

**Kurzbericht**

# Ökobilanz PE-Verwertungswege

**Ökologischer Vergleich von PE-Selektiv- und Gemischtsammlung mit der Verwertung in KVA Schweiz und Thurgau**

**Auftraggeber**

Martin Eugster  
Amt für Umwelt, Kanton Thurgau  
Bahnhofstrasse 55  
8510 Frauenfeld

**Verfasser**

Thomas Kägi und Dr. Fredy Dinkel  
Carbotech AG, Basel

Anzahl Seiten: 8  
Referenz: 285.48  
Basel, 7. August 2013

# 1 Ausgangslage und Auftrag

Heute wird Polyethylen (PE) in der Schweiz grösstenteils in Kehrichtverwertungsanlagen (KVA) entsorgt, nur ein geringer Anteil wird separat gesammelt und stofflich verwertet. Das Amt für Umwelt, Kanton Thurgau, hat die Carbotech AG beauftragt, die ökologischen Auswirkungen verschiedener PE-Verwertungswege anhand einer Ökobilanz zu analysieren.

Dazu sollen die folgenden Verwertungswege geprüft werden:

A: Energetische Verwertung in einer KVA

1. Verwertung in einer durchschnittlichen Schweizerischen KVA
2. Verwertung in der KVA Thurgau

B: Stoffliche Verwertung

3. Selektivsammlung mit stofflichem Recycling
4. Gemischtsammlung mit stofflichem Recycling

## 2 Vorgehen

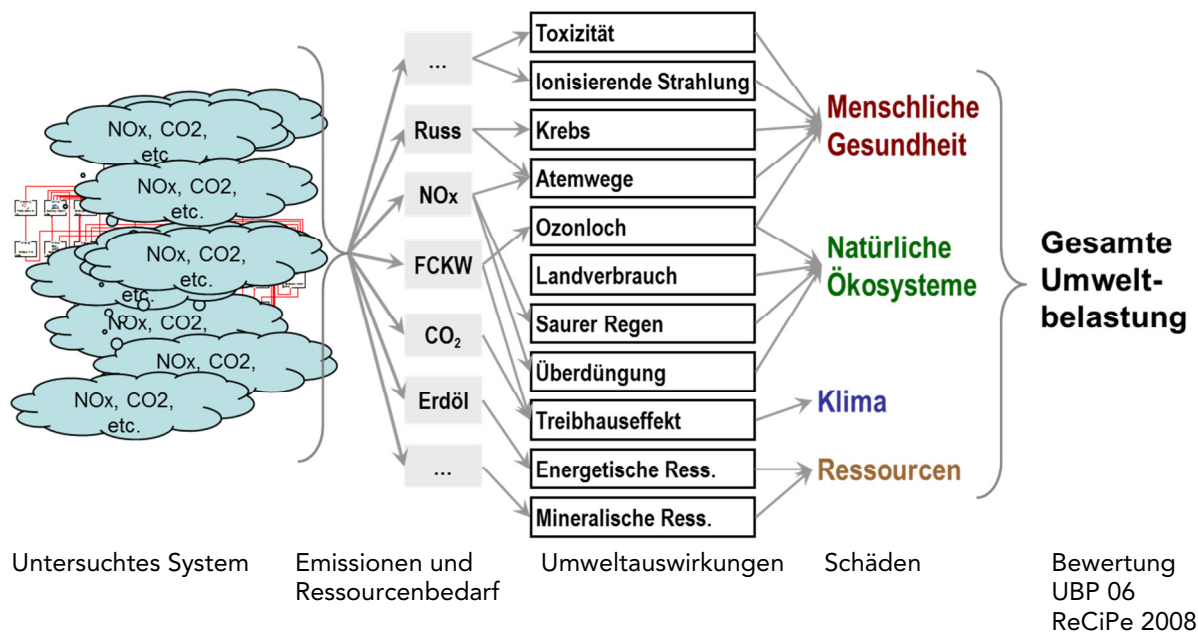
Um den ökologischen Nutzen abzuklären, wurde die Methode der Ökobilanzierung verwendet. Sie gilt als die umfassendste Methode, um ökologische Fragestellungen zu beantworten, weil sie eine Vielzahl von Umweltauswirkungen über die gesamte Dauer eines Prozesses berücksichtigt.

In der Untersuchung wurden die Rahmenbedingungen in der Schweiz betrachtet, so z. B. die Sammeltransporte mit den entsprechenden Fahrzeugen oder die spezifische Energienutzung bei der Verwertung in der durchschnittlichen KVA. Für allgemeinere Prozesse oder Dienstleistungen wie Stromerzeugung, Bereitstellung fossiler Energieträger, Treibstoffverbrauch, etc. wurden ebenfalls auf schweizerische Durchschnittswerte zurückgegriffen.

Die verschiedenen Verwertungsarten führen zu unterschiedlichen Produkten mit unterschiedlichem Nutzen. Bei der energetischen Nutzung in einer KVA werden die Energieträger Strom und Wärme bereitgestellt, welche z. B. die entsprechenden fossilen Energieträger ersetzen können. Bei der stofflichen Nutzung wird Recycling Polyethylen (R-PE) hergestellt, welches primäres PE ersetzen kann. Die verschiedenen Systeme, können nur verglichen werden, wenn sie auf einen gemeinsamen Nenner gebracht werden. Für die Berechnungen wurden die Systeme deshalb so erweitert, dass alle denselben Gesamtnutzen aufweisen. D. h. falls das PE einer stofflichen Nutzung zugeführt wird, so muss die Energiemenge, welche in der KVA hätte bereitgestellt werden können, anderweitig bereitgestellt werden. Bzw. bei einer energetischen Nutzung muss die entsprechende Menge Primär-PE hergestellt werden.

Die Stabilität der Resultate wurde mit Sensitivitätsanalysen überprüft, jedoch in diesem Kurzbericht nicht separat ausgewiesen.

Die Auswirkungen der Emissionen und des Ressourcenbedarfs wurden mit verschiedenen international anerkannten Methoden ausgewertet. Da alle Methoden zu ähnlichen Resultaten führten, werden im Bericht nur die Resultate der zwei Methoden ReCiPe 2008 (Goedkoop et al. 2009) und ökologische Knappheit 2006 – UBP 06 (Frischknecht et al. 2008) dargestellt.



Diese beiden Methoden haben den Vorteil, dass sie die unterschiedlichen Umweltauswirkungen gegeneinander gewichten und zu einer einzigen Kennzahl zusammenfassen. Die Darstellung solcher Kennzahlen erleichtert Vergleiche oder macht solche überhaupt erst möglich. Die Methode UBP 06 wurde vom Bundesamt für Umwelt mitentwickelt. Sie geht von der Umweltsituation in der Schweiz aus und richtet sich bei der Bewertung nach der schweizerischen Umweltpolitik. Die Gewichtung bei der Methode ReCiPe 2008 basiert auf der Einschätzung von europäischen Experten, wobei hier für die einzelnen Auswirkungen andere Schwerpunkte gelegt und damit andere Gewichtungen verwendet werden als bei der UBP 06 Methode. Die parallele Verwendung dieser beiden Methoden ist sinnvoll, da damit die Aussagekraft der Resultate der Methoden überprüft werden kann. Denn obwohl die Resultate dieser beiden Methoden vergleichbar sind, zeigen sie aufgrund der unterschiedlichen Gewichtungen auch Differenzen. Diese beruhen im Rahmen dieser Studie vor allem auf der Tatsache, dass die Methode UBP 06 Atomstrom und die damit verbundene Endlagerproblematik relativ stark gewichtet, während die Methode ReCiPe 2008 die Verwendung von fossilen Ressourcen bzw. dessen Ersatz sehr hoch, dagegen Kernenergie praktisch nicht bewertet. Entsprechend erhalten Verfahren, die zu einem Ersatz von fossilen Ressourcen führen (stoffliches Recycling), mit der Methode ReCiPe 2008 eine höhere Gutschrift als bei der Methode UBP 06. Demgegenüber erhalten Verfahren, die Schweizer Strommix ersetzen mit der Methode UBP 06 eine höhere Gutschrift.

Aufgrund der Aktualität des Themas wurde zusätzlich der Einfluss auf das Klima (IPCC 2007) separat ausgewiesen.

## 3 Rahmenbedingungen und Datengrundlagen

### Verwertung in einer durchschnittlichen Schweizerischen KVA

Für die Verbrennung von PE in einer durchschnittlichen KVA wurden die in der KVA für PE spezifischen Emissionen sowie der Infrastruktur und Ressourcenbedarf mit den entsprechenden ecoinvent v2.2 Inventaren abgebildet. Dabei wurden gewisse Emissionen aufgrund neuer Entwicklungen angepasst. Zusätzlich wurde der durchschnittliche Strom- und Wärmenutzungsgrad der Schweizerischen KVAs berücksichtigt. Gemäss Rytec (2012) wird aus dem eingehenden Energiegehalt durchschnittlich 16.0% Strom und 26.4% Wärme bereitgestellt und genutzt. Dabei wurde angenommen, dass der KVA-Strom Schweizer Strommix ersetzt und die KVA-Nutzwärme Heizwärme aus Erdöl (60.5%) und Erdgas (39.5%) ersetzt.

### Verwertung in der KVA Thurgau

Der Ressourcenbedarf und die entstehenden Emissionen der Verbrennung von PE in der KVA Thurgau ist mit denen der Verbrennung in einer durchschnittlichen KVA vergleichbar, so dass ebenfalls mit den entsprechenden ecoinvent v2.2 Inventaren gerechnet wurde. Diese Annahme ist insofern vertretbar, als dass die zu erwartenden Unterschiede nur einen minimalen Einfluss auf die Resultate haben<sup>1</sup>. Jedoch wurde der Strom- und Wärmenutzungsgrad der KVA Thurgau berücksichtigt. Gemäss Angaben der KVA Thurgau wird aus dem eingehenden Energiegehalt durchschnittlich 8.0% Strom und 39.6% Wärme bereitgestellt und genutzt. Dabei wurde angenommen, dass der KVA-Strom Schweizer Strommix ersetzt und die KVA-Nutzwärme Heizwärme aus Erdöl (60.5%) und Erdgas (39.5%) ersetzt.

### PE-Selektivsammlung mit stofflichem Recycling

Daten zur Selektivsammlung und Aufwände des stofflichen Recyclings von PE wurden der PE-Folien-Recycling-Studie (Dinkel 2012) entnommen. 86% der gesammelten Menge können wiederverwertet werden. 14% bestehend aus Fremdstoffen und nicht verwertbarem PE-Anteil werden in einer durchschnittlichen KVA Schweiz entsorgt. Das rezyklierte PE wird nicht in Flaschen für Lebensmittel, aber in vielen anderen Anwendungen verwendet. Trotz einer Qualitätsminderung durch den Recyclingprozess kann davon ausgegangen werden, dass das Sekundär-PE in den entsprechenden Anwendungsgebieten ca. 90% Primär-PE ersetzen kann. Dies aufgrund der Tatsache, dass die Qualitätsminderung z. B. darin besteht, dass R-PE eine farbliche Beeinträchtigung hat, welche jedoch für viele Anwendungen, wie Abwasserrohre, kein Problem darstellt oder dass ein wenig mehr R-PE Material benötigt wird, um die gleichen Anforderungen zu erfüllen.

### PE Gemischtsammlung mit stofflichem Recycling

PE wird zusammen mit anderen Kunststoffen gesammelt. Aufgrund mangelnder Daten zur Gemischtsammlung wurden Daten zum Sammel- und Sortieraufwand von der PE-Folien-Recycling-Studie (Dinkel 2012) entnommen. Diese Annahme ist insofern vertretbar, als dass die Sammel- und Sortieraufwände von geringer Umweltrelevanz sind und entsprechend keinen grossen Einfluss auf die Resultate haben. Sortierversuche im Kanton Zug (Kilga und Wick 2011) haben gezeigt, dass von der gesammelten PE-Fraktion rund 70% stofflich verwertet werden. Die restlichen 30% werden in einer durchschnittlichen KVA Schweiz entsorgt. Das rezyklierte PE wird nicht in Flaschen, aber in vielen anderen Anwendungen verwendet. Trotz einer Qualitätsminderung durch den Recyclingprozess kann davon ausgegangen werden, dass das Sekundär-PE in den entsprechenden Anwendungsgebieten ca. 90% Primär-PE ersetzen kann.

---

<sup>1</sup> Bei der Verbrennung von PE in einer KA resultieren mehr als 95% der Umweltauswirkungen bei den gewählten Bewertungsmethoden durch die CO<sub>2</sub> Emissionen, welche chemisch bedingt und somit für alle KVAs gleich sind.

### Herstellung von PE und verwendete Hintergrunddaten

Sowohl für die Herstellung von PE-Granulat wie auch für sämtliche Hintergrunddaten (vorgelagerte Prozesse, Emissionsfaktoren etc.) wurden die entsprechenden Inventare der Ökobilanzinventar-Datenbank ecoinvent v2.2 (ecoinvent v2.2) verwendet.

## 4 Resultate und Diskussion

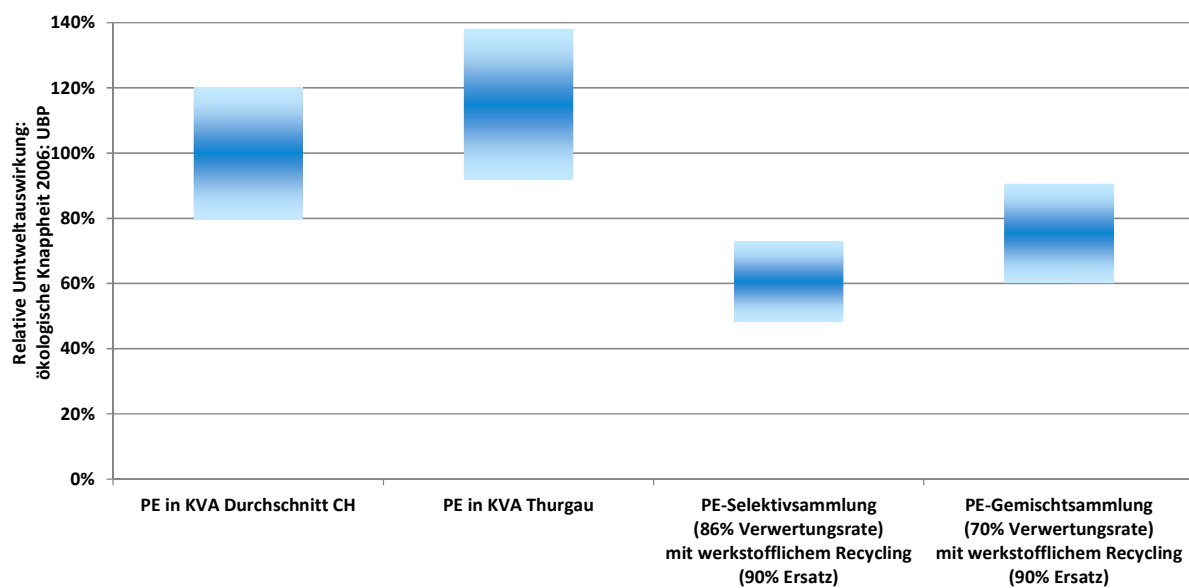
Die Resultate der Berechnungen sind in den Abbildungen 1 bis 3 dargestellt. Diese zeigen die Umweltauswirkungen gemessen mit den drei Indikatoren UBP 06, ReCiPe und IPCC. Entsprechend indiziert ein hoher Wert eine grosse Belastung und ökologisch vorteilhaft ist ein möglichst kleiner Wert. Aus diesen Graphiken ist Folgendes ersichtlich:

- Die PE-Verwertung in der KVA Thurgau verursacht in etwa eine gleich hohe Umweltbelastung wie die Verwertung in einer durchschnittlichen Schweizerischen KVA. Der Grund dafür ist, dass bei der KVA Thurgau der Wärmenutzungsgrad zwar um 50% höher liegt, dafür ist der Stromnutzungsgrad um 50% tiefer.
- Das werkstoffliche Recycling von PE weist eine tiefere Umweltbelastung auf als die Verwertung in einer KVA, unter der Annahme, dass das rezyklierte PE 90% primäres PE-Granulat ersetzen kann. Während R-PE aus Selektivsammlung immer eine signifikant tiefere Umweltbelastung aufweist, zeigt sich für R-PE aus Gemischtsammlung bei der Methode UBP 06 nur eine tendenziell tiefere Umweltbelastung.
- Der Unterschied in der Umweltbelastung zwischen PE aus Selektivsammlung und Gemischtsammlung ist wesentlich kleiner als zwischen dem werkstofflichen Recycling (ob selektiv oder gemischt gesammelt) und der Entsorgung in einer KVA.

Entscheidend für das Resultat der stofflichen Verwertung ist in erster Linie die Verwertungsrate, d. h. der Anteil des gesammelten PE, der rezykliert werden kann. Bei der Separatsammlung ist bekannt, dass 86% des gesammelten Materials stofflich verwertet wird. Bei PE aus einer Gemischtsammlung zeigen Untersuchungen, dass mit 70% stofflicher Verwertung gerechnet werden kann. Ebenfalls relevant für das Resultat ist die Höhe des Ersatzes von neuem PE bzw. die Qualität des Rezyklates. Falls separat gesammeltes PE zu einer höheren Qualität führt als PE aus einer Gemischtsammlung, so kann dies einen wesentlicheren Einfluss auf die Resultate haben als die Höhe der Verwertungsraten. Dazu liegen momentan jedoch keine Resultate vor.

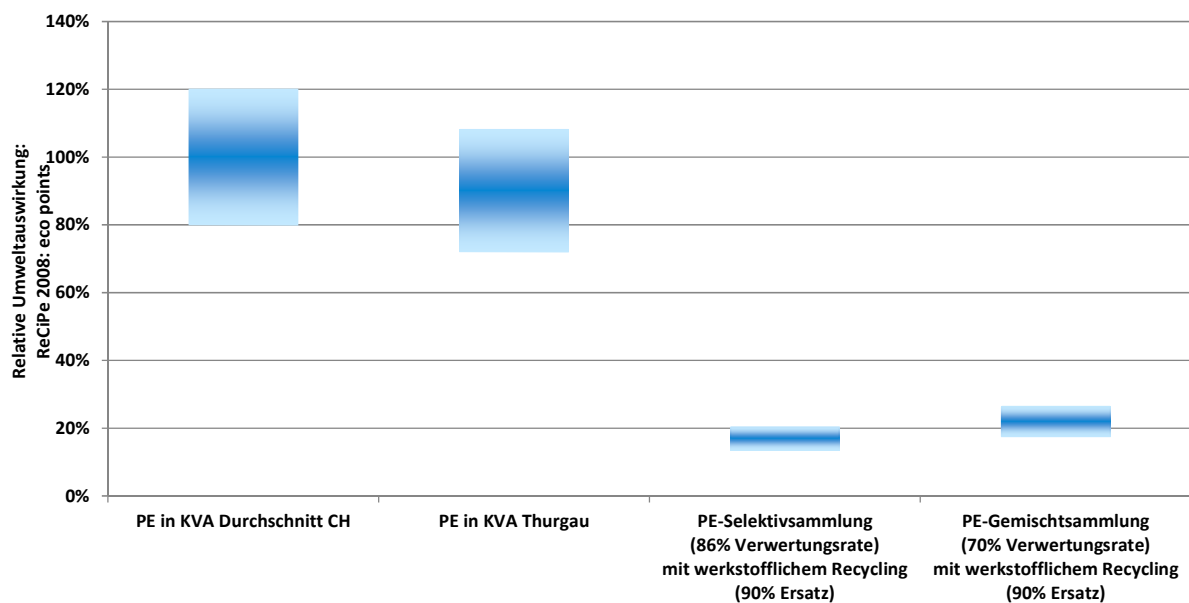
Es kann angenommen werden, dass die Gemischtsammlung einen geringeren Sammel-, dafür einen höheren Sortieraufwand aufweist. Hinsichtlich der Umweltbelastung sind die Sortier- und Sammelaufwände im Vergleich zu den restlichen Prozessen wenig relevant; sie betragen rund 10%. Käme der Aufwand für die Gemischtsammlung 20% tiefer zu liegen als derjenige für die Selektivsammlung, so hätte dies nur eine Änderung von 2% des Resultates zur Folge. Insofern spielt es aus Umweltsicht keine wesentliche Rolle, ob der Sammel- und/oder Sortieraufwand der Gemischtsammlung höher oder tiefer ist als der der Separatsammlung.

Nicht berücksichtigt wurde die Tatsache, dass im Unterschied zur Selektivsammlung bei der Gemischtsammlung neben PE auch noch andere Kunststoffe sortiert und wiederverwendet werden können und somit der Gesamtnutzen grösser sein dürfte, als wenn nur PE einzeln gesammelt wird. Denn so kann mehr Kunststoff rezykliert werden.



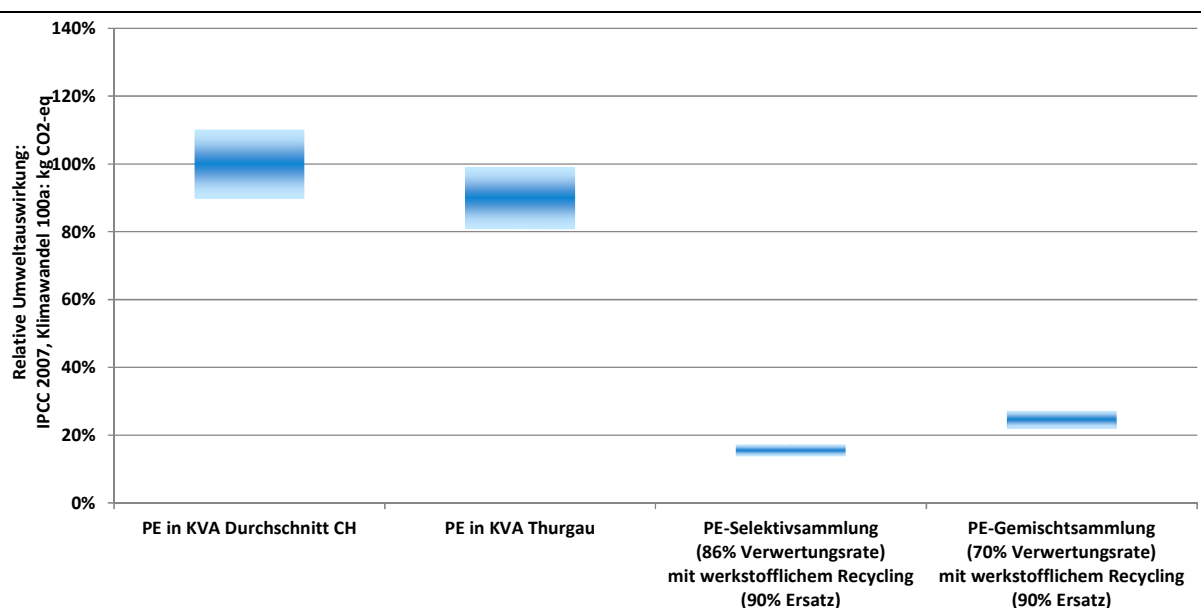
**Abbildung 1: Vergleich der Umweltbelastung mit der Methode der ökologischen Knappheit (2006)**

Die Ausdehnung der Balken gibt die Unsicherheiten der Resultate an.



**Abbildung 2: Vergleich der Umweltbelastung mit der Methode ReCiPe (2008)**

Die Ausdehnung der Balken gibt die Unsicherheiten der Resultate an.



**Abbildung 3: Vergleich des Treibhauspotentials (Klimawandel) mit der Methode IPCC (2007)**

Die Ausdehnung der Balken gibt die Unsicherheiten der Resultate an.

## 5 Schlussfolgerung

Aus ökologischer Sicht ist es sinnvoller, PE zu sammeln und stofflich zu verwerten, statt in einer durchschnittlichen Schweizerischen KVA energetisch zu nutzen.

Die Sammlung von PE und das anschliessende Recycling lohnen sich aus Umweltsicht vor allem dann, wenn die Qualität des R-PE so hoch ist, dass eine möglichst äquivalente Menge primäres PE damit ersetzt werden kann. Aufgrund der höheren Ausbeute bei der Selektivsammlung weist diese tendenziell die tiefere Umweltbelastung auf als die Gemischtsammlung. Inwiefern der Gesamtnutzen der Gemischtsammlung grösser sein könnte, da neben PE auch noch andere Kunststoffe sortiert und wiederverwendet werden können und somit mehr Kunststoff recycelt werden kann, war nicht Gegenstand dieser Abklärung und wurde nicht untersucht. Es wäre jedoch sinnvoll diesem Aspekt weiter nachzugehen.

Die Umweltbelastung der Verwertung von PE in der KVA Thurgau entspricht derjenigen der durchschnittlichen Schweizerischen KVA. Eine Verbesserung der Umweltpformance könnte mit einer Erhöhung der Strombereitstellung un/oder der nutzbaren Wärme erreicht werden.

## 6 Literatur

### **ecoinvent v2.2**

ecoinvent Daten v2.2, Schweizer Zentrum für Ökoinventare, Dübendorf

### **Dinkel et al. 2012**

Dinkel F., Stettler C., und Miranda R. (2012). Ökologischer Nutzen des PE-Folien-Recyclings Schweiz (Landwirtschaft, Industrie und Gewerbe) im Auftrag des Bundesamt für Umwelt

### **Frischknecht et al. 2008**

Frischknecht, R., R. Steiner, und N. Jungbluth (2008). Ökobilanzen: Methode der ökologischen Knappheit – Ökofaktoren 2006. Methode für die Wirkungsabschätzung in Ökobilanzen, Öbu SR 28/2008.

### **Goedkoop et al. 2009**

Goedkoop M., Heijungs R., Huibregts M., Schryver A.D., Struijs J., van Zelm R. (2009). ReCiPe 2008 – A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and endpoint level. First edition (version 1.08). VROM-Ruimte en Milieu, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.

### **IPCC 2007**

IPCC (2007) Climate Change 2007: The Physical Science Basis. In: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds).. IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 2007

### **Kilga M. und Wick G. (2011)**

Kilga M. und Wick G. (2011) sinumAG: Ökobilanz – Verwertung von Kunststoffabfällen, Verölungsanlage plastOil AG, 2011 (vertraulich)

### **Rytec 2012**

Rytec (2012). Einheitliche Heizwert- und Energiekennzahlenberechnung der Schweizer KVA nach europäischem Standardverfahren – Resultate 2011, Bundesämter für Umwelt und Energie