29
Anhang 1: Vereinfachtes Modell der Logistik	1

Zusammenfassung

Nachdem der Konsum von Getränken in PET-Flaschen in den 80er Jahren stark gewachsen ist, wurde 1990 die PET Recycling Schweiz (PRS) gegründet. Dabei handelt es sich um eine Branchenlösung auf freiwilliger Basis, welche gesamtschweizerisch um die Sammlung und das Recycling von PET-Flaschen besorgt ist. Diese Anstrengungen der Industrie erfolgen auf dem Hintergrund der Verordnung über Verpackungen, welche mit dem Ziel, die Umweltauswirkungen durch den Einsatz von Getränkeverpackungen zu reduzieren, eine Recyclingquote von 75% fordert. In den fast 20 Jahren konnte ein breites Entsorgungsnetz aufgebaut und damit im Jahre 2007 eine Verwertungsquote von 78% erreicht werden. Um abzuklären, ob sich dieser Einsatz gelohnt hat, sollte in dieser Studie der Nutzen des PET-Recyclingsystems abgeklärt und mögliche Optimierungspotentiale aufgezeigt werden. Zudem stellt sich die Frage, ob sich der gesamte Aufwand der PRS lohnt oder ob es ökologisch nicht sinnvoller ist die PET-Flaschen in der Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) zu entsorgen. Damit könnte der Aufwand der Separatsammlung vermieden werden und zudem nützliche Energie in Form von Strom und Fernwärme bereitgestellt werden.

Um den gesamten Lebensweg sowie die Vielzahl von Umwelteinflüssen und deren Auswirkungen zu berücksichtigen, wurde die Methode der Ökobilanzierung angewandt. Der Untersuchungsrahmen wurde hierbei auf Schweizer Verhältnisse festgelegt.

Als Vergleichsbasis diente die Herstellung von PET-Rezyklat zur Produktion von 1000 kg PET-Preforms. Die Abbildung 1 zeigt den untersuchten PET-Kreislauf und die verschiedenen Wiederverwendungen des PET-Rezyklates. Einerseits besteht ein geschlossener Kreislauf (closed loop): das PET-Rezyklat wird bei der Produktion von neuen Flaschen eingesetzt („bottle to bottle“) und ersetzt dort neues PET in Flaschenqualität, andererseits kann das PET-Rezyklat für andere vielfältige Produkte wie Bänder, Rucksäcke, Textilien und Zelte verwendet werden. Auch hier wird neues PET eingespart. Dies wird in der Ökobilanz mit einer Gutschrift berücksichtigt, da nicht alle Herstellungswege bilanziert werden können (offener Kreislauf bzw. open loop).

Um den Nutzen des PET-Recyclings auszuweisen, wurde als Basisszenario für die Vergleiche die Herstellung von PET-Preforms aus 100% neuem PET in Flaschenqualität und deren Entsorgung in der Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) verwendet. Zu beachten ist, dass dabei die Kehrichtverbrennungsanlage als Anlage betrachtet wird, welche dazu dient, Abfall mit möglichst geringen Auswirkungen auf die Umwelt zu entsorgen. Entsprechend wird in Übereinstimmung mit der Datenbank ecoinvent [9] in diesem Szenario keine Gutschrift für die bereitgestellte Energie gewährt. Obwohl es unbestritten sinnvoll ist, den Energieinhalt der Abfälle, welcher in der KVA als Wärme anfällt, zu nutzen, so ist doch zu bedenken, dass weder Abfall produziert noch eine KVA mit dem primären Ziel Energie zu gewinnen, gebaut wird. Für die Frage, ob es sinnvoller ist PET stofflich oder energetisch zu verwerten, wurde ein separates Szenario berechnet, bei dem der Nutzen der Produktion von Wärme und Strom in der KVA berücksichtigt wurde.

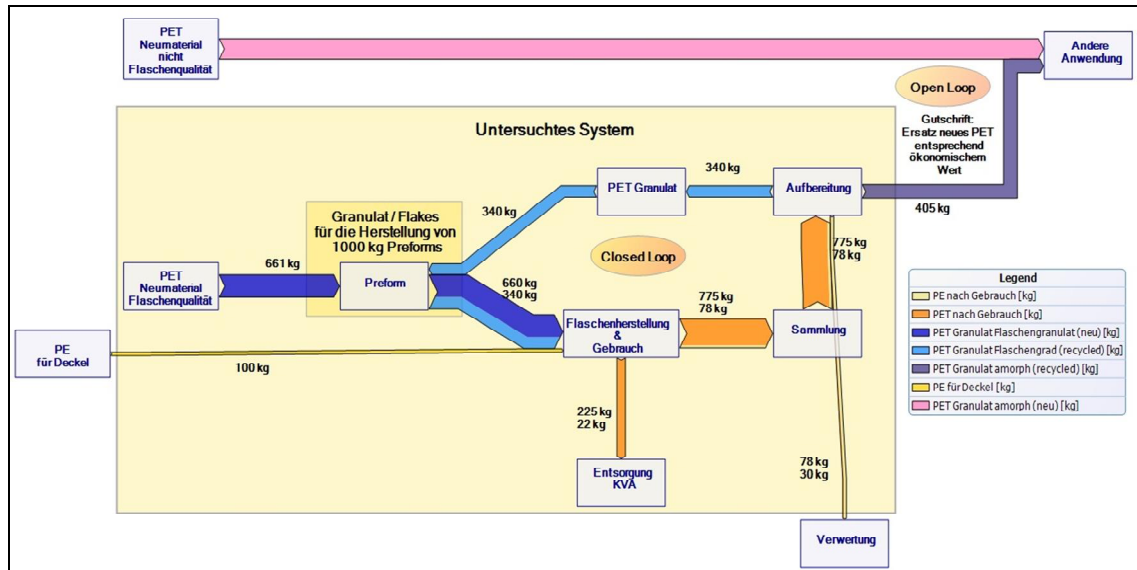


Abbildung 1 Stoffkreislauf des PET-Recyclings in der Schweiz. Es wird zwischen „Closed loop“ und „Open Loop“ unterschieden.

Gestützt auf den nachgefragten Daten für die wichtigsten Prozesse wurde der IST-Zustand des PET-Recyclings in der Schweiz in Bezug auf die Herstellung von Preforms, die Entsorgung in der KVA (22%), die Sammellogistik, das Sortieren und Aufarbeiten zu PET-Rezyklat (aus 78% gesammelten PET) sowie alle übrigen relevanten Prozesse entwickelt. Dieses Szenario diente anschliessend als Basis für weitere Szenarien. Das Ziel dieser Szenarienrechnungen bestand darin, die Ergebnisse abzustützen, indem der Einfluss von veränderten Rahmenbedingungen abgeklärt wurde. Zudem erlauben es diese Analysen, zu erkennen, unter welchen Bedingungen das eine oder andere System ökologische Vorteile bietet.

Im Rahmen dieser Sensitivitätsanalysen wurden die folgenden relevanten Einflussgrößen innerhalb der Szenarien variiert: Verbesserung der Verwertungsquote, Erhöhung des Rezyklatanteils in den Preforms, Variierung der ökonomischen Gutschrift für das PET des offenen Kreislaufs und eine Gutschrift für die Energiebereitstellung (Strom und Wärme) der KVA bei der Verbrennung von PET.

Zur Beurteilung wurden sowohl verschiedene Auswirkungen auf die Umwelt, wie Einfluss auf das Klima, Ressourcenbedarf, als auch verschiedene vollaggregierende Bewertungsmethoden (Ökologische Knappheit, Stand 2006 und Eco Indicator 99) berechnet. Die Verwendung verschiedener Bewertungsmethoden erlaubt es, die Aussagekraft der Resultate abzusichern.

Resultate

Die folgende Grafik zeigt die Umweltauswirkungen des PET-Recyclings in der Schweiz über den gesamten Lebensweg berechnet mit verschiedenen Bewertungsmethoden (Abbildung 2) im relativen Vergleich zur Entsorgung in der KVA (Basis). Dabei werden sowohl die Teilprozesse wie auch die Summe des PET-Recyclings abgebildet.

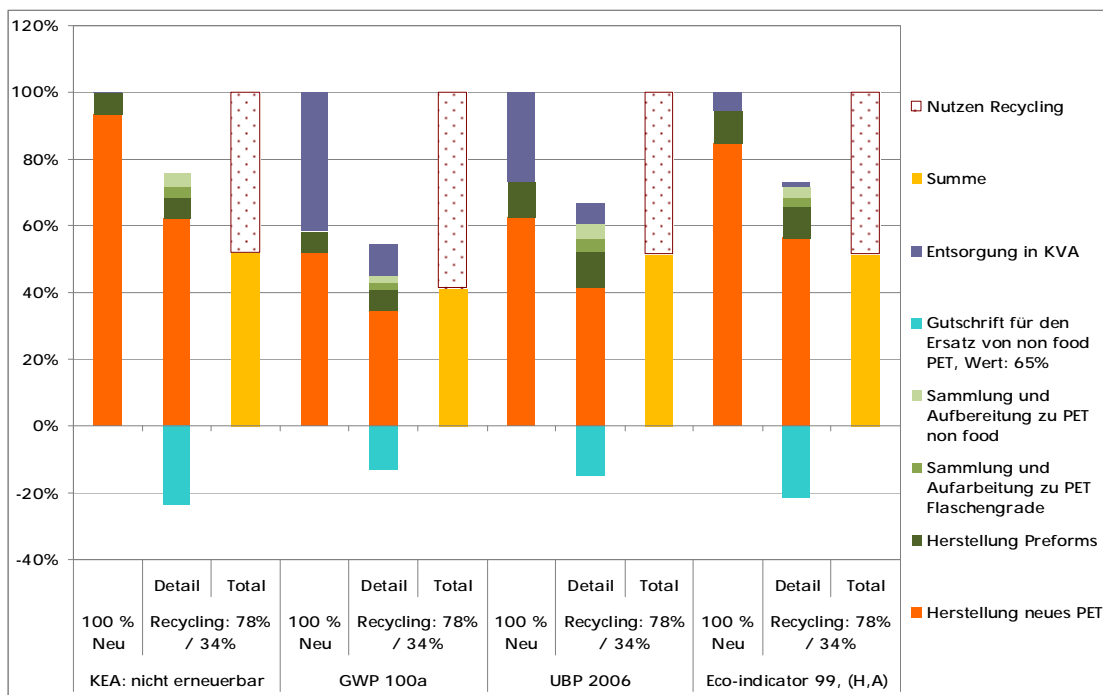


Abbildung 2 Umweltauswirkungen relativ zur Vergleichsbasis (100%). Dargestellt werden sowohl die Teilprozesse der Bewertungsmethode wie auch die Summe der einzelnen Bewertungsmethoden.

Nutzen des PET-Recyclings

Der Nutzen des PET-Recyclings in der Schweiz bewegt sich zwischen 50 – 60%. Die Teilprozesse werden von den Bewertungsmethoden zum Teil unterschiedlich gewichtet, in der Summe ergeben sie aber vergleichbare Resultate. Die eigentliche Arbeit der PRS (Sammlung und Aufarbeitung zu R-PET) macht mit ungefähr 10% nur einen geringen Teil der Umweltauswirkungen aus. Diese Aufwendungen bilden die Voraussetzung für das Recycling und dass damit neues PET eingespart und Umweltauswirkungen durch die Verbrennung in der KVA vermieden werden können, was zu einer hohen Reduktion der Umweltauswirkungen führt.

Optimierungspotentiale

Mit den Zukunftsszenarien sollen mögliche Optimierungspotentiale abgeklärt werden. Nach Absprache mit der PRS wurden folgende Zukunftsszenarien bestimmt:

- Zukunftsvariante 1: Verwertungsquote 80%, Rezyklatanteil in den Flaschen 52%
- Zukunftsvariante 2: Verwertungsquote 85%, Rezyklatanteil in den Flaschen 60%.

In Abbildung 3 sind die gesamten Umweltauswirkungen gemessen mit der Methode der Ökologischen Knappheit (UBP 06) dargestellt. Bei dieser Methode werden nicht nur die klimawirksamen Emissionen sondern eine Vielzahl von Emissionen in Boden, Wasser und Luft sowie der Ressourcenbedarf (energetische und andere Ressourcen wie Land- oder Wasserbedarf) berücksichtigt und bewertet. Die andere Bewertungsmethode Eco-Indicator 99 zeigt vergleichbare Ergebnisse, daher sind diese Resultate in dieser Kurzfassung nicht aufgeführt.

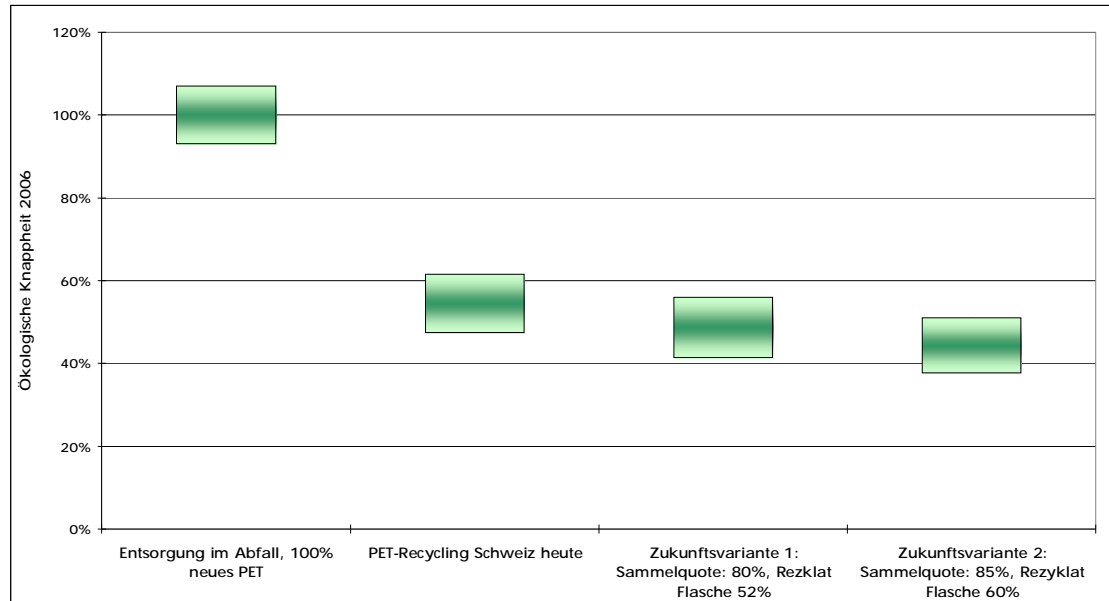


Abbildung 3 Vergleich der Gesamtumweltauswirkung Ökologische Knappheit '06 (UBP) zwischen dem Basisszenario, dem IST-Zustand des PET-Recyclings in der Schweiz und zwei Zukunftsszenarien. Die Ausdehnung der Balken zeigt die Unsicherheit der Ergebnisse.

Die Variantenberechnungen zeigen, dass die wesentlichen Reduktionen bereits erreicht wurden. Dennoch kann mit einer höheren Sammel- und Verwertungsquote noch ein Verbesserungspotential von zirka 10 bis 20% erreicht werden. Da seit diesem Jahr die Herstellung von PET-Flaschen aus 100% Rezyklat zugelassen ist, bestehen beim Einsatz von R-PET noch weitere Optimierungsmöglichkeiten. Diese hängen jedoch auch vom Design der Flaschen (transparentes PET) ab.

Open loop zu Closed loop Recycling

Das in der Schweiz aufbereitete PET wird sowohl für Flaschen verwendet (closed loop), wie auch für andere Anwendungen. Damit stellt sich auch die Frage, ob die Art der Verwertung und Verwendung des R-PET einen ökologischen Unterschied ergibt. Wie Abbildung 4 zeigt, führt der geschlossene Kreislauf mit der Wiederverwertung des PET-Rezyklats zu weiteren PET-Flaschen zu etwas geringeren Umweltauswirkungen als die Wiederverwertung für andere Produkte aus PET. Darin versteckt sich auch, dass das PET der Flaschen mehrmalige Recycling-Umläufe macht, das PET für andere Erzeugnisse geht in den meisten Fällen aus dem Kreislauf verloren, da diese Produkte im Allgemeinen nicht mehr gesammelt und zur PET-Rezyklat aufgearbeitet werden.

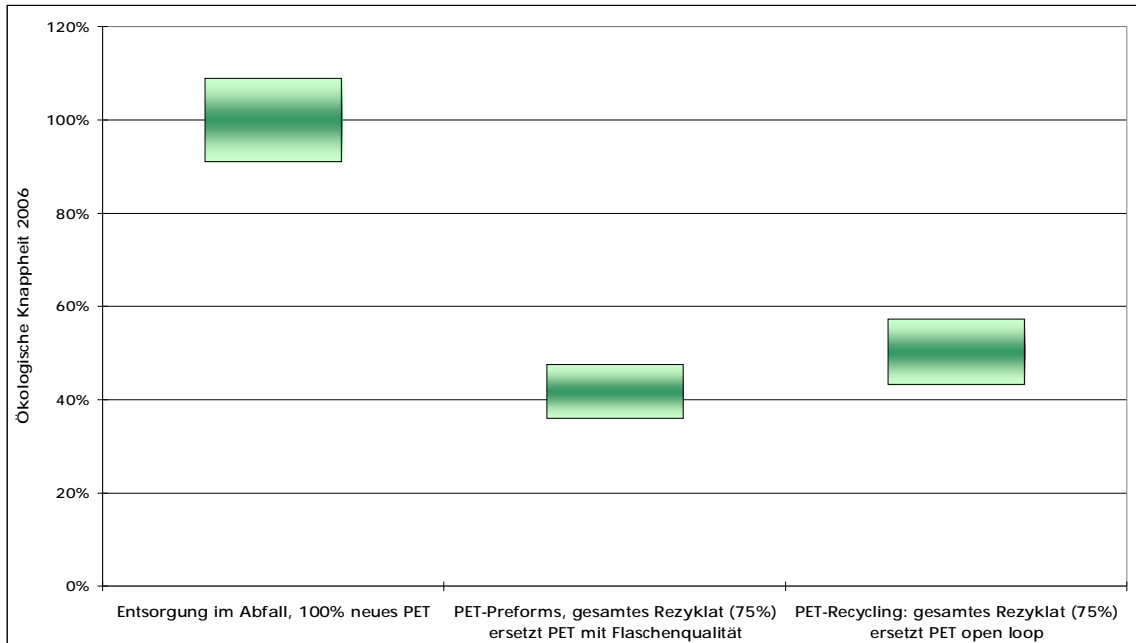


Abbildung 4 Gesamtumweltbelastung (Ökologische Knappheit 2006) der Systeme „open loop“ und „closed loop“ im Vergleich zum Basisszenario, bei einem vollumfänglichen Einsatz der Verwertungsquote in dem jeweiligen Wiederverwertungsbereich. Die Ausdehnung der Balken zeigt die Unsicherheit der Ergebnisse.

Stoffliche Verwertung gegenüber der thermischen Verwertung in der KVA

Die vorliegende ökologische Analyse hat gezeigt, dass die Auswirkungen der Sammellogistik von untergeordneter Bedeutung sind. Ökonomisch sind die Aufwände der PRS nicht zu vernachlässigen, diese umfassen nicht nur die Sammellogistik, sondern z.B. auch die Bewusstseinsbildung. Auch aus diesem Grunde stellt sich die Frage, ob sich dieser Aufwand lohnt oder ob es nicht sinnvoller ist PET mit der bestehenden kommunalen Abfallsammlung zu erfassen und in der KVA energetisch zu nutzen. Dieser aktuellen Frage wurde spezielle Beachtung geschenkt indem sie in einer Szenarienanalyse untersucht wurde. In Abbildung 5 sind im Vergleich zur Abbildung 2 die zusätzlichen Gutschriften für die in der KVA produzierten Strom- und Wärmemengen abgebildet. Dabei wurden die zurzeit von den KVAs in der Schweiz bereitgestellten Strom- und Wärmemengen verwendet. Zudem wurde ein Szenario gerechnet für eine optimale Energienutzung in einem Kehrlichtheizkraftwerk.

Durch die Gutschriften für die Energie reduzieren sich die Umweltauswirkungen des Basisszenarios (Herstellung von Preforms aus 100% neuem PET und Entsorgung in der KVA) um zirka 20 – 30%. Daraus folgt, dass sich auch der Nutzen des PET-Recyclings um zirka 10% verkleinert. Trotzdem bleibt durch das Sammeln und Recycling von PET ein eindeutiger ökologischer Vorteil von 40 – 50% (je nach Bewertungsmethode) bestehen. Eine Szenarienrechnung mit einem hohen Wirkungsgrad der KVA zeigt, dass auch dann das stoffliche PET-Recycling eine höhere Reduktion der Umweltauswirkungen bringt.

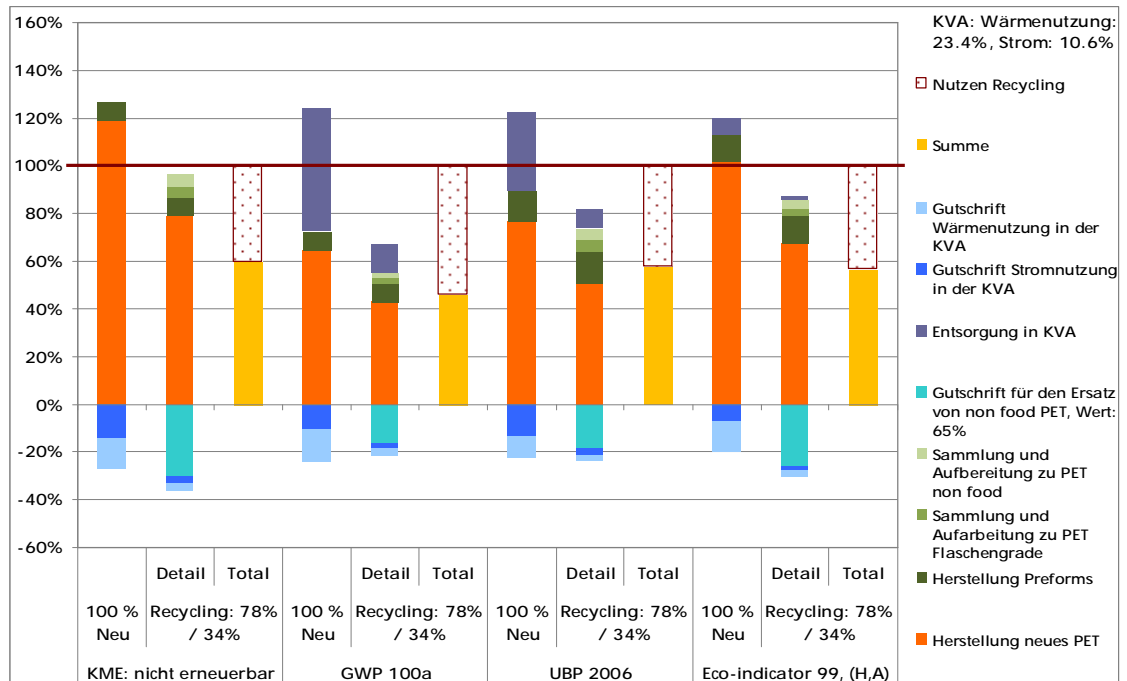


Abbildung 5 Nutzen des PET-Recyclings mit einer Gutschrift für Wärme und Strom aus der KVA, Stand 2007. Umweltauswirkungen relativ zur Vergleichsbasis (100%). Dargestellt werden sowohl die Teilprozesse der Bewertungsmethode wie auch die Summe der einzelnen Bewertungsmethoden.

Gesamter Nutzen des PET Recyclings in der Schweiz

Die oben genannten Ergebnisse zeigen den ökologischen Nutzen des PET Recyclings pro 1000 kg PET Flakes. Um zu sehen, zu welchen Reduktionen das PET-Recyclingsystem der Schweiz führt, wurde der gesamte Nutzen berechnet. Dank diesem System wird folgendes erreicht:

- Einsparung von 112'500 t CO₂-Äquivalenten, dies entspricht:
 - 0.2% des gesamten Treibhausgas-Ausstosses in der Schweiz von 53.2 Mio. t CO₂-Äquivalente im Jahre 2006;
 - Emissionen von knapp 30'000 Haushalten pro Jahr oder
 - den jährlichen Emissionen von knapp 27'500 Personenwagen (Durchschnitt CH).
- Einsparung von nicht erneuerbaren Ressourcen in der Grössenordnung von:
 - 42 Mio. Liter Erdöl, womit
 - 32'000 Haushalte ein Jahr geheizt werden könnten.

Empfehlungen

Auf Grund der Ergebnisse dieser Studie können aus ökologischer Sicht die folgenden Empfehlungen abgegeben werden:

- PET-Recycling in der Schweiz schneidet im Vergleich zur Entsorgung von PET in der KVA ökologisch deutlich besser ab und sollte deshalb unbedingt weitergeführt und ggf. ausgebaut werden.
- Optimierungspotential ist noch vorhanden und sollte sowohl bei der weiteren Verbesserung der Verwertungsquote und vor allem bei der Erhöhung des Rezyklatanteils in der PET-Flasche angestrebt werden. Letzteres wird vor allem möglich sein, da seit diesem Jahr PET-Flaschen aus 100% PET-Rezyklat hergestellt werden darf. Hierzu ist auch eine Zusammenarbeit mit den Designern der Flaschen notwendig, da z.B. unterschiedliche Farben den Einsatz im Kreislauf reduzieren können.
- Eine Veränderung im Design (vermehrt buntes PET, leichtere Flaschen) kann die Umweltauswirkungen beeinflussen. Deshalb wird wohl eine Zusammenarbeit mit den Kunden, welche PET-Flaschen nachfragen und das Design bestimmen, wichtiger werden.
- Die Herstellung von R-PET mit Flaschenqualität ist nicht mit signifikant höheren Umweltauswirkungen verbunden als die Herstellung von R-PET ohne Flaschenqualität. Zu beachten ist jedoch, dass der geschlossene Flaschenkreislauf eine mehrmalige Nutzung ermöglicht und somit ökologisch (und vermutlich auch ökonomisch) sinnvoller ist und gefördert werden sollte.
- Die Logistik trägt nur zu einem kleinen Teil an den Umweltauswirkungen bei. Trotzdem könnten voraussichtlich durch eine Optimierung der Logistik nicht nur Umweltauswirkungen sondern voraussichtlich auch Kosten gespart werden.
- Vermutlich können auch die Sortierer und Recycler noch gewisse Einsparungen z.B. an Ressourcen (Wasser, Erdgas) und Strom vornehmen.
- Eine Ergänzung dieser Studie mit der ökonomischen Dimension (Öko-Effizienz Analyse) ist für die strategische Planung zu empfehlen. Damit kann z.B. der optimale Einsatz der finanziellen Mittel aufgezeigt werden.

1 Einleitung

Die Branchenorganisation PET-Recycling Schweiz (PRS) wurde 1990 gegründet und befasst sich mit der Sammlung von PET-Getränkeflaschen. Heute stellt sie ein gesamtschweizerisches Sammelnetz für PET-Getränkeflaschen zur Verfügung. Weiter macht sie Bewusstseinsbildung in der Bevölkerung, da dieses System nur dann funktioniert, wenn die Konsumenten sich entsprechend verhalten. Es handelt sich dabei um eine Branchenlösung auf freiwilliger Basis.

Im Jahre 2007 konnte eine Verwertungsquote von 78 Prozent (reines PET vor der Verarbeitung zu Flakes und Granulat) erreicht werden. Diese Anstrengungen der Industrie erfolgen auf dem Hintergrund der Verordnung über Verpackungen, welche eine Verwertungsquote von 75% fordert. Falls diese auf freiwilliger Basis nicht erreicht wird, muss ein Pfand auf PET-Flaschen erhoben werden. Das Ziel dieser Verpackungsverordnung besteht darin, die Umweltauswirkungen durch den Einsatz von Getränkeverpackungen zu reduzieren. Aus diesem Grunde ist es wünschbar, zu überprüfen, wie hoch der Nutzen durch das Recycling der PET-Flaschen ist. Zudem stellt sich die Frage, ob sich der gesamte Aufwand der PRS lohnt oder ob es ökologisch nicht sinnvoller ist die PET-Flaschen in der Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) zu entsorgen. Damit könnte der Aufwand der Separatsammlung vermieden werden und zudem nützliche Energie in Form von Strom und Fernwärme bereitgestellt werden.

Die vorliegende Studie soll daher die Umweltauswirkungen des PET-Recyclingsystems der Schweiz untersuchen, um abzuklären:

- Wie hoch dessen ökologischer Nutzen ist.
- Ob eine stoffliche Verwertung oder eine thermische Verwertung in der KVA aus ökologischer Sicht sinnvoller ist.
- Welche Teilprozesse des PET-Recyclings den grössten Einfluss auf die gesamten Umweltauswirkungen haben.
- Welche Optimierungspotentiale noch bestehen.

Um den gesamten Lebensweg sowie die Vielzahl von Umwelteinflüssen und deren Auswirkungen zu berücksichtigen, wurde die Methode der Ökobilanzierung angewandt. Der Untersuchungsrahmen wurde hierbei auf Schweizer Verhältnisse festgelegt.

2 Auftrag und Ziele

Im Auftrag der PET-Recycling Schweiz werden mit der vorliegenden Studie die Umweltauswirkungen des PET-Recyclings in der Schweiz mit einer Ökobilanz untersucht. Dafür werden Daten für die Teilprozesse wie Logistik, Sammelsäcke und -behälter, Sortierung, Recycling bzw. Aufarbeitung des sortierten PET zu Flakes und Granulat und die Herstellung von Preforms erhoben und eine Ökobilanz durchgeführt.

Mit dieser Studie sollen die folgenden Fragen beantwortet werden:

- Wie hoch ist der ökologische Nutzen des PET-Recyclings in der Schweiz?
- Ist es aus ökologischer Sicht sinnvoller PET stofflich zu rezyklieren oder energetisch zu nutzen und damit fossile Energieträger zu ersetzen?
- Wo treten beim PET-Recycling die höchsten Umweltauswirkungen auf?
- Welche ökologischen Optimierungspotentiale bestehen beim heutigen System?

für die folgenden Szenarien:

- Ist-Zustand des PET-Recyclings der Schweiz
- PET-Flasche wird einem „bottle to bottle“ Recycling zugeführt.
- PET-Flasche wird einem stofflichen Recycling, nicht für die Herstellung von Flaschen, zugeführt.
- PET-Flasche wird in der KVA entsorgt.

Um dieses Ziel zu erreichen sollen:

- die klimawirksamen Emissionen,
- der Bedarf an energetischen Ressourcen
- weitere Umweltauswirkungen sowie
- die gesamten Umweltauswirkungen

über den gesamten Lebensweg sowie die relevanten Umweltauswirkungen ermittelt werden.

Zudem sollen die Ergebnisse mit Szenarienrechnungen bezüglich der Aussagekraft überprüft werden. Weiter soll mit Zukunftsszenarien der Einfluss von möglichen Entwicklungen abgeklärt werden.

3 Vorgehen und Methodik

Heute besteht Konsens, dass die Lebenszyklusanalyse oder Ökobilanz die umfassendste und aussagekräftigste Methode ist, um die Umweltauswirkungen von Produkten und Systemen zu beurteilen. Daher wurde diese Methode verwendet, um die Umweltauswirkungen der verschiedenen Szenarien, siehe Kapitel 2, zu eruieren. Die Erarbeitung der Zielsetzung, der Datenerhebung und der Berechnung der Umweltauswirkungen sind im Wesentlichen auf die Norm ISO 14'040 abgestützt. Bei der Verwendung von Bewertungsmethoden, welche die Auswirkungen in einer Kennzahl zusammenfassen, wurde über die Norm hinausgegangen. In dem Sinne wurde die Studie in Anlehnung an ISO erstellt. Um eine hohe Akzeptanz der Ergebnisse zu erreichen, wurde ein begleitendes Review durch Herrn Paul W. Gilgen durchgeführt.

Bei der Zusammenstellung der Szenarien wurde das Gewicht auf die Erkennung der relevanten Einflussgrößen gerichtet und die Resultate mit Sensitivitätsanalysen überprüft. Dabei stützten wir uns auf Daten des Ist-Zustandes. Um eine hohe Aussagekraft der Studie zu erreichen, wurde viel Aufwand in die Erfassung der Daten investiert. Trotzdem war es jedoch aus den folgenden Gründen nicht das einzige Ziel, den momentanen Zustand möglichst genau abzubilden:

- Es sollte vermieden werden, dass die Studie bei Erscheinung bereits veraltet ist.
- Ebenso sollten die Auswirkungen von zukünftigen Entwicklungen abgeschätzt werden.
- Der Aufwand sollte sich in vernünftigen Grenzen halten.

Mögliche Entwicklungen und Optimierungspotentiale wurden mit Sensitivitätsrechnungen abgebildet. Zur Ermittlung der Umweltauswirkungen der Grundstoffbereitstellung sowie der Hilfsprozesse, wie Energiebereitstellung, Transporte und Entsorgung stützten wir uns auf die international anerkannten Grundlagedaten von „ecoinvent 2.01“. Die Daten der Logistik, Sortierung, Verdichtung, Aufbereitung zu Flakes und Granulat und Herstellung von Preforms werden im Rahmen dieses Projektes für die spezifische Situation der PRS erhoben.

Im Folgenden werden die verwendete Methode, Datenbasis und die getroffenen Annahmen genauer beschrieben.

3.1 Allgemeine Beschreibung der Ökobilanz

3.1.1 Methodik der Ökobilanzierung

Die Ökobilanzierung oder Lebenszyklusanalyse ("life cycle assessment", LCA) ist eine Methode, um die Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten auf die Umwelt zu erfassen, zu beurteilen und daraus Optimierungspotentiale abzuleiten. Auf Grund 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 Bewertung 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 Ergebnisse der Ökobilanz können eingesetzt werden:

- als Entscheidungshilfen bei verschiedenen Varianten
- zur Erfassung der relevanten Auswirkungen
- in der strategischen Planung zur Ermittlung von Optimierungspotentialen
- zur Ermittlung der wesentlichen Einflussfaktoren
- zur Beurteilung von Massnahmen.

Die vorliegende Studie soll vor allem als Entscheidungshilfe dienen, jedoch auch zur Erfassung der relevanten Umweltauswirkungen und damit als Basis für Optimierungsmassnahmen.

3.1.2 Vorgehen bei der Ökobilanzierung

In einem ersten Schritt werden die Waren-, Stoff- und Energieflüsse sowie der Ressourcenbedarf 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, kann eine Bewertung der verschiedenen Umweltauswirkungen durch eine entsprechende Gewichtung erfolgen.

Nach ISO 14'040 [1, 2] umfasst eine Ökobilanz die folgenden Schritte:

- Festlegen des Zielsystems und der 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 die Abbildung 6 zeigt, ist dies kein linearer Ablauf, sondern ein interaktiver Erkenntnis- und Optimierungsprozess.

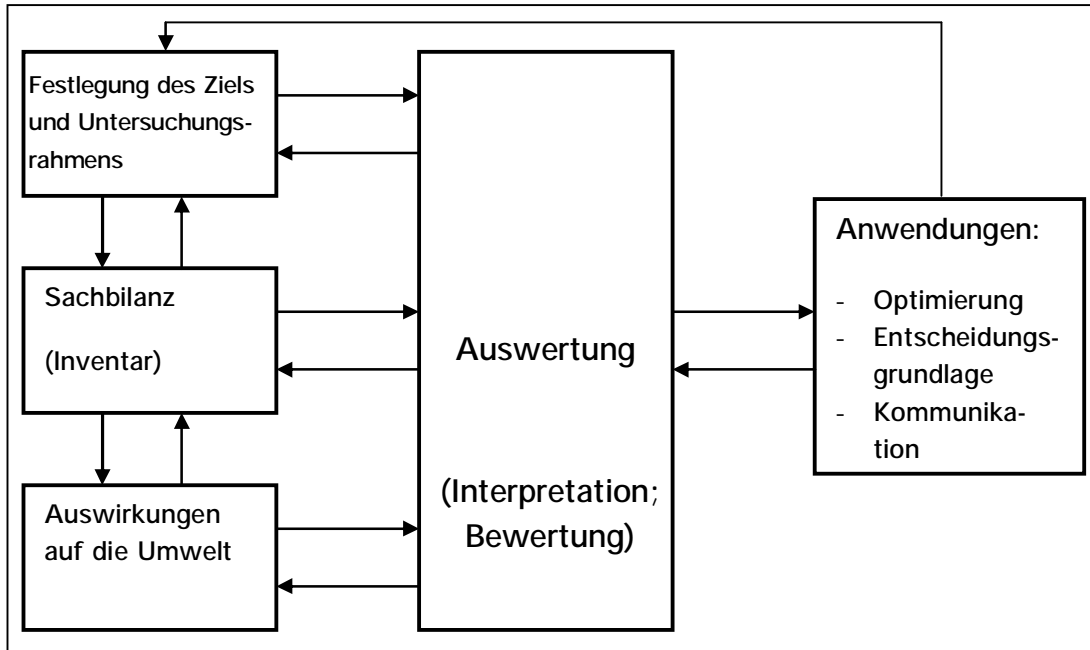


Abbildung 6 Schritte einer Ökobilanz, nach ISO 14'040 ff.

Die vorliegende Studie richtet sich nach der Norm ISO 14'040; das Vorgehen entspricht in den wesentlichen Aspekten deren Anforderungen. In gewissen Punkten, wie der Verwendung von gesamt aggregierenden Methoden, geht die Studie über die Norm hinaus.

Da die Studie für die Öffentlichkeit bestimmt ist, soll sie eine hohe Glaubwürdigkeit haben. Aus diesem Grund wurde ein externes Review durch Herrn Paul W. Gilgen der EMPA durchgeführt. Wobei als Form ein begleitetes Review gewählt wurde. Das heisst, dass im Verlaufe des Projektes die wichtigen Entscheide dem Reviewer vorgelegt und mit ihm diskutiert wurden.

3.2 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 müssen der zeitliche und geographische Rahmen der verwendeten Daten sowie die zu untersuchenden Umweltauswirkungen festgelegt werden. Dies ist der erste und sehr wichtige Schritt bei der Erstellung einer Ökobilanz.

3.2.1 Fragestellungen

Gemäss Kapitel 2 sollen mit dieser Arbeit die folgenden Fragestellungen beantwortet werden:

- Wie hoch ist der ökologische Nutzen des PET-Recycling in der Schweiz (die PRS betreffend)?
- Wie sieht die Ökobilanz der einzelnen Teilprozesse aus?
- Bestehen Unterschiede zwischen den drei Szenarien: Wiederverwertung von PET als Flasche, stoffliche Wiederverwertung von PET z.B. für Folien und Fasern und der Entsorgung via KVA?
- Falls hohe Unterschiede bestehen, welches sind die Gründe dafür und welche Schlussfolgerungen können daraus hergeleitet werden?
- Wo bestehen ökologische Verbesserungsmöglichkeiten?

Die Antworten auf diese Fragen werden in Kapitel 4 dargestellt.

3.2.2 Vergleichbasis, die "Funktionelle Einheit"

Die Bewertung eines Produktes oder Prozesses muss immer relativ zu Alternativen erfolgen, welche denselben Nutzen erbringen bzw. dieselbe Funktion erfüllen. Die Grösse, auf welche sich der Vergleich bezieht, wird als funktionelle Einheit bezeichnet. Als funktionelle Einheit wird in dieser Untersuchung verwendet:

**Die Herstellung, Verwertung / Entsorgung von PET-Flakes/Granulat
für die Produktion von 1'000 kg PET-Preforms.**

3.2.3 Systemgrenzen

Entsprechend dem Ökobilanz Ansatz werden soweit möglich alle umweltrelevanten Prozesse über den gesamten Lebensweg erfasst und bewertet.

Dies umfasst im Wesentlichen:

- Bereitstellung der Rohstoffe wie Erdöl, Erdgas etc.
- Herstellung der Grund- und Hilfsstoffe wie Kunststoff-Säcke, Stahlblech oder Chemikalien
- Energiebedarf und deren Bereitstellung, z. B. die Strombereitstellung
- Wasserverbrauch
- Transporte, inkl. der dazu benötigten Infrastruktur und Treibstoffbereitstellung (nicht berücksichtigt wurden Exporte ins Ausland)
- benötigte Infrastruktur
- Entsorgung bzw. Wiederverwertung

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

Als geographische Systemgrenze wird für die Szenarien die Schweizer Landesgrenze verwendet. Als Strom-Mix wird entsprechend für Produktionen in der Schweiz der Schweizer Versorgungs-Mix verwendet, ausser es wurden genauere Angaben der angefragten Firmen gemacht. Für die Herstellung der

Grundmaterialien und der Bereitstellung der Energieträger werden soweit möglich die Gegebenheiten der entsprechenden Länder oder der europäische Mix berücksichtigt.

PET-Flakes/-Granulate können sowohl für die Herstellung von Flaschen als auch für andere stoffliche Verwendungen eingesetzt werden. Für die Ökobilanz ist es deshalb wichtig, ein klares System mit definierten Grenzen zu bestimmen. Um beide Verwendungen zu berücksichtigen und beiden gerecht zu werden, wird im Folgenden unterschieden zwischen:

- **Geschlossener Kreislauf (closed loop)**
Bei diesem wird aus den PET-Flaschen wieder PET-Flaschen aus Rezyklat hergestellt („bottle to bottle“). Das PET-Rezyklat ersetzt neues PET zu 100%.
- **Offener Kreislauf (open loop)**
Bei diesem wird das PET-Rezyklat einer anderen stofflichen Verwertungen zugeführt. Hier können nicht alle Herstellungsmöglichkeiten berechnet werden, deshalb wird für die Bereitstellung von R-PET ohne Flaschenqualität eine Gutschrift in der Höhe von 65% der Umweltauswirkungen, welche sich aus der Herstellung von neuem PET ergeben, gewährt. Die Höhe von 65% ergibt sich aus der Tatsache, dass im Schnitt R-PET einen ökonomischen Wert von 65% von neuem PET hat.

In der Schweiz wird R-PET für beide Verwertungsarten eingesetzt, somit ist das heutige System eine Mischung aus dem geschlossenen und dem offenen Kreislauf. Die Abbildung 7 zeigt den PET-Stoffkreislauf wie er in der vorliegenden Ökobilanz untersucht wurde. Die PE-Deckel werden nur bis und mit Entsorgung in der KVA berücksichtigt. Jener Teil der bei den Recyclern von den Flaschen entsorgt wird, geht in das Kunststoff-Recycling zurück und geht somit in einen anderen Stoffkreislauf. Dies wurde einbezogen, indem für diese Deckel keine Entsorgung berücksichtigt wurde (cut off). Die Herstellung der PE-Deckeln wird ebenfalls nicht berücksichtigt, da sie bei allen Szenarien gleich ist.

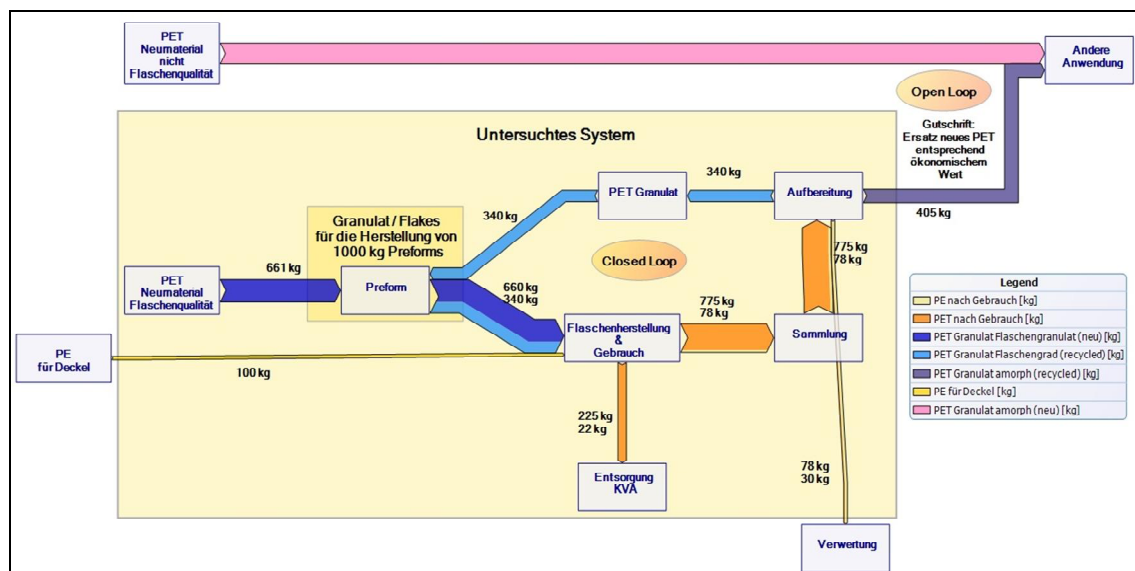


Abbildung 7 Stoffkreislauf des PET-Recyclings in der Schweiz. Es wird zwischen „Closed loop“ und „Open Loop“ unterschieden.

Da es sich beim vorliegenden Projekt um eine ökologische Analyse handelt, wurden bei den Vergleichen bewusst die übrigen Kenngrößen der Systeme, welche keinen direkten Einfluss auf die Umweltauswirkungen haben, nicht berücksichtigt. Damit werden Kenngrößen, wie zum Beispiel die Kosten oder der Nutzen für die Verbraucher nicht betrachtet. Diese können jedoch wesentlich zur Entscheidung beitragen.

dung für oder gegen ein System beitragen. In dem Sinne handelt es sich bei der vorliegenden Studie nicht um eine umfassende Entscheidungsanalyse, sondern um eine umfassende Analyse des Teilaspektes Umwelt. Diese muss ggf. durch weitere Aspekte entsprechend ergänzt werden.

3.3 Sachbilanz

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

- a) die Beziehungen eines Prozesses mit anderen Prozessen der Technosphäre, wie z. B. Menge an benötigten Rohmaterialien, Hilfsstoffen, Energiebedarf oder Transporte.
- b) 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. CO₂, CO, Methan Stickoxide u.a..

Die Modellierung des Systems, Beziehung der Prozesse mit anderen Prozessen der Technosphäre basiert auf realen projektspezifischen Daten, welche teilweise aus vertraulichen Gründen nicht veröffentlicht werden können.

Angaben zum PET-Recycling:

- Daten bezüglich der Sortierung/Verdichtung, der Verarbeitung zu Flakes oder Granulat und der Herstellung von PET-Preforms wurden direkt bei den betreffenden Firmen erhoben.
- Die Modellierung der Transportprozesse erfolgte hauptsächlich aufgrund der Angaben der PRS (ein vereinfachtes Modell ist im Anhang 1 ersichtlich). Die Transportdistanzen wurden von der PRS selbst berechnet und aufgeteilt in die Teillieferungen an die Sortiercenter und an die Recycler. Der Transport zu dem Preform-Hersteller wurde unsererseits berechnet. Dabei wurde zwischen den verschiedenen Transportfahrzeugen wie Kleintransporter, LKW's und Bahn unterschieden.
- Die Daten zu den verbrauchten Sammelsäcken und -behältern beruhen auf Angaben der PRS.

Für die Durchführung der Ökobilanz wurde ein Durchschnitt der Angaben der Sortierer und der PET-Recyclern berechnet, um den momentanen schweizerischen Ist-Zustand besser abbilden zu können. Für die Erstellung der Sachbilanz, Beziehung der Prozesse mit der natürlichen Umwelt sowie für Modellierung aller Grundlagenprozesse wurden bestehende Grundlagedaten aus ecoinvent Version 2.01 [3] verwendet. Dabei handelt es sich um Daten, welche einen sehr hohen Qualitätsstandard haben und auch international anerkannt sind.

3.4 Bestimmung der Umweltauswirkungen (Wirkungsbi-lanz)

Selbst die Beschränkung auf die "wichtigsten" Stoffe führt sofort zu unübersichtlichen Zahlentabellen, welche nur schwer oder gar nicht zu interpretieren sind. Zudem sind nicht die Stoffemissionen sondern deren Auswirkungen auf die Umwelt von Bedeutung. Um diese zu bestimmen wird folgendermassen vorgegangen:

- Klassifizierung (Einteilung der Einflüsse bezüglich ihrer Auswirkungen):
Die Stoffe werden nach ihren unterschiedlichen Wirkungen auf die Umwelt gruppiert.
- Charakterisierung (Berechnung der Auswirkungen auf die Umwelt):
Dabei werden die einzelnen Substanzen entsprechend ihres Schädigungspotentials bezüglich einer Umweltauswirkung gegeneinander gewichtet. Daraus ergeben sich die Schädigungspotentiale bezüglich einer bestimmten Umweltauswirkung.

Folgende Wirkungen bzw. Aspekte wurden berechnet und für die Überprüfung der Resultate verwendet. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden jedoch nicht alle in diesem Bericht ausgewiesen:

- Treibhauspotential (GWP)
Einfluss auf das Klima infolge der Emission von klimawirksamen Stoffen wie Kohlendioxid (CO₂), Lachgas (N₂O) oder Methan (CH₄). Diese Auswirkung wird gemäss IPCC aus dem Jahre 2001 berechnet und in diesem Bericht ausgewiesen.
- Kumulierter Energieaufwand (KEA), graue Energie oder Verbrauch an nicht erneuerbaren energetischen Ressourcen wie z. B. Erdöl oder Erdgas.
- Ozonbildungspotential
Beitrag zur Bildung von Ozon (Sommersmog) infolge der Emission von Stoffen wie z.B. Kohlenwasserstoffe und Stickoxiden (NO_x). Die Berechnung erfolgt auf der Basis der Methode CML [5].
- Säurebildungspotential
Beitrag zur Versauerung von Böden und Gewässern zum Beispiel durch Stickoxide und Schwefeldioxid. Die Berechnung erfolgt auf der Basis der Methode CML [5].
- Toxizität für den Menschen
Auswirkungen von Emissionen auf die menschliche Gesundheit bewertet nach der Methode CML [5].
- Ökotoxizität
Auswirkungen auf Tiere und Pflanzen durch die Emission von Stoffen. Dabei wird zwischen der Toxizität in Boden und Wasser unterschieden. Die Berechnung erfolgt auf der Basis der Methode CML [5].
- Eutrophierung oder Überdüngung
Veränderung des Nährstoffgleichgewichtes in Boden und Wasser durch den Eintrag von Verbindungen die Stickstoff und Phosphor enthalten. Die Berechnung erfolgt auf der Basis der Methode CML [5].

Für Berechnungsdetails wird auf die Originalliteratur [4 bis 7] verwiesen.

Jeder dieser Indikatoren deckt nur einen Teilbereich der gesamten Umweltauswirkungen ab. Nur die Berücksichtigung der verschiedenen Auswirkungen gibt ein umfassendes Bild der ökologischen Auswirkungen. Problematisch dabei ist, dass die Ergebnisse der verschiedenen Wirkkategorien nicht di-

rekt miteinander verglichen werden können. Einerseits sind die Einheiten und damit Dimensionen unterschiedlich und andererseits wird keine Aussage gemacht, wie problematisch die betreffende Wirkung relativ zu anderen ist. Um diese verschiedenen Auswirkungen zu einer Kennzahl zusammenzufassen ist eine Normierung und Gewichtung der verschiedenen Auswirkungen notwendig.

3.5 Bewertung der Umweltbelastungen

Während die Wirkungsbilanz prinzipiell auf objektiven, wissenschaftlichen Modellen beruht, ist die Bewertung der verschiedenen Umweltauswirkungen von Wertmassstäben abhängig. Aus diesem Grunde werden diese gesamtaggrierenden Methoden teilweise abgelehnt. Dabei ist zu beachten, dass auch die Auswahl der Umweltauswirkungen subjektiv ist. Falls nur ein Teil der Auswirkungen, z. B. Kumulierter Energieaufwand (KEA) und Treibhauspotential betrachtet werden, kommt dies einer Gewichtung der anderen Auswirkungen mit Null gleich, was sicher falsch ist. Als Entscheidungshilfe für die Beurteilung werden in dieser Arbeit die folgenden beiden Methoden verwendet, welche die Umweltauswirkungen zu einer Kennzahl (Indikator) zusammenfassen:

- Methode der Schadstofffrachten, überarbeitete Ausgabe 2006
- Eco Indicator 99 HA

Die Verwendung verschiedener Bewertungsmethoden erlaubt es, die Aussagekraft der Resultate abzusichern.

3.5.1 Methode Ökologische Knappheit 2006 ("Umweltbelastungspunkte" - UBP)

Diese Methode (BUWAL 1990, Überarbeitung 1997 und 2006) [8] wurde mit dem Ziel entwickelt, die verschiedenen Umweltauswirkungen zu einer einzigen Kenngrösse (Umweltbelastungspunkte) zusammenzufassen. Es handelt sich um eine Stoffflussmethode, 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. In diesem Projekt wurde die überarbeitete Version des BAFU aus dem Jahre 2006 verwendet.

3.5.2 Eco-Indicator '99 HA

Beim Eco-Indicator 99 HA [6] werden die Schäden, welche an den drei Schutzziele Menschliche Gesundheit, Ökosystemqualität und Ressourcen entstehen, berechnet. Anschliessend werden diese verschiedenen Schäden auf der Basis von gesellschaftlichen Wertmassstäben relativ zueinander gewichtet.

Bezüglich der Details und der Hintergründe dieser Methoden wird auf die Originalliteratur verwiesen.

3.6 Grenzen der vorliegenden Untersuchung

3.6.1 Inhaltlich

Sollten sich an der Art und Ausprägung des PET-Recyclings grundlegende Änderungen ergeben, so muss allenfalls überprüft werden, ob die für diese Erhebung getroffenen Annahmen und Berechnungen weiterhin Gültigkeit haben.

Da die verwendeten Daten sich auf die Schweiz beziehen, müssten die Szenarien bei einer Übertragung auf das Ausland überprüft werden.

Die vorliegende Analyse beschränkt sich auf die Umweltauswirkungen des PET-Recyclings. Ökonomische oder soziale Auswirkungen sind nicht Umfang der vorliegenden Studie.

3.6.2 Methodisch

Beide in dieser Studie verwendeten Methoden zur gesamt aggregierenden Bewertung haben auch international eine hohe Akzeptanz. Dennoch muss darauf hingewiesen werden, dass die Bewertungen der verschiedenen Auswirkungen nicht auf wissenschaftlicher Basis allein beruhen können, sondern auch auf gesellschaftlichen Zielen, Prioritäten und Erkenntnissen. Daher werden diese Methoden teilweise auch abgelehnt, bzw. ISO 14'040 empfiehlt, diese nicht für vergleichende Ökobilanzen, die für die Öffentlichkeit bestimmt sind, zu verwenden.

Trotz der Empfehlung der ISO Norm entschieden wir uns, aus den folgenden Gründen diese beiden Methoden zu verwenden:

- Die Ergebnisse von gesamt aggregierenden Methoden erlauben eine Gewichtung der verschiedenen Auswirkungen und geben dadurch eine gute Entscheidungsbasis.
- Auch wenn die Gewichtungen nicht „absolut“ sind, so sind deren Ergebnisse mit Sicherheit aussagekräftiger, als die Beschränkung auf einige wenige Auswirkungen.
- Die Darstellung von allen Auswirkungen ist geeignet für die Schwachstellenanalyse und dem Finden von Optimierungen. Jedoch lassen sich oft keine Entscheide daraus ableiten, da die verschiedenen Auswirkungen im Allgemeinen unterschiedliche Resultate zeigen.
- Die Resultate lassen sich gut kommunizieren.

Durch die Verwendung von mehr als einer Methode kann die Aussagekraft überprüft werden, da sich daraus eine Sensitivität bezüglich der unterschiedlichen Gewichtungen ergibt. Zudem wurden die Ergebnisse dieser gesamt aggregierenden Methoden mit den Ergebnissen der Wirkungen hinterfragt.

3.7 Unsicherheit und Signifikanz

Jede Ökobilanz ist mit Unsicherheiten behaftet, welche sich aus Unsicherheiten bei der Datenerhebung, wie auch bei der Berechnung der Einwirkungen und Auswirkungen auf die Umwelt ergeben. Diese Unsicherheiten wurden soweit möglich erfasst oder zumindest abgeschätzt. Teilweise wurden mit Sensitivitätsanalysen die Einflüsse unterschiedlicher Szenarien bestimmt.

Die Unsicherheiten wurden ausgewertet und sind in den Übersichtsgrafiken als Spannbreiten der Ergebnisse entsprechend ausgewiesen. Bei diesen Spannbreiten handelt es sich um Standardabweichungen der Werte aufgrund der errechneten Fehlerfortpflanzung der Datenfehler (Gauss-Verteilung, statistisch unabhängige Werte).

Dabei ist zu beachten, dass es sich dabei nur um die Unsicherheiten der Sachbilanz handelt. Damit werden die ausgewiesenen Unsicherheiten eher unterschätzt.

Zudem wurde die Aussagekraft mit Hilfe von Plausibilitäts-, Sensitivitäts- und Relevanzanalysen überprüft.

4 Ergebnisse

Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden nur die Resultate der folgenden Methoden dargestellt:

- Treibhauspotential
- Bedarf an nicht erneuerbaren energetischen Ressourcen, kumulierter Energieaufwand (KEA)
- Methode Ökologische Knappheit 2006 („Umweltbelastungspunkte“ – UBP06)
- Eco-Indicator '99

Neben den gesamttaggregierenden Methoden wird das Treibhauspotential und der KEA separat ausgewiesen, da diese Auswirkungen von hoher Aktualität sind und auch kostenwirksam sind bzw. unter Umständen in Bälde kostenwirksam sein können.

Die anderen beiden Methoden geben die gesamten Umweltauswirkungen wider. Die Aussagekraft wird geprüft, indem zwei unterschiedliche Methoden verwendet und die Plausibilität auf Grund der Resultate der detaillierten Wirkbilanz überprüft werden.

4.1 Szenarien und Sensitivitätsanalysen

Die Vergleichsbasis der Szenarien ist die Produktion der PET-Flaschen aus 100% neuem PET in Flaschenqualität und die volle Entsorgung der Flaschen in der KVA. Als Standardszenario dient der aktuelle Zustand des PET Recyclings in der Schweiz im Jahr 2007. Zu beachten ist dabei, dass die Kehrichtverbrennungsanlage als Anlage betrachtet wird, welche dazu dient, Abfall mit möglichst geringen Auswirkungen auf die Umwelt zu entsorgen. Entsprechend wird in diesem Szenario keine Gutschrift für die bereitgestellte Energie gewährt. Obwohl es unbestritten sinnvoll ist, die Energieinhalte der Abfälle, welche in der KVA als Wärme anfällt, zu nutzen, so ist doch zu bedenken, dass weder Abfall produziert noch eine KVA gebaut wird mit dem primären Ziel Energie zu gewinnen. Eine Energienutzung in Form von Wärme und Strom wird bei deren Nutzung berücksichtigt, indem den entsprechenden Energieträgern keine Belastung für die Wärmeerzeugung angerechnet wird. Dieses Vorgehen entspricht auch demjenigen der ecoinvent Grundlagedaten [9] und ist sinnvoll um den Nutzen des Systems PET-Recycling auszuweisen. Für die Frage, ob es sinnvoller ist, PET stofflich oder energetisch zu verwerten, ist es notwendig die Produktion von Wärme und Strom und deren Nutzen als Ersatz von fossilen Energieträgern bzw. Netzstrom zu berücksichtigen. Diese Berechnungen erfolgen in einem separaten Szenario, siehe Kapitel 4.3.4.

Zusätzlich wurden Zukunftsszenarien und Sensitivitätsanalysen berechnet, um die Ergebnisse abzustützen sowie um den Einfluss von veränderten Rahmenbedingungen abzuklären. Zudem erlauben es diese Analysen, zu erkennen, unter welchen Bedingungen das eine oder andere System ökologische Vorteile bietet und welche Potentiale noch ausgeschöpft werden können.

Im Rahmen dieser Sensitivitätsanalysen wurden die folgenden relevanten Einflussgrössen innerhalb der Szenarien variiert:

- Sammelquote und damit den Anteil, welcher in der KVA verbrannt wird,
- Anteil des Rezyklats in den PET-Flaschen,
- Höhe der ökonomischen Gutschrift für die weiteren stofflichen Verwertungen,
- Kehrichtverbrennungsanlage als Lieferant von Wärme und Strom.

Da die Umweltauswirkungen durch die Transporte „nur“ einen geringen Teil an der gesamten Umweltauswirkungen ausmacht und um die Analyse kurz zu halten, wurde auf ein Szenario mit veränderten Transportdistanzen und Transportmitteln (und Exporten ins Ausland) verzichtet. Aus den gleichen Gründen wurde auch eine Veränderung des Gewichts der PET-Flaschen nicht geprüft.

Zusätzlich wurde jedoch untersucht, inwiefern sich die Umweltauswirkungen zwischen dem offenen und geschlossenen Kreislauf unterscheiden.

4.2 Ergebnisse des Standardszenarios

Basierend auf den Angaben aus Abschnitt 3 werden in diesem Kapitel die Ergebnisse für das Standardszenario vorgestellt. Alle Teilprozesse und Szenarien wurden auf die Herstellung von R-PET-Flakes bzw. -Granulate für die Produktion von 1000 kg PET-Preforms normiert, was der funktionellen Einheit entspricht.

In der Abbildung 8 sind die Umweltauswirkungen des Ist-Zustandes relativ zum Basisszenario dargestellt. Berücksichtigt sind alle Prozesse von der Herstellung bis zur Entsorgung von PET-Preforms/Flaschen.

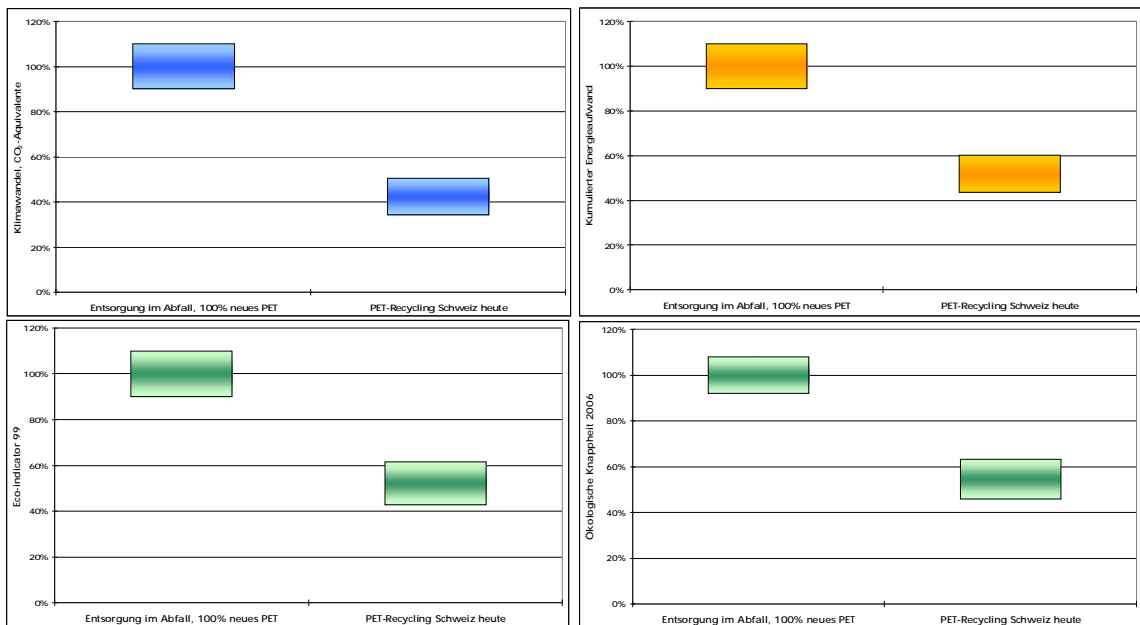


Abbildung 8 Vergleich der klimawirksamen Emissionen, des kumulierten Energieaufwandes der nicht erneuerbaren Ressourcen und der Gesamtumweltauswirkung (Eco-Indicator '99 und Ökologische Knappheit O6) zwischen dem Basisszenario und dem IST-Zustand des PET-Recyclings in der Schweiz. Die Ausdehnung der Balken zeigt die Unsicherheit der Ergebnisse.

Alle vier Bewertungsmethoden zeigen eindeutig, dass das PET-Recycling in der Schweiz sinnvoller ist, als die Entsorgung der PET Flaschen in der KVA und einer Herstellung aus neuem PET. Die Reduktion der klimawirksamen Emissionen beträgt knapp 60%, die Energieaufwände und die Gesamtumweltauswirkungen können um gute 50% reduziert werden.

In der Abbildung 9 werden für jede Bewertungsmethode die Teilprozesse des PET-Recyclings relativ zum Basisszenario (100%) dargestellt. Zudem wird das Total jeder Bewertungsmethode und der Nutzen des Recyclings ausgewiesen.

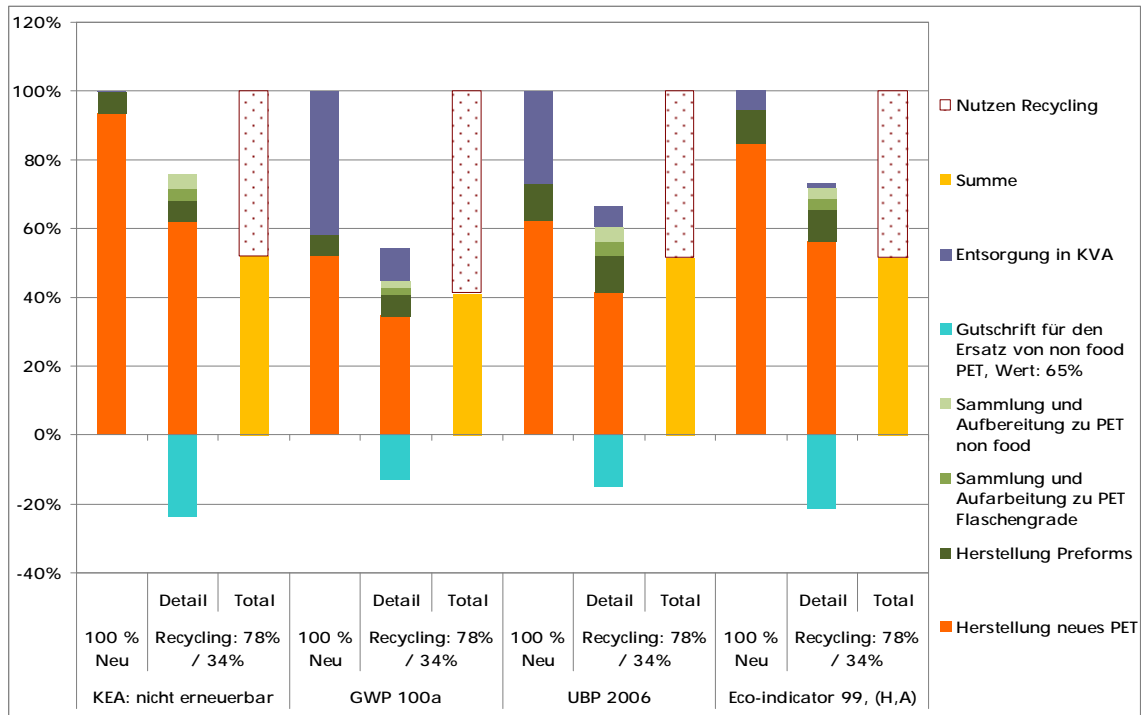


Abbildung 9 Umweltauswirkungen relativ zur Vergleichsbasis (100%). Dargestellt werden sowohl die Teilprozesse der Bewertungsmethode wie auch die Summe der einzelnen Bewertungsmethoden.

Die Gewichtung der Teilprozesse in den einzelnen Bewertungsmethoden ist teilweise verschieden. Die Summen der Bewertungsmethoden liegen jedoch alle in einem ähnlichen Bereich und geben somit den Hinweis, dass die Ergebnisse aussagekräftig sind.

Der Teilprozess „Entsorgung in KVA“ wird in jeder Methode unterschiedlich gewertet. Da kaum Energie aufgewendet werden muss, um Abfälle zu Verbrennen, sind die Auswirkungen der Entsorgung mit der Bewertung KEA sehr gering. Hingegen entstehen Emissionen, v.a. CO₂, welche bei den anderen Methoden zum Tragen kommen. Unterschiede bestehen auch bei dem Teilprozess „Herstellung von neuem PET“. Der energieaufwändige Prozess wird mit KEA am stärksten gewichtet, da mit dieser Methode die nicht erneuerbaren Ressourcen (Rohöl, Erdgas) wie sie für die Herstellung von PET eingesetzt werden stark berücksichtigt werden. Die stärkere Gewichtung der nicht erneuerbaren Ressourcen kommt auch beim Eco-Indicator 99 zum tragen und macht den Hauptunterschied zu den UBP 06 aus, welche den Emissionen mehr Umweltbelastung zuschreiben.

Die Betrachtung der Teilprozesse zeigt, dass beim Recyclingsystem jeweils die Herstellung und Einsatz von neuem PET den grössten Anteil an der Summe ausmacht. Die Sammlung der PET-Flaschen und deren Aufarbeitung zu R-PET bewirken nur ungefähr 10% der gesamten Umweltbelastung. Die Belastung durch die Entsorgung in der KVA kann durch das Recycling deutlich reduziert werden (wenige Prozente beim Eco-Indicator 99 bis zu gut 30% bei den klimawirksamen Emissionen). Die Gutschrift für die Ersparnisse von neuem PET ohne Flaschenqualität kann bis zu gut 20% ausmachen.

4.2.1 Detailanalyse der Herstellung von R-PET Flakes/Granulat

Abbildung 10 gibt die Umweltbelastung wider, welche aus der Herstellung von R-PET-Flakes/Granulat in Flaschenqualität ergeben. Hier ist die Herstellung der Preforms und die Entsorgung eines Teils der PET-Flaschen in der KVA noch nicht berücksichtigt, sondern es geht darum, den Aufwand für die R-PET-Produktion, welche den nachfolgenden Szenarien zugrunde liegt, genauer betrachten zu können.

Die Logistik und die Sammelbehältnisse, welche für das Einsammeln der PET-Flaschen zur Verfügung gestellt werden, machen knappe 30% resp. 10% der gesamten Umweltbelastung aus. Etwas über 60% der Gesamtumweltbelastung wird durch das eigentliche Recycling verursacht, wobei fast die Hälfte durch die Energieaufwände (zur Hauptsache Strom) bestimmt wird.

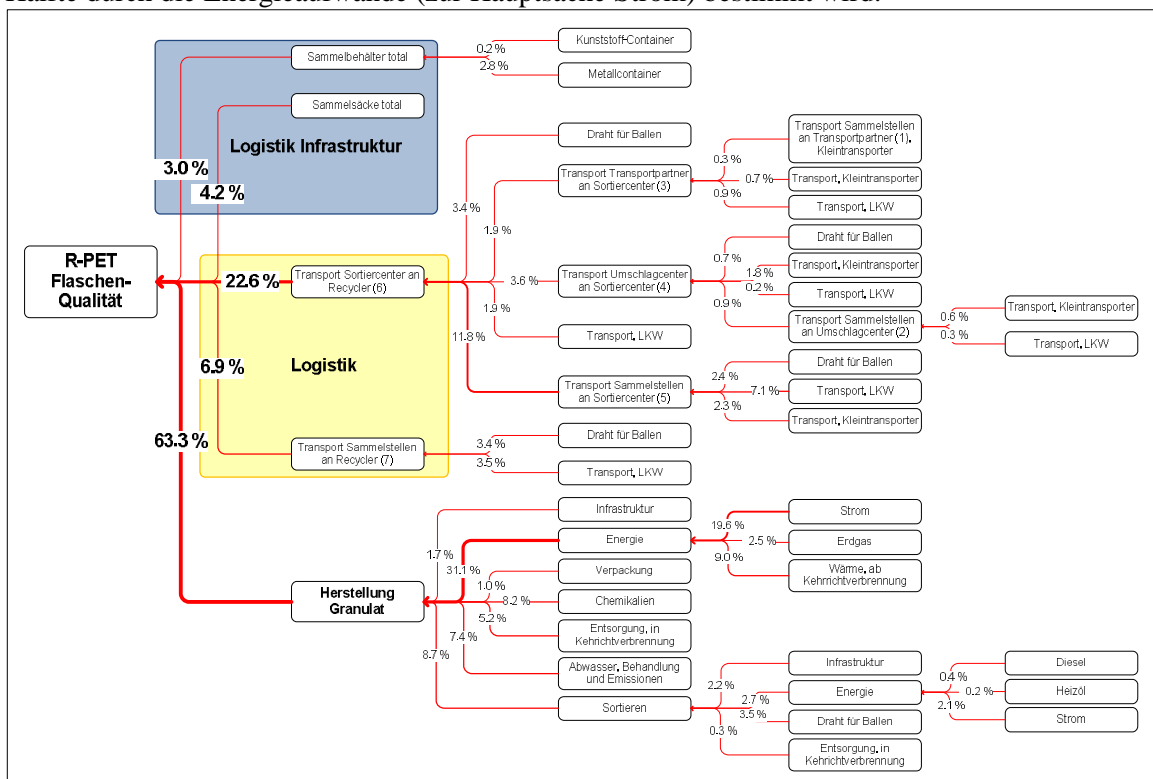


Abbildung 10 Umweltbelastung der Herstellung von PET-Flakes/Granulat mit Flaschenqualität. Die Umweltbelastung wurde mit Umweltbelastungspunkten (UBP 06) berechnet.

4.2.2 Fazit Standardszenario

Die verschiedenen Methoden zeigen nur sehr geringfügige Unterschiede in der Beurteilung, und zeigen klar einen deutlichen Nutzen durch das Recycling von PET. Diese Aussagen sind unabhängig von der verwendeten Bewertungsmethode.

Die Teilprozesse Sammlung und Aufarbeitung zu PET in unterschiedlichen Qualitäten weisen nur geringfügige Umweltauswirkungen auf im Vergleich zu anderen Teilprozessen, führen aber dazu, dass hohe Einsparungen von Umweltauswirkungen bei der Entsorgung in der KVA und der Herstellung von neuem PET erreicht werden.

4.3 Ergebnisse der Variationen

In der folgenden Übersicht sind einige der Variationen, welche zur Sensitivitätsanalyse erstellt wurden, zusammengefasst. Aufgeführt sind die Darstellungen von folgenden sensitiven Parametern:

- Erhöhung der Verwertungsquote
- Veränderung des Rezyklat-Anteils in den Flaschen
- Variation der Gutschrift für R-PET ohne Flaschenqualität und
- Nutzung der durch die KVA produzierten Energie.

4.3.1 Zukunftsszenarien, bessere Verwertungsquote und höherer Rezyklatanteil in der Flasche

Mit den Zukunftsszenarien soll beleuchtet werden, ob für das PET-Recycling in der Schweiz noch Optimierungspotentiale bezüglich Umweltauswirkungen bestehen, oder ob bereits das Maximum erreicht wurde.

Seit diesem Jahr können die PET-Flaschen zu 100% aus R-PET hergestellt werden (Zustimmung des BAG vom 01.07.2008). Da jedoch nicht genügend R-PET vorhanden ist, macht es wenig Sinn ein Szenario mit so hohem Rezyklatanteil zu berechnen. Die Wahl der Szenarien wurde deshalb von der PRS errechnet, womit gewährleistet wird, dass es sich um machbare Szenarien handelt. Dabei wurde der Anteil an hellem (transparent und blau) Flaschenmaterial der letzten Jahre berücksichtigt. Nur dieses Material kann für den PET-Flaschenzyklus (closed loop) verwendet werden und ist somit der limitierende Parameter im Recycling-System „bottle to bottle“.

Demzufolge wurden folgende Szenarien gewählt:

Zukunftsvariante 1: Verwertungsquote 80%, Rezyklatanteil in der Flasche 52%

Zukunftsvariante 2: Verwertungsquote 85%, Rezyklatanteil in der Flasche 60%.

Die Abbildung 11 bis Abbildung 14 stellen die Umweltauswirkungen der Zukunftsszenarien im Vergleich mit den Standardszenarien dar.

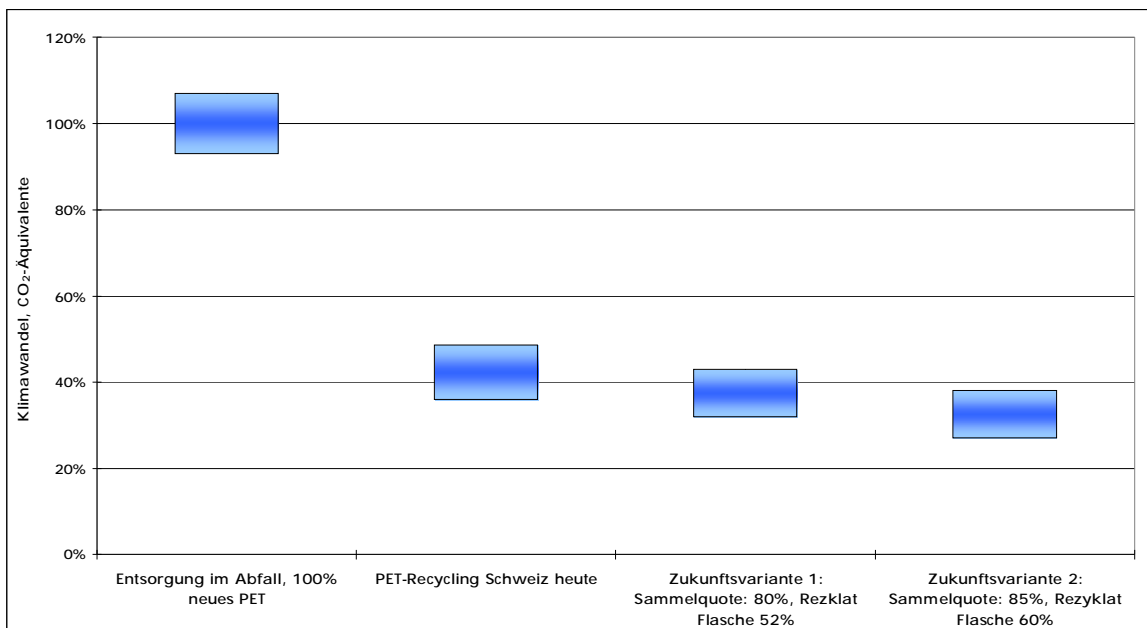


Abbildung 11 Vergleich der klimawirksamen Emissionen zwischen dem Basisszenario, dem IST-Zustand des PET-Recyclings in der Schweiz und zwei Zukunftsszenarien. Die Ausdehnung der Balken zeigt die Unsicherheit der Ergebnisse.

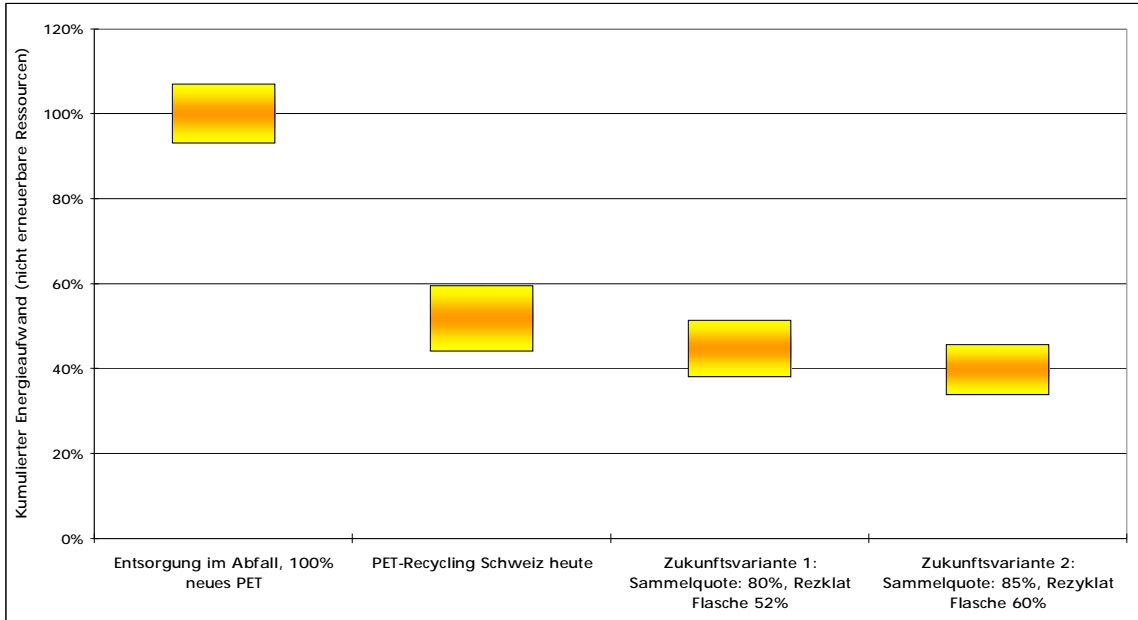


Abbildung 12 Vergleich der kumulierten Energieaufwände nicht erneuerbaren Ressourcen zwischen dem Basisszenario, dem IST-Zustand des PET-Recyclings in der Schweiz und zwei Zukunftsszenarien. Die Ausdehnung der Balken zeigt die Unsicherheit der Ergebnisse.

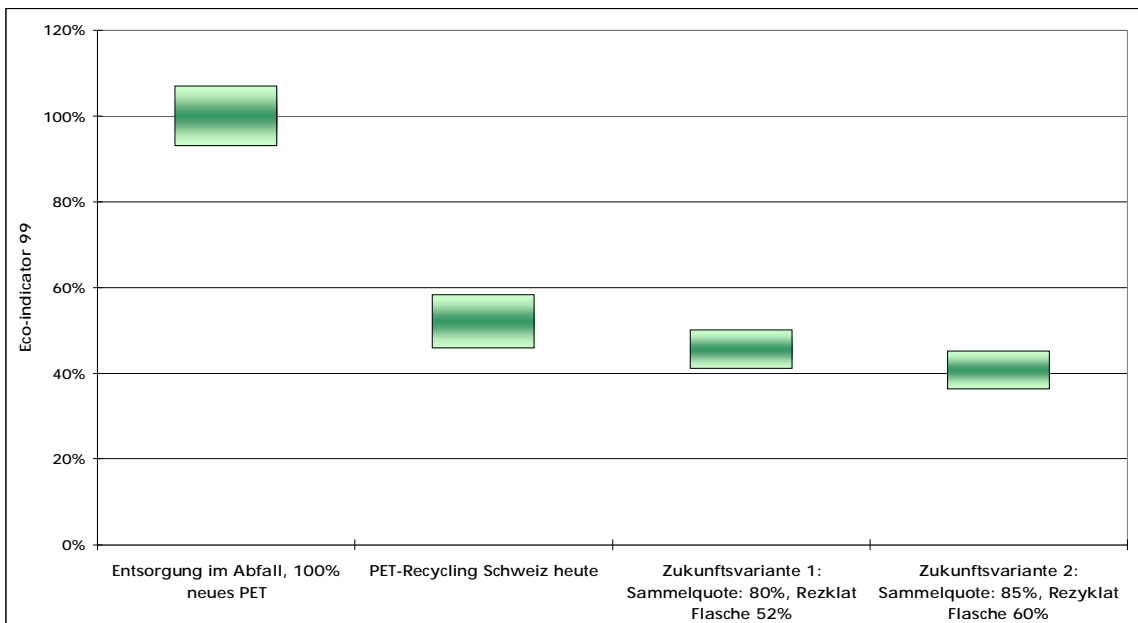


Abbildung 13 Vergleich der Gesamtumweltauswirkung Eco-Indicator '99 zwischen dem Basisszenario, dem IST-Zustand des PET-Recyclings in der Schweiz und zwei Zukunftsszenarien. Die Ausdehnung der Balken zeigt die Unsicherheit der Ergebnisse.



Abbildung 14 Vergleich der Gesamtumweltauswirkung Ökologische Knappheit '06 (UBP) zwischen dem Basisszenario, dem IST-Zustand des PET-Recyclings in der Schweiz und zwei Zukunftsszenarien. Die Ausdehnung der Balken zeigt die Unsicherheit der Ergebnisse.

Variationen der Verwertungsquote und des Anteils des Rezyklats in den PET-Flaschen bewirken eine Reduktion der Umweltauswirkungen von zirka 10% bzw. 15%. Die Unterschiede sind nur teilweise signifikant.

Damit stellt ich die Frage, wo es sich in Zukunft lohnt mehr Aufwand in der Umsetzung zu betreiben? Vermag die Verbesserung der Verwertungsquote oder die Erhöhung des Rezyklatanteils in den Flaschen, mehr Nutzen erbringen beziehungsweise die Umweltauswirkungen stärker reduzieren? Aus Abbildung 15 ist ersichtlich, dass beide Prozessverbesserungen eine Reduktion in der Gesamtumweltbelastung erbringen. Die Erhöhung des Rezyklatanteils auf ein momentan berechnetes Maximum von 60% in der Flasche führt jedoch zu einer fast doppelt so hohen Reduktion im Vergleich zur Erhöhung der Verwertungsquote auf ein momentan abgeschätztes Maximum von 85%. Eine Kombination der Verbesserungsraten ist aus ökologischer Sicht der beste Weg.

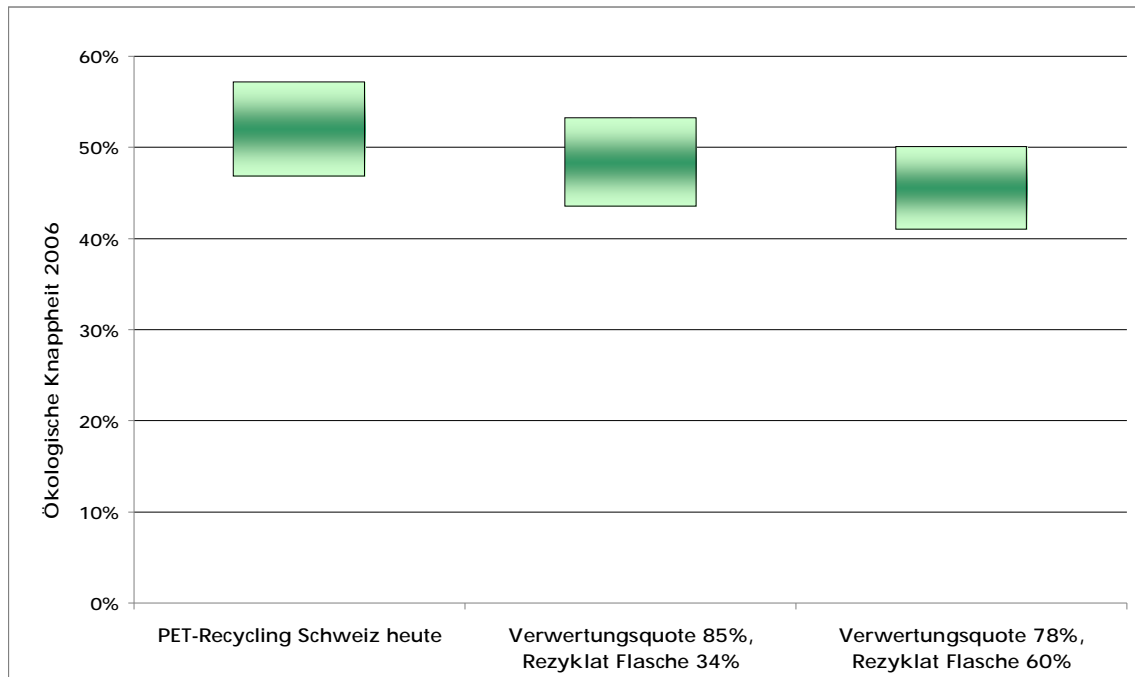


Abbildung 15 Auswirkungen einer verbesserten Verwertungsquote bzw. eines erhöhten Rezyklatanteils in den PET-Flaschen. Die Ausdehnung der Balken zeigt die Unsicherheit der Ergebnisse.

4.3.2 Nutzen des PET-Recyclings: Vergleich zwischen offenem und geschlossenem Kreislauf

Die Gegenüberstellung des „open loop“ und „closed loop“ (Systeme und Systemgrenzen sind der Abbildung 7 zu entnehmen) zeigt, dass die Herstellung von R-PET mit Flaschenqualität und dem nachfolgenden Ersatz von neuem PET bei der Flaschenherstellung höhere Einsparungen an klimawirksamen Emissionen, nicht erneuerbaren Ressourcen und tiefere Gesamtweltauswirkungen erreicht wird, als durch den Ersatz von PET in anderen stofflichen Verwertungen (siehe Abbildung 16 - Abbildung 18). Dabei ist zu bedenken, dass die Flaschen mehrmalige Recycling-Umläufe machen, das PET für andere Erzeugnisse jedoch im Allgemeinen aus dem Kreislauf verloren geht, da diese Produkte in den meisten Fällen nicht mehr gesammelt und zur PET-Rezyklat aufgearbeitet werden. Demgegenüber können diese Produkte langlebiger PET-Flasche sein. Die Langlebigkeit wurde jedoch nicht in die Bilanz einbezogen, sondern nur die Tatsache, dass neues PET ersetzt wird.

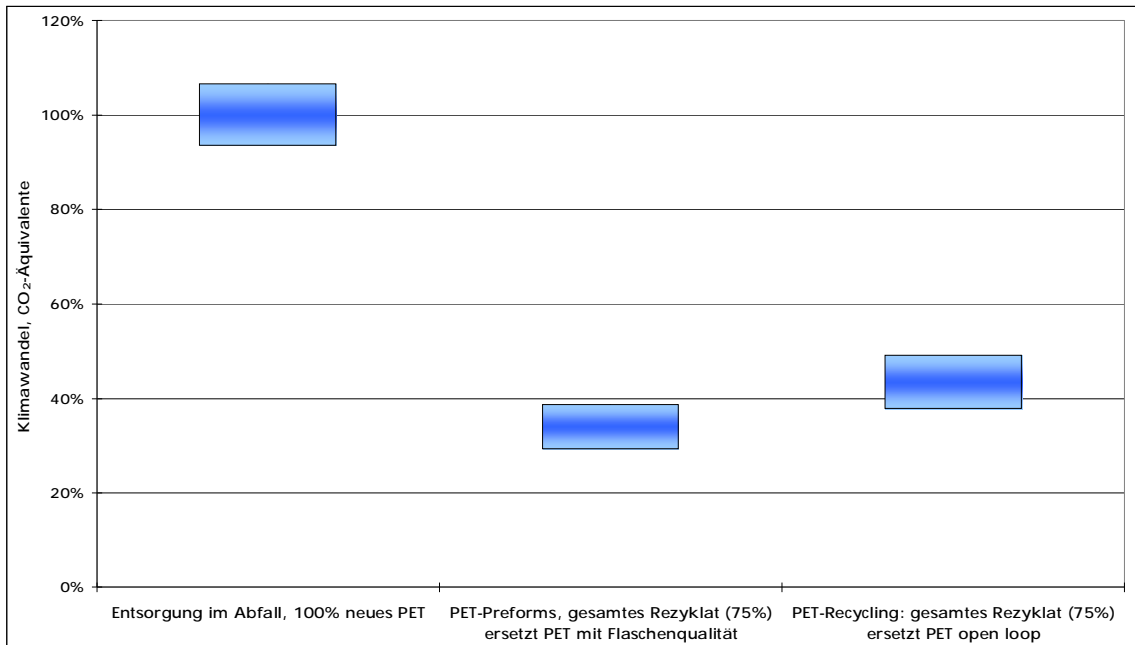


Abbildung 16 Klimawirksame Emissionen der Systeme „open loop“ und „closed loop“ im Vergleich zum Basisszenario, bei einem vollumfänglichen Einsatz der Verwertungsquote in dem jeweiligen Wiederverwertungsbereich. Für das System „open loop“ wurde wiederum eine ökonomische Gutschrift vorgenommen. Die Ausdehnung der Balken zeigt die Unsicherheit der Ergebnisse.

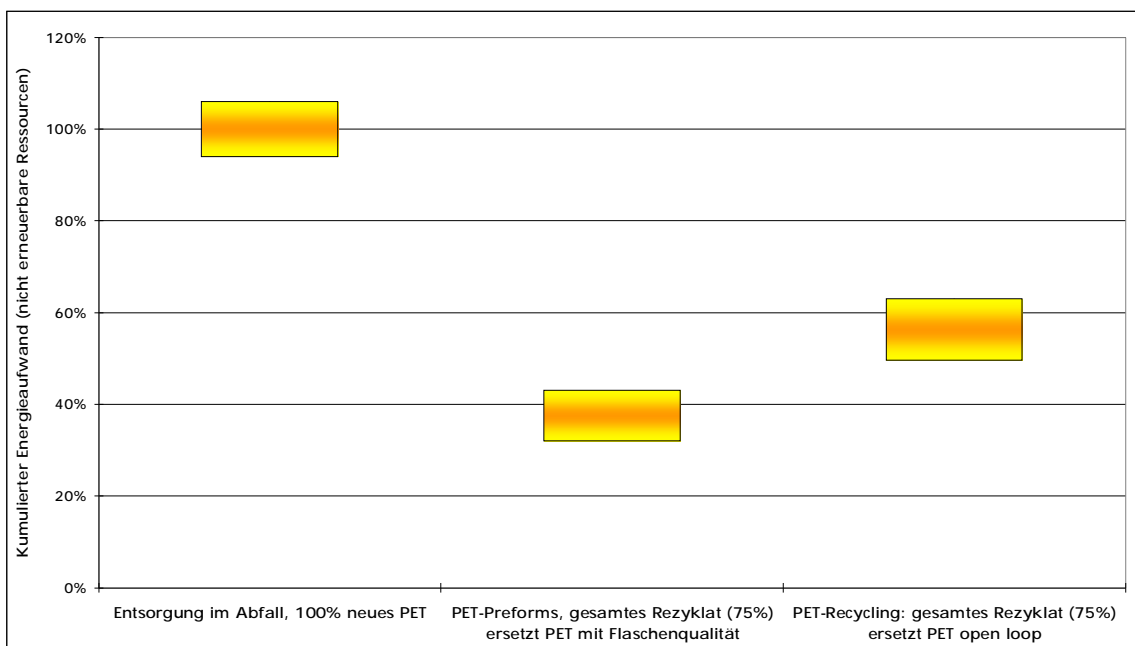


Abbildung 17 Kumulierter Energieaufwand der nicht erneuerbaren Ressourcen der Systeme „open loop“ und „closed loop“ im Vergleich zum Basisszenario, bei einem vollumfänglichen Einsatz der Verwertungsquote in dem jeweiligen Wiederverwertungsbereich. Die Ausdehnung der Balken zeigt die Unsicherheit der Ergebnisse.

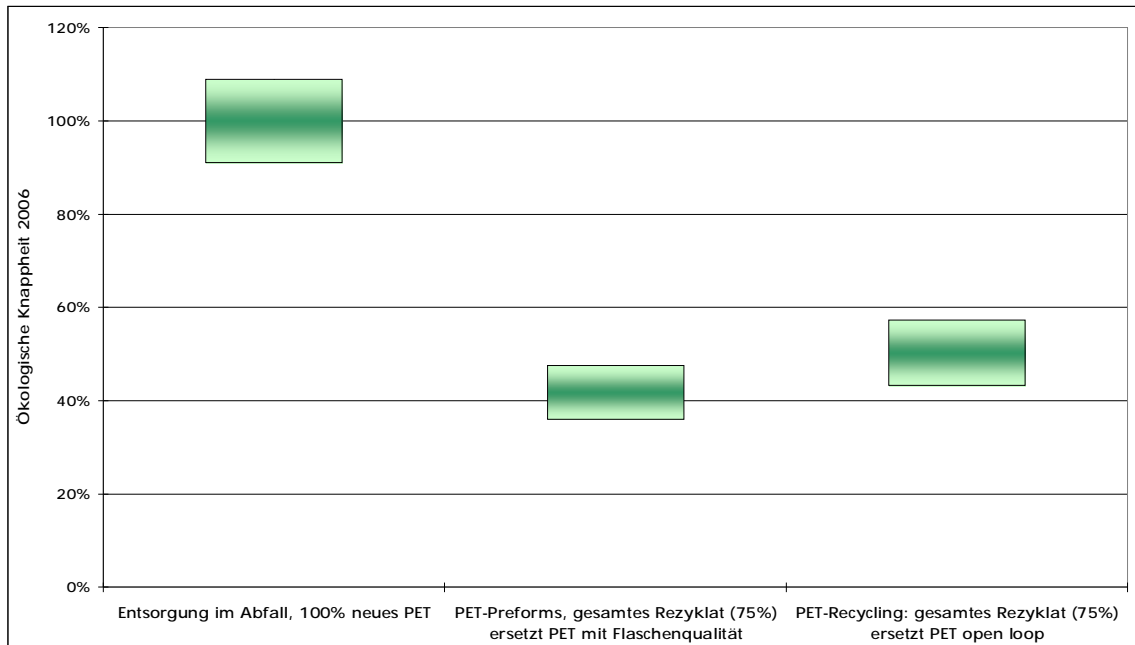


Abbildung 18 Gesamtumweltbelastung (Ökologische Knappheit 2006) der Systeme „open loop“ und „closed loop“ im Vergleich zum Basisszenario, bei einem vollumfänglichen Einsatz der Verwertungsquote in dem jeweiligen Wiederverwertungsbereich. Die Ausdehnung der Balken zeigt die Unsicherheit der Ergebnisse.

4.3.3 Sensitivität der ökonomischen Gutschrift

Die Gutschrift für das R-PET des offenen Kreislaufs richtet im Standardszenario entsprechend der verwendeten ökonomischen Allokation nach den heutigen Preisen. Diese betragen ca. 65% des Preises für neues PET. Eine Veränderung der ökonomischen Gutschrift auf 10 bzw. 90% ergibt relativ geringe Veränderungen an der Gesamtumweltbelastung im Vergleich zum IST-Zustand des PET Recyclings in der Schweiz. Auch bei diesen Extremwerten ergibt sich keine wesentliche Neubewertung des PET Recyclings in der Schweiz in dem Sinne, dass die Umweltbelastungen des stofflichen Recyclings in jedem Falle wesentlich geringer ist die Entsorgung in der KVA. Dies zeigt die Stabilität der Resultate.

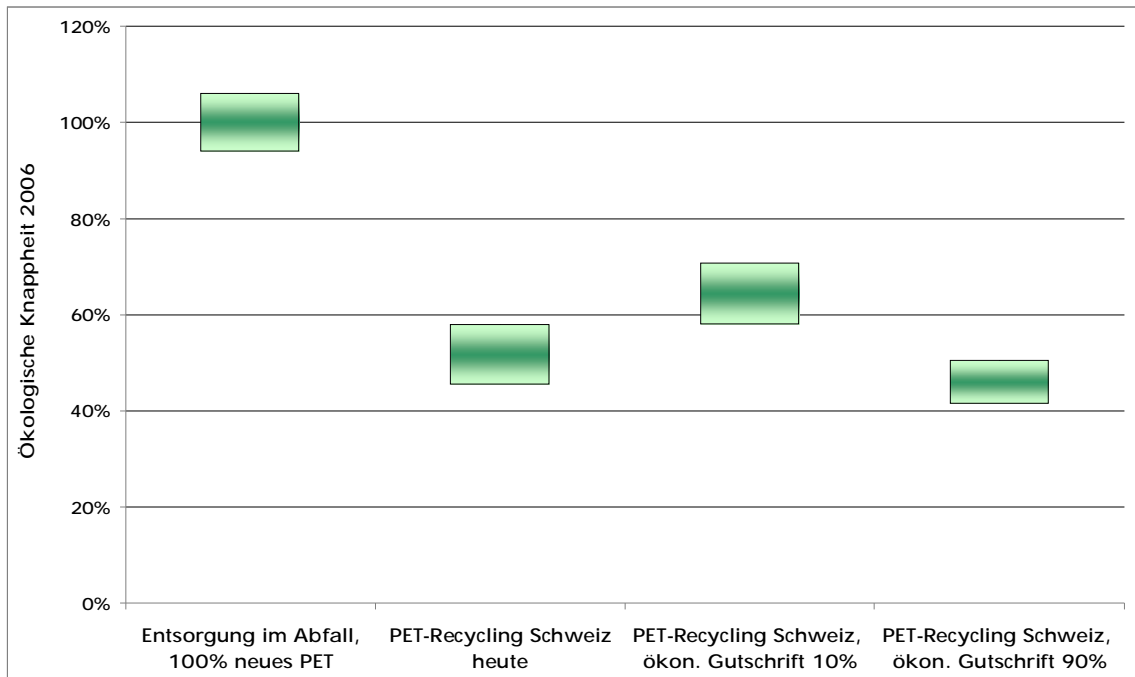


Abbildung 19 Gesamtumweltbelastung (Ökologische Knappheit 2006) der Systeme „open loop“ und „closed loop“ im Vergleich zum Basisszenario, bei einem vollumfänglichen Einsatz der Verwertungsquote in dem jeweiligen Wiederverwertungsbereich. Die Ausdehnung der Balken zeigt die Unsicherheit der Ergebnisse an.

4.3.4 Energienutzungs-Szenario

Um die Frage zu beantworten, ob es aus ökologischer Sicht sinnvoller ist PET stofflich oder energetisch zu verwerten, wurden Szenarien mit unterschiedlicher Energienutzung (Wärme und Strom) der KVA berechnet. In Abbildung 20 werden die Ergebnisse dargestellt mit den Gutschriften für die aktuellen in der Schweiz bezogenen Wärme- und Strommengen aus Kehrlichverbrennungsanlagen. Abbildung 21 stellt dar, wie der Nutzen des Recycling ausfallen würde, bei einem hohen Wirkungsgrad zukünftiger KVA's (Kehrlichheizkraftwerke KHKW).

Für die Berechnung der Gutschriften wurden folgende Annahmen gemacht:

- Wärme aus KVA ersetzt: 20% Erdgas und 80% Erdöl
- Strom aus KVA ersetzt: Europäischer Strom-Mix UCTE

Durch die Verwendung des europäischen Strom-Mix ergibt sich eine sehr hohe Gutschrift für die Energienutzung.

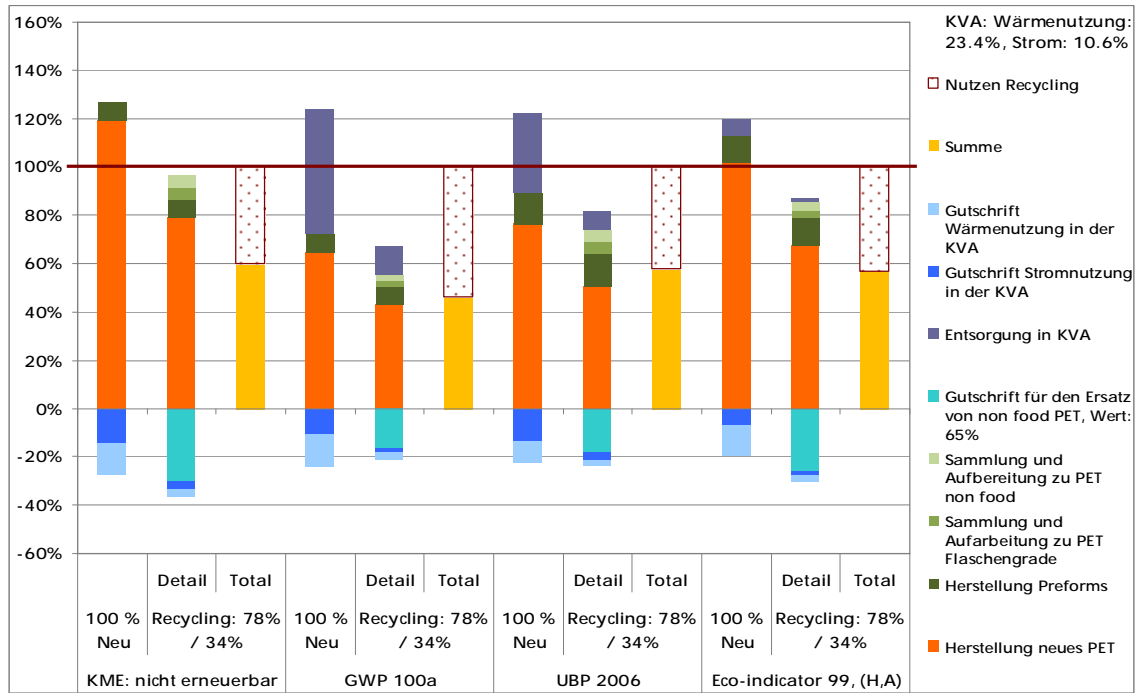


Abbildung 20 Nutzen des PET-Recyclings mit einer Gutschrift für Wärme und Strom aus der KVA, Stand 2007.

Durch die Gutschrift für die Energienutzung der KVA reduziert sich die Umweltauswirkung des Basisszenarios (Herstellung der PET-Flaschen aus 100% neuem PET, Entsorgung in der KVA) um 20%. Der Nutzen des PET-Recyclings verkleinert sich damit um zirka 10% bei allen Bewertungsmethoden im Vergleich zu den obigen Abbildungen ohne Energie-Gutschriften (Abbildung 20 und Abbildung 21). Auch mit hohem Wirkungsgrad der KVA kann die Effizienz des PET-Recyclings jedoch nicht erreicht werden.

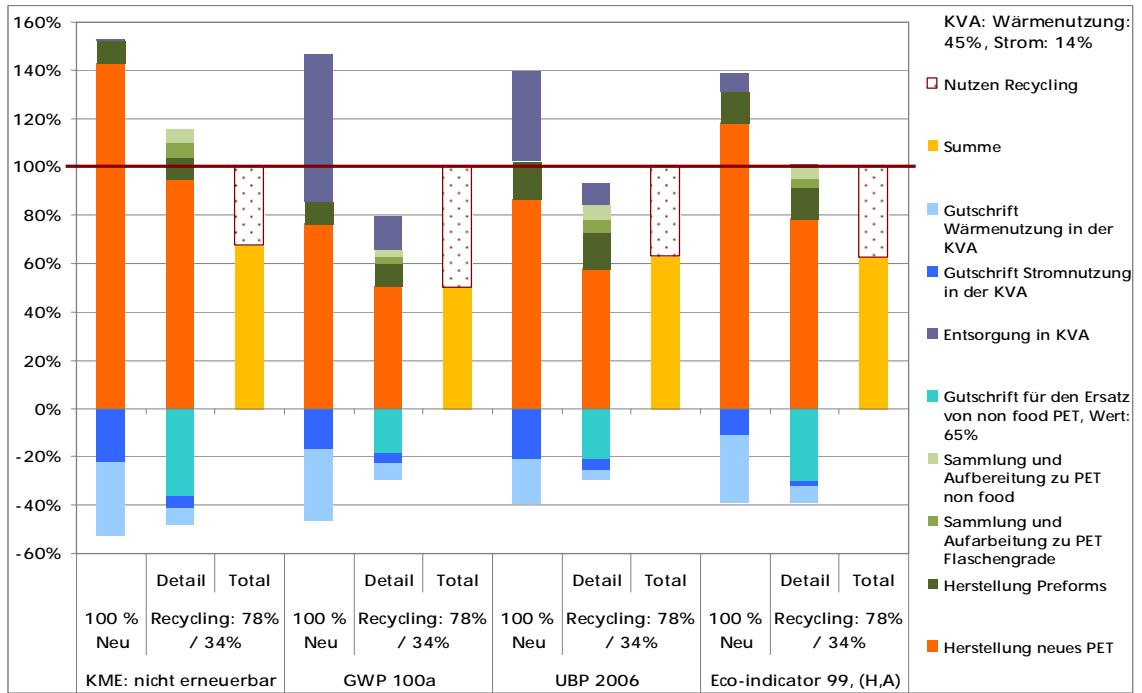


Abbildung 21 Nutzen des PET-Recyclings mit einer Gutschrift für Wärme und Strom aus der KVA, Zukunft (KVA mit hohem Wirkungsgrad).

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Das PET-Recycling in der Schweiz, wie es heute durchgeführt wird, bewirkt eine Reduktion in der Gesamtumweltbelastung bewertet mit Eco-Indicator 99 und UBP 06 bis fast 50%. Dies zeigt sich auch in einer Reduktion der klimawirksamen Emissionen von bis zu 50% und in der Einsparung von nicht erneuerbaren Ressourcen bis zu 60%. Damit wurde bereits ein hohes Potential des Recycling-Systems ausgeschöpft. Eine Relevanzanalyse hat gezeigt, dass die Hauptlast an den bleibenden Umweltauswirkungen durch die Herstellung und den Einsatz von neuem PET getragen wird. Wogegen die Umweltauswirkungen der eigentlichen Arbeit der PRS, das Sammeln, Sortieren und Aufarbeiten von PET zu Flakes oder Granulat mit 10 – 20% von untergeordneter Bedeutung sind. Dieser Zusatzaufwand der PRS bildet jedoch die Voraussetzung für ein funktionierendes, stoffliches Recyclingsystem, welches zu einer hohen Reduktion der Umweltauswirkungen führt, bei der Entsorgung in der KVA und durch die Reduktion im Einsatz von neuem PET (was auch in der Gutschrift für den open loop sichtbar wird).

Die Aussagekraft dieses Ergebnisses wurde nicht nur durch die Anwendung von verschiedenen Bewertungsmethoden geprüft, sondern auch durch Variation verschiedener Rahmenbedingungen, wie z. B. Gutschrift für die Energiebereitstellung durch die KVA und Gutschrift für das open loop PET.

Beide Sensitivätsberechnungen haben gezeigt, dass die Resultate nur wenig verändert werden und immer bleibt ein hoher Nutzen durch das PET-Recycling bestehen.

Aus diesem Grunde können die Ergebnisse als stabil und aussagekräftig bezeichnet werden.

Weiter wurde der Frage nachgegangen, ob durch eine weitere Erhöhung der Verwertungsquote und des Rezyklatanteils in den PET-Flaschen eine zusätzliche signifikante Reduktion der Umweltauswirkungen erreicht werden kann. Obwohl schon wesentliche Reduktionen erreicht werden konnten, können mit einer Erhöhung der Sammel- und Verwertungsquote die Umweltauswirkungen um weitere 20 – 30% gegenüber dem heutigen System gesenkt werden. Die Möglichkeit des Einsatzes von R-PET in Flaschen ist auch stark vom Design der PET-Flasche wie z.B. deren Farbe abhängig. Da die Erhöhung des Rezyklatanteils in den Flaschen noch mehr Potential birgt als die Verbesserung der Sammelquote, kann damit eine höhere Wirkung bei der Reduktion der Umweltauswirkungen erreicht werden.

Nutzen des gesamten PET Recycling Systems der Schweiz in Zahlen ausgedrückt, wird durch das PET-Recycling folgendes erreicht bzw. eingespart:

- Einsparung von 112'500 t CO₂-Äquivalenten, dies entspricht:
 - 0.2% des gesamten Treibhausgas-Ausstosses der Schweiz (53.2 Mio. t CO₂-Äquivalente im Jahre 2006);
 - Emissionen der Heizungen von knapp 30'000 Haushalten pro Jahr oder
 - Emissionen von knapp 27'500 Personenwagen pro Jahr (Schweizer Durchschnitt).
- Einsparung von 50% Energie (nicht erneuerbare Ressourcen) entspricht:
 - 42 Mio. Liter Erdöl, womit
 - 32'000 Haushalte geheizt werden könnten.

Empfehlungen

Auf Grund der Ergebnisse dieser Studie können aus ökologischer Sicht die folgenden Empfehlungen abgegeben werden:

- PET-Recycling in der Schweiz schneidet im Vergleich zur Entsorgung von PET in der KVA ökologisch deutlich besser ab und sollte deshalb unbedingt weitergeführt werden.
- Optimierungspotential ist noch vorhanden und sollte sowohl bei der weiteren Verbesserung der Verwertungsquote und vor allem bei der Erhöhung des Rezyklatanteils in der PET-Flasche angestrebt werden. Letzteres wird vor allem möglich sein, da seit diesem Jahr PET-Flaschen aus 100% PET-Rezyklat hergestellt werden darf.
- Hierzu ist es auch eine Zusammenarbeit mit den Designern der Flaschen notwendig, da z.B. unterschiedliche Farben den Einsatz im Kreislauf reduzieren können.
- Eine Veränderung im Design (vermehrt buntes PET, leichtere Flaschen) kann die Umweltauswirkungen beeinflussen. Deshalb wird wohl eine Zusammenarbeit mit den Kunden, welche PET-Flaschen nachfragen und das Design bestimmen, wichtiger werden.
- Die Herstellung von R-PET mit Flaschenqualität ist nicht mit signifikant höheren Umweltauswirkungen verbunden als die Herstellung von R-PET ohne Flaschenqualität. Zu beachten ist jedoch, dass der geschlossene Flaschenkreislauf eine mehrmalige Nutzung ermöglicht und somit ökologisch (und vermutlich auch ökonomisch) sinnvoller ist und gefördert werden sollte.
- Die Logistik trägt nur zu einem kleinen Teil an den Umweltauswirkungen bei. Trotzdem könnten voraussichtlich durch eine Optimierung der Logistik nicht nur Umweltauswirkungen sondern voraussichtlich auch Kosten gespart werden.
- Vermutlich können auch die Sortierer und Recycler noch gewisse Einsparungen z.B. an Ressourcen (Wasser, Erdgas) und Strom vornehmen.
- Eine Ergänzung dieser Studie mit der ökonomischen Dimension (Öko-Effizienz Analyse) ist für die strategische Planung zu empfehlen. Damit kann z.B. der optimale Einsatz der finanziellen Mittel aufgezeigt werden.

6 Literatur

- [1] ISO, 2006a. *ISO 14040*, in *Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*. 2006: Geneva.
- [2] ISO, 2006b. *ISO 14040*, in *Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines*. 2006: Geneva.
- [3] *ecoinvent 2006: Ökoinventare von Energiesystemen, Transporten und Grundmaterialien, Version 2.01*. März 2008.
- [4] Hauschild, M. und H. Wenzel, *Environmental Assessment of Products: Scientific background*. 1998: London. p. 565
- [5] Guinée, J.B., *Life cycle assessment; An operational guide to the ISO standards; Characterisation and Normalisation Factors*. 2001, CML.
- [6] Goedkoop, M., *The Eco-Indicator 1999*. 2000: Amersfoort.
- [7] Heijungs, "Environmental Live Cycle Analysis of Products". 1992, Centrum voor Milieukunde: Leiden.
- [8] Frischknecht, R., R. Steiner, und N. Jungbluth, *Ökobilanzen: Methode der ökologischen Knappheit – Ökofaktoren 2006*. Methode für die Wirkungsabschätzungen in Ökobilanzen. Öbu SR 28/2008.
- [9] Doka G. (2007) Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. ecoinventreport No. 13, Kapitel 2.4.2, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, December 2007.

Kritische Stellungnahme (Peer Review) des Gutachters zur LCA-Studie
[Ersteller: Carbotech AG, Eulerstrasse 68, 4051 Basel; Oktober 2008]:

«Ökologischer Nutzen des PET-Recyclings in der Schweiz»

Bericht zur kritischen Prüfung

von

Paul W. Gilgen

Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa)
8600 Dübendorf

zu Händen des Auftraggebers der Peer Review:

Verein PRS, PET-Recycling Schweiz
Naglerwiesenstrasse 4, 8049 Zürich
Herr Jean-Claude Würmli

31. Oktober 2008

Inhalt

	Seite
1 Vorbemerkung	2
2 Detailliert überprüfte Abschnitte	3
3 Summarisch begutachtete Abschnitte	4
4 Befunde	4
5 Besondere Bemerkungen	5
6 Fazit	5

1 Vorbemerkung

Das vorliegende kritische Gutachten zur LCA-Studie «**Ökologischer Nutzen des PET-Recyclings in der Schweiz**» der Carbotech AG ist im wesentlichen in den Kalenderwochen 33, 34 und 37 erstellt worden. Ziel war, die Befunde der kritischen Prüfung bereits anlässlich der PRS-Veranstaltung «PET-Forum 2008» am 11. September 2008 in Bern vorzustellen, was mit einem entsprechenden Vortrag denn auch so erfolgt ist (diese PowerPoint-Präsentation liegt dem Auftraggeber der Studie und des Gutachtens vor, sie ergänzt vorliegenden Bericht zur kritischen Prüfung).

Grundlage für das kritische Gutachten war ein vorliegender Entwurf der Studie; von den beiden Möglichkeiten der kritischen Prüfung – parallel zur Entwicklung einer LCA-Studie oder nach deren Abschluss – ist hier die erste Variante gewählt worden. Die Bemerkungen, Anregungen und Einwände des Gutachters sind an drei Meetings mit Herrn Dr. Fredy Dinkel (und zeitweise Frau Andrea Hauser) in den Büros der Carbotech AG in Basel eingehend diskutiert worden, also im Zuge der Erarbeitung der Studie: 12. August 2008, 19. August 2008 und 9. September 2008.

Ohne Ausnahme sind sämtliche der vorgetragenen Feststellungen übernommen und in der Endfassung berücksichtigt worden.

2 Detailliert überprüfte Abschnitte

Wie bei (fast) allen Ökobilanz-Studien – überhaupt bei vielen natur- und ingenieurwissenschaftlichen Arbeiten – sind die Zahlen in den Resultaten (OUTPUT) das funktionale Ergebnis der Zahlen und numerischen Annahmen in den Eingangsgrössen (INPUT); die Transformation wird nicht durch Meinungen, sondern durch Tatsachen bestimmt. Die Systemgrenzen legen fest, was berücksichtigt wird und was draussen vor bleibt. Der Computer rechnet anschließend mit jenen Grössen, mit denen er gefüttert wird, und rechnen tut er richtig.

Das bedeutet, dass in Ökobilanz-Studien besondere Sorgfalt auf die kritische Prüfung aller Input-Grössen gelegt werden muss, weil eben sie es sind, die das Ergebnis determinieren. Deshalb sind auch im vorliegenden Fall sämtliche Eingangsgrössen, ihre Zahlenwerte mitsamt allfälligen Annahmen detailliert überprüft worden. Besonders intensiv sind folgende vier Punkte diskutiert worden, und hat der Gutachter dabei Einfluss genommen:

- Die Festlegung der Systemgrenzen und die hierfür herangezogenen Kriterien.
- Eine zweckdienliche Definition der funktionellen Einheit: 1'000 kg Preforms.
- Die Bemessung jener Gutschrift, welche PET im Falle des Open-Loop-Recyclings beim Austritt aus dem untersuchten System erhält: es soll ein ökonomisches Kriterium herangezogen werden, nämlich das Verhältnis der Preise von neuem zu rezykliertem Material (letzterer beträgt durchschnittlich 65 % des Preises von neuem PET).
- Die Festlegung der anzunehmenden Sammelquoten sowie der anzunehmenden Rezyklat-Anteile in PET-Getränkeflaschen, je in einem Szenario 1 und in einem Szenario 2: 80% Sammelquote und 52% Rezyklat-Anteil bzw. 85% Sammelquote und 60% Rezyklat-Anteil.

Als Ergebnis hat die detaillierte Überprüfung folgendes ergeben:

- Die LCA-Studie ist transparent dargestellt.
- Die Struktur ist nachvollziehbar beschrieben.
- Die Sachlogik ist verständlich und plausibel.
- Es sind weder Fehler noch sonstige Auffälligkeiten gefunden worden.
- Zum Text sind etliche Anmerkungen und Vorschläge (z.B. Präzisierungen in der Nomenklatur) zu verbessertem sprachlichem Verständnis vorgebracht worden.
- Auch bei den Visualisierung hat der Gutachter verschiedene Verbesserungen

angeregt, die ebenfalls übernommen worden sind.

Die Studie hinterlässt einen insgesamt sehr guten Eindruck. Überall ist die grosse Erfahrung der Carbotech AG deutlich erkennbar.

3 Summarisch begutachtete Abschnitte

Die eigentlichen Kalkulationen sind nicht Zeile für Zeile, sondern summarisch begutachtet worden. Die Zahlenwerte der Zwischen- und Endergebnisse sind aber durchwegs plausibel, Auffälligkeiten fanden sich keine. Die für Ökoinventar- und Ökobilanzrechnungen benutzten Computerprogramme sind wohlbekannt, haben sich in praxi bewährt und sie sind entsprechend weit verbreitet. Gleiches gilt für die herangezogenen Basisdaten, welche der führenden Öko-Datenbank **ecoinvent**[®] entnommen sind.

4 Befunde

Der in der LCA-Studie ausgewiesene ökologische Nutzen des PET-Recyclings in der Schweiz kann bestätigt werden. Neben zahlreichen anderen Zahlenwerten, welche diesen Nutzen charakterisieren, gilt das insbesondere auch für folgende drei Befunde:

- Würden die PET-Getränkeflaschen nicht separat gesammelt, nicht zu sog. Flakes aufgearbeitet und nicht in neuen Getränkeflaschen als Rezyklat eingesetzt (heute bereits mit einem Anteil von 35%), sondern würden sie zusammen mit dem übrigen Siedlungskehricht in einer KVA verbrannt, dann wäre die insgesamt Umweltbeanspruchung rund doppelt so hoch.
- Auch bei einer optimalen energetischen Nutzung in einem Kehricht-Heizkraftwerk sind die Umweltbelastungen rund 70% höher als bei der stofflichen Wiederverwertung von PET-Getränkeflaschen.
- Verglichen mit dem Einsatz von ausschliesslichem Neumaterial werden in der Herstellung von PET-Getränkeflaschen pro Kilogramm Granulat wegen dessen Rezyklat-Anteil von 35% bereits heute 3 kg CO₂ eingespart. Mit weiteren Verbesserungen in Sammlung und Aufbereitung sowie einem erhöhten Rezyklat-Anteil können in Zukunft bis gegen 4 kg CO₂ pro kg Granulat eingespart werden (was, bei heutigen Sammelmengen, dann zu einer Einsparung von über 130'000 Tonnen CO₂ führt).
- Der ökologische Nutzen der heutigen PRS-Anstrengungen ist evident, und das Recycling von PET-Getränkeflaschen trägt bei
 - zur Ressourcenschonung,

- zum Klimaschutz,
- zur Reduktion der Umweltbeanspruchung.

Der Gutachter bestätigt, dass die Carbotech AG mit ihrer LCA-Studie «Ökologischer Nutzen des PET-Recyclings in der Schweiz» diesen ökologischen Nutzen aufgezeigt sowie qualitativ und quantitativ korrekt dargestellt hat.

5 Besondere Bemerkungen

Zwei Sachverhalte veranlassen den Gutachter zu separaten Bemerkungen:

- Im untersuchten System klaffen ökologische und ökonomische Relevanz deutlich auseinander:
 - Die Umweltbeanspruchung wird hauptsächlich von der Herstellung des PET-Granulats verursacht;
 - die Kosten hingegen werden hauptsächlich von der Logistik verursacht.
- Die Ökonomie des Klimaschutzes ist bereits heute wichtig, und sie hat unternehmerische Bedeutung erlangt:
 - Im Sommer 2008 hat der Preis für European Carbon Futures (für CO₂-Emissionszertifikate) €17.20 pro Tonne CO₂ betragen;
 - in der Schweiz zahlt die «Stiftung Klimarappen» bis zu CHF 80.00 pro Tonne CO₂-Einsparung (Zahlungsbereitschaft, Vergütungsmöglichkeiten sowie konkreter Preis sind an verschiedene Bedingungen und Vorgaben der Politik und der Stiftung geknüpft);
 - PRS wird empfohlen, bei den zuständigen Stellen abzuklären, ob seine Anstrengungen zur CO₂-Vermeidung mittels erfolgreichem Recycling der PET-Getränkeflaschen nicht zusätzlich auch noch monetär vergütet werden könnten.

Diese beiden Sachverhalte soll PRS nun in all jene Investitionsüberlegungen einbeziehen, die zur ökologischen Verbesserung und ökonomischen Ausweitung der betrieblichen Tätigkeit geplant werden.

6 Fazit

Die Studie beantwortet die vom Verein PRS, PET-Recycling Schweiz (dem Auftraggeber der LCA) gestellte Frage nach dem ökologischen Nutzen des PET-Recyclings in der Schweiz. Die Studie kann als verlässliches und belastbares Element in die weitere ökologische und ökonomische Ausgestaltung des Re-

cyclings von PET-Getränkeflaschen sowie der damit einhergehenden Kommunikation genommen werden: Die ausgewiesenen Zahlenwerte sind vertrauenswürdig, die Darstellung der Resultate ist verständlich und praxistauglich sowie in allen Teilen nachvollziehbar.

Der Gutachter:



Paul W. Gilgen

8600 Dübendorf, 31. Oktober 2008

Geschäftsadresse des Gutachters:

Paul W. Gilgen

Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa)
Überlandstrasse 129
8600 Dübendorf

Telefon

Zentrale 044 823 5511
Direktwahl 044 823 4970

E-Mail paul.gilgen@empa.ch

Anhang 1: Vereinfachtes Modell der Logistik

