

## Anhang 1

### Bereich Umwelt

## **ANHANG BEREICH UMWELT**

### **INHALTSVERZEICHNIS**

<b>1</b>	<b>METHODIK UND MODELLIERUNGSGRUNDSÄTZE</b>	<b>1</b>
1.1	Datengrundlagen und Methodik	1
1.2	Systemgrenze und Bezugsgrösse	1
<b>2</b>	<b>PRODUKTE DER VERWERTUNGSWEGE</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>MODELLIERUNG DER VERWERTUNGSPFADE</b>	<b>4</b>
3.1	Grundsätze	4
3.2	Sammelsysteme	4
3.3	Sortierung	5
3.4	Werkstoffliches Recycling	5
3.5	Konventionelle KVA Schweiz	5
3.6	KVA Renergia	6
3.7	Zementwerke	7
3.8	Verölung	8
<b>4</b>	<b>FRAKTIONEN</b>	<b>9</b>
4.1	Übersicht	9
4.2	Alternative Literaturquellen und Fraktionen	10
<b>5</b>	<b>GEWICHTUNG DER UMWELTINDIKATOREN</b>	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>DIREKTE UMWELTWIRKUNGEN</b>	<b>13</b>
6.1	U1: Klimaänderung	13
6.2	U2: Schonung nicht erneuerbarer Energieträger	13
6.3	U3: Ökotoxizität	14
6.4	U4: Atemwegserkrankungen	15
6.5	U5: Sommersmog	16
6.6	U6: Deponierte Abfälle (Untertagedeponie & Endlager radioaktive Abfälle)	17
6.7	U7: Methode der ökologischen Knappheit 2013	18
<b>7</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>20</b>
7.1	Nutzwertpunkte der einzelnen Umweltindikatoren, Standard	20
7.2	Nutzwertpunkte der einzelnen Umweltindikatoren, Sensitivität Strom aus Braunkohle	23
7.3	Nutzwertpunkte der einzelnen Umweltindikatoren, Sensitivität Ausschluss U6	24
	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>26</b>

## ABBILDUNG UND TABELLEN

Abbildung 1: Ergebnisse der Bewertung mit Schonung nicht erneuerbarer Energieträger pro Variante.	14
Abbildung 2: Ergebnisse der Bewertung mit Ökotoxizität pro Variante.	15
Abbildung 3: Ergebnisse der Bewertung mit Sommersmog pro Variante.	16
Abbildung 4: Ergebnisse der Bewertung mit deponierten Abfällen pro Variante.	17
Abbildung 5: Gesamtumweltbelastung anhand der Methode der ökologischen Knappheit 2013 der untersuchten Varianten	19
Tabelle 1: Übersicht Datenquellen zur Modellierung der einzelnen Verfahren	1
Tabelle 2: Übersicht der Gutschriften in allen Varianten. Die Varianten beziehen sich auf die Verwertung von 18'252 Tonnen Kunststoff und 1'690 Tonnen Fremdstoffe	3
Tabelle 3: Bedarf an Brennstoffen bei Verwendung konventioneller, fossiler Brennstoffe und dem Einsatz von 10 kg Kunststoffabfall in der Produktion von 1000 kg Klinker	8
Tabelle 4: Im Haushalt potentiell genutzte Kunststofffraktionen in der Schweiz, gemäss Schelker & Geisselhardt (2011a, Abbildung 6). 80% der Getränke PET Flaschen werden gesammelt, woraus ein Verbrauch von 11'000 Tonnen PET resultiert, welcher im Kehrichtsack endet. Die „Flaschen Divers“ bestehen zu einem weiteren relevanten Anteil aus PP.	9
Tabelle 5: Aus Tabelle 4 berechnete Zusammensetzung der im Haushalt eingesetzten Verpackungen (inkl. Hohlkörper). PE wird aufgeteilt auf PE-LD und PE-HD (zu je 50%).	9
Tabelle 6: Zusammensetzung der Fremdstofffraktion in der Separatsammlung von Verpackungen und Hohlkörper. Berechnet aus Schelker & Geisselhardt (2010, Abbildung 5).	10
Tabelle 7: Resultierende Fraktionen KVA Renergia, KVA konventionell und Zementwerk der Varianten 0 bis 4.	10
Tabelle 8: Gewichtung Bereich Umwelt	12
Tabelle 9: Klimaänderung für alle Varianten	13
Tabelle 10: Schonung nicht erneuerbarer Energieträger für alle Varianten	14
Tabelle 11: Potential für Atemwegserkrankung für alle Varianten	16
Tabelle 12: Umweltbelastung durch Sommersmog für alle Varianten	17
Tabelle 13: Umweltbelastung durch deponierte Abfälle für alle Varianten	18
Tabelle 14: Gesamtumweltbelastung anhand der Methode der ökologischen Knappheit 2013 der untersuchten Varianten	18
Tabelle 15: gewichtete und ungewichtete Nutzwertpunkte aller Umweltindikatoren	21
Tabelle 15: gewichtete und ungewichtete Nutzwertpunkte aller Umweltindikatoren	23

# 1 METHODIK UND MODELLIERUNGSGRUNDSÄTZE

## 1.1 Datengrundlagen und Methodik

Wo verfügbar, bilden Informationen der KVA Renergia und der Hersteller die Basis der Modellierung. Hintergrundprozesse sind mit den Datensätze desecoinvent Datenbestandes v2.2 (ecoinvent Centre 2010) modelliert. Tabelle 1 zeigt eine Zusammenstellung der Datenquellen und eine Einschätzung über die Datenqualität. Generell orientiert sich die Bilanzierung an der gängigen Methodik desecoinvent-Zentrums. Details sind im Bericht von Frischknecht et al. (2007) dokumentiert.

Tabelle 1: Übersicht Datenquellen zur Modellierung der einzelnen Verfahren

Verfahren	Datenquelle	Beurteilung Datenqualität
Sortierung	Versch. Literaturquellen: - Arena et al. 2003 - Perugini et al. 2005 - Schelker & Geisselhardt 2011a	gut
Werkstoffliches Recycling	InnoRecycling AG	gut
Konventionelle KVA Schweiz	Doka 2014a, b	sehr gut
KVA Renergia	Renergia Umweltverträglichkeitsbericht (Holinger AG 2011), Ramboll (Rauchgasreinigung), Doka 2014a, b	gut
Zementwerk	LCA4AFR (Boesch 2011)	sehr gut
Verölung	grobe Abschätzung auf Grundlage von Kilga & Wick (2011)	genügend

## 1.2 Systemgrenze und Bezugsgrösse

Die Systemgrenze umfasst die gesamte Kunststoffverwertung inklusive der benötigten Hilfsenergie und Hilfsmaterialien. Als Ausgangspunkt dient dabei der im Haushalt anfallende Kunststoff aus Verpackungen in der Zentralschweiz. Die unterschiedlichen Verwertungswege sind in Kapitel 2.2 im Hauptbericht beschrieben. Bei der Sammlung von Kunststoffen werden immer auch Fremdstoffe gesammelt (andere Kunststoffe, Metalle, Abfall, etc.). Diese Fremdstoffe müssen ebenfalls transportiert und verwertet werden. Die anfallende Menge dieser Fremdstoffe ist für jede Variante unterschiedlich (siehe Hauptbericht Kapitel 6.1). Sie weisen jedoch auch einen Heizwert auf, verursachen Emissionen bei der Verbrennung und müssen aus diesem Grund berücksichtigt werden. Damit die Varianten auch bezüglich Heizwert vergleichbar sind wird daher folgende funktionelle Bezugsgrösse gewählt:

**Die jährlich anfallende Menge Kunststoff aus Verpackungen und Flaschen mit Deckel in Zentralschweizer Haushalten (18'252 Tonnen) sowie die bei der Sammlung maximal anfallende Menge Fremdstoffe (1'690 Tonnen).**

Die funktionelle Einheit ist für sämtliche modellierten Varianten dieselbe. Dies bedeutet, dass für die Erstellung der Ökobilanzen die Menge Fremdstoffe für alle Varianten dieselbe ist. Die „separat gesammelte“ Menge an Fremdstoffe geht den gleichen Weg wie der separat gesammelte Kunststoff (Sortierung, Recycling, Verwertung als EBS, etc.), die restliche Menge an Fremdstoffen wird zusammen mit dem nicht separat gesammelten Kunststoff, d.h. mit dem Haushaltskehricht, gesammelt und in der KVA Renergia bzw. einer konventionellen KVA (Variante 0b) verwertet. Dabei führt auch die Verbrennung der Fremdstoffe zu Energiegutschriften.

Bei Varianten 2 und 3a werden alle Fremdstoffe gesammelt und verwertet. Bei den anderen Varianten wird ein Grossteil der Fremdstoffe mit dem Kehrichtsack gesammelt und in einer KVA verbrannt.

Als Belastung werden die Sammlung, die Energieverbräuche, die Verwertung selbst, die Transporte und die Entsorgung der Rückstände bilanziert. Andererseits entsteht bei jedem Verwertungsweg ein Produkt. Dieses wird mit einer Gutschrift bewertet, siehe Kapitel 2. Der Kunststoff kommt „belastungsfrei“ ins System.

## 2 PRODUKTE DER VERWERTUNGSWEGE

Aus den Angaben im Mengengerüst werden für jede Variante die entstehenden Produkte berechnet. Folgende Tabelle 2 stellt die Produkte der einzelnen Varianten einander gegenüber.

Für die Berechnung werden folgende Wirkungsgrade (abzüglich Eigenbedarf) der KVA berücksichtigt:

- KVA Renergia: 21% Strom, 45% Wärme, gemäss Wandschneider + Gutjahr Ingenieurgesellschaft (2010)
- KVA konventionell: 11.9% Strom, 24.4% Wärme, gemäss Liechti et al. (Liechti et al. 2012). Die neuste und kürzlich veröffentlichte Erhebung des BAFU, BFE und VBSA zeigt Wirkungsgrade von 13.2% für Strom und 25.8% für Wärme (BAFU et al. 2014, erschienen am 28. März 2014). Da diese leicht höheren Wirkungsgrade die Nutzwerte nicht beeinflussen, werden sie nicht angepasst.

Die produzierte Wärme muss über ein Fernwärmenetz transportiert werden. In grossen Fernwärmenetzen geht bis zu 20% der transportierten Wärme verloren. Bei allen Verwertungstechnologien mit Wärmezeugung wird der Verlust einberechnet. Für kleine Fernwärmenetze, wie die Fernwärmelieferung der KVA Renergia an die Papierfabrik Perlen wird mit 10% Verlust gerechnet. Auf den Einbezug der Fernwärmeinfrastruktur wird hier verzichtet.

**Tabelle 2: Übersicht der Gutschriften in allen Varianten. Die Varianten beziehen sich auf die Verwertung von 18'252 Tonnen Kunststoff und 1'690 Tonnen Fremdstoffe**

	Kunststoff Regranulat	Klinker	Strom	Wärme KVA Schweiz	Wärme Renergia	Total Wärme	Produktöle
	t	t	TJ	TJ	TJ	TJ	t
V0a	1'462	22'023	145	0.63	272	273	-
V0b	1'462	22'023	73	126	0	126	-
V1a	2'047	28'828	140	1	264	265	-
V1b	1'755	24'735	143	1	269	270	-
V2	512	1'068'531	60	11	102	113	-
V3a	6'512	532'765	58	6	102	108	-
V3b	3'874	277'926	102	3	189	192	-
V4	2'458	221'283	106	10	189	199	1'120
Bemerkungen			Renergia & konventionelle KVA	inkl. 20% Verluste Wärmeverteilung	inkl. 10% Verluste Wärmeverteilung		Erdöl extraleicht und Naphtha

### 3 MODELLIERUNG DER VERWERTUNGSPFADE

#### 3.1 Grundsätze

Grundsätzlich beinhalten alle Modellierungen folgende Prozesse

- Materialaufwendungen: Hilfsmittel, Wasser, Chemikalien, Rohstoffe, etc.
- Energieaufwendungen: meistens in Form von Wärme und Strom
- Transporte: Antransport von Kunststoffen und Hilfsmittel
- Entsorgung: Entsorgung von Abfällen in KVA, Abwasserreinigungsanlagen oder Deponien
- Infrastruktur: Gebäude, Strassen, etc.
- Emissionen: direkt anfallende Emissionen in Luft, Gewässer und Boden

Nachfolgend sind die Modellierungen der Verwertungswege im Detail erläutert und Datenquellen dokumentiert.

#### 3.2 Sammelsysteme

**Bringsammlung** Für die Bringsammlung an Ökiohofe und im Detailhandel müssen entsprechende Behälter zur Verfügung gestellt werden. Die Infrastruktur der PET Behälter, d.h. Kunststoffbehälter, Stahlbehälter und Kunststoffsäcke (Behältersortiment) wurde verwendet um die Infrastrukturaufwendungen abzuschätzen, wobei für Detailhandel und Ökiohofe dieselben Annahmen getroffen wurden. Der zusätzliche Platzbedarf für die Sammelbehälter in den Detailhandelsgeschäften sowie der Platzbedarf durch einen Ökiohof wurden nicht berücksichtigt.

Die gesammelten Kunststoffe werden vor dem Weitertransport verdichtet, dafür wird ein Stromverbrauch berücksichtigt (gemäss Perugini et al. (2005). Die Gerätschaften für die Verdichtung werden nicht berücksichtigt.

Die Bringsammlung in den Detailhandel wird i.d.R. mit einem Einkauf verbunden. Daten zum Einkaufstransport gemäss BFS/ARE (BFS/ARE 2007) werden daher zur Abschätzung des Transportes der Kunststoff Hohlkörper zum Detailhändler verwendet. Für den Transport zum Ökiohof wird eine Distanz angenommen, die das 1.5-fache der Distanz zum Detailhandel beträgt.

**Holsammlung** Für die Holsammlung müssen 2 Sammelsysteme parallel realisiert werden. Einerseits müssen die separat gesammelten Kunststoffe und andererseits muss auch der Kunststoff welcher immer noch im konventionellen Kehrichtsack entsorgt wird abgeholt werden. Das Sammelgut wird mit einem Müllwagen gesammelt und entweder in die KVA oder zu einer Sortieranlage transportiert. Die zusätzlichen Sammelsäcke für die Kunststoffsammlung im Holsystem wurden auf Grund ihrer geringen Masse im Vergleich zum Sammelgut vernachlässigt.

Die Sachbilanz des Müllwagens berücksichtigt stop&go's und deckt somit die Aufwendungen einer Sammeltour ab (ecoinvent Centre 2010). Die Überfahrt zur KVA bzw. zur Sortieranlage wird ebenfalls mit dem Müllwagen durchgeführt. Diese

Überfahrt beinhaltet jedoch keine stop&go's weshalb diese mit einem LKW Transport abgeschätzt werden.

### **3.3 Sortierung**

In der Modellierung der Sortierung werden der Energieverbrauch, die Infrastruktur und der Aufwand für interne Transporte (z.B. mittels Gabelstapler) berücksichtigt. Für die Sortierung von Flaschen mit Deckel wird eine einfache Sortieranlage angenommen. Werden Verpackungen und Flaschen mit Deckel zusammen gesammelt ist eine Sortierung, aufgrund der verschiedenen anfallenden Fraktionen deutlich komplexer. Je mehr Fraktionen gemischt gesammelt und werden, umso mehr Sortierstufen braucht es (Schelker & Geisselhardt 2011b). Um eine etwas komplexere Sortieranlage abzubilden wird mit einem erhöhten Strombedarf gerechnet.

### **3.4 Werkstoffliches Recycling**

Die Modellierung des werkstofflichen Recyclings beinhaltet die Prozessschritte Zerkleinern, Waschen, Schwimm- und Sinkabscheidung sowie Einschmelzen. Für das Inventar werden Angaben von InnoRecycling für die Jahre 2009 bis 2011 verwendet und beziehen sich auf das Recycling von PE-Folien. Diese Daten dienen als Grundlage für die Erstellung eines Inventars zur Abbildung des Recyclings von sortenreinem Kunststoff zu Regranulat. Dabei wurden insbesondere die Verwertungsquoten (siehe Hauptbericht Kapitel 5.14) und die Entsorgung der Rückstände (KVA bzw. Zementofen gemäss Hauptbericht Kapitel 5.1.5) individuell auf die in dieser Studie definierten Szenarien angepasst.

### **3.5 Konventionelle KVA Schweiz**

Die bestehenden Daten zur konventionellen KVA Schweiz (Doka 2014a) wurden für diese Studie erweitert mit verschiedenen Entsorgungswegen für Flugasche (Doka 2014b). Folgende zusätzlichen Annahmen wurden für die konventionelle KVA getroffen.

- Ein Energienutzungsgrad von 12% Strom, 24% Wärme wird für die konventionelle KVA angenommen (Liechti 2012). Der Verordnungsentwurf der neuen TVA (TVA 2015) verlangt eine Mindestenergienutzung für eine KVA. Diese Mindestenergienutzung ist höher als der heutige Durchschnitt von 36%. Bis ins Jahr 2020 wird diese mit grosser Wahrscheinlichkeit jedoch nur um wenige Prozentpunkte steigen, da eine Steigerung der Energienutzung mit einer langfristigen Planung verbunden ist. Die hier angegebenen Energieausnutzungsraten für die konventionelle KVA entsprechen daher eher einer konservativen Annahme.
- Für den Indikator U6 (deponierte Abfälle (UTD & EL) sind die Annahmen, die für die Entsorgungswege der KVA-Rückstände getroffen werden von hoher Bedeutung. Im Jahr 2012 wurden 39% der Filterasche mit Zement verfestigt und auf einer Reststoffdeponie entsorgt, 22% auf einer Untertagedeponie und



39% in einer sauren Wäsche. Unter Berücksichtigung des Verordnungsentwurfs der TVA (2015) wird sich diese Entsorgungssituation verändern. Diese Anpassungen werden jedoch bis 2020 wahrscheinlich noch nicht abgeschlossen sein. Eine Einschätzung wie die Entsorgungssituation der Rückstände im Jahr 2020 aussieht ist daher schwierig. Aus diesem Grund wurden für die Filterasche einheitliche Entsorgungswege angenommen für die konventionelle KVA und die KVA Renergia, basierend auf den Angaben der KVA Renergia (50% saure Wäsche, 44% Reststoffdeponie mit Zement verfestigt und 6% Untertagedeponie). In der trockenen Rauchgasreinigung (wie die Renergia) fallen weitere feste Rückstände aus dem Gewebefilter 2 an, welche zu 100% auf einer Untertagedeponie entsorgt werden. Bei einer nassen Rauchgasreinigung (konventionelle KVA) fällt in der KVA internen Abwasserreinigung ein Filterkuchen an, welcher teilweise ebenfalls auf einer Untertagedeponie entsorgt wird. Die entsprechenden Mengen sind in Tabelle 3 gezeigt.

**Tabelle 3: Mengengerüst berechnete KVA Rückstände in Untertagedeponie (UTD) im Jahr 2020 für die Renergia und für die konventionelle KVA**

		<b>Renergia</b>	<b>konv. KVA</b>
verwertete Abfälle	t	200'000	3'841'000
Filterasche auf UTD	t	300	5'015
Abfälle in UTD aus Gewebefilter 2	t	400	-
Filterkuchen in UTD	t	-	1'862
spezifische Menge	tUTD/tAbfall	0.0035	0.0018

### 3.6 KVA Renergia

Die KVA Renergia wird 2015 ihren Betrieb aufnehmen. Im Gegensatz zu anderen Schweizer KVAs wird die Renergia mit einer trockenen Rauchgasreinigung betrieben. Die meisten Schweizer KVAs verfügen über eine nasse Rauchgasreinigung. Eine trockene RGR erlaubt einen höheren energetischen Wirkungsgrad der Anlage, es werden aber grössere Mengen an Hilfsmittel benötigt und es fallen feste Reststoffe an, die deponiert oder anderweitig entsorgt werden müssen (siehe Kapitel 3.5). Eine detaillierte Beschreibung der neuen KVA Renergia findet sich im Umweltverträglichkeitsbericht (Holinger AG 2011).

Bei einer KVA sind vor allem die Outputs von Interesse, da diese die höchsten Umweltbelastungen verursachen. Folgende Outputs fallen bei der KVA Renergia an:

- Emissionen in die Luft
- Schlacke: wird einer Metallentfrachtung unterzogen und in einem Schlackenkompartiment deponiert
- Flugasche (Rostasche und Filterasche): wird zu 50% einer sauren Wäsche unterzogen und danach zusammen mit der Schlacke auf einem Schlackenkompartiment deponiert, zu 44% mit Zement verfestigt und auf einer Reststoffdeponie abgelagert und zu 6% auf einer Untertagedeponie depo-

niert. Diese Anteile wurden auch für die konventionelle KVA für das Jahr 2020 übernommen (siehe Tabelle 3 und Kapitel 3.5).

- Reaktionsprodukt aus Gewebefilter 1: fester Abfall, wird rezykliert und zu Natriumcarbonat aufbereitet, welcher wiederum in der KVA Renergia eingesetzt werden kann.
- Reststoffe aus Gewebefilter 2: Kalkhydrat mit beladenem Koks, deponiert in Untertagedeponie in Deutschland.

Zur Modellierung einer KVA für Ökobilanzen steht ein Tool zur Verfügung (Doka 2009), welches jedoch veraltete Daten enthält und nur die nasse Rauchgasreinigung berücksichtigt. Mit Angaben aus dem Umweltverträglichkeitsbericht, der KVA Renergia, der Firma Ramboll und den aktuellen Inventaren zu einer konventionellen KVA (Doka 2014a, b) wurde das Tool entsprechend auf die Bedürfnisse der KVA Renergia angepasst.

Die Belastung der Verbrennung von Kunststoffen in Kehrichtverbrennungsanlagen hängt neben anderen Faktoren auch von den zu verbrennenden Fraktionen (PE, PP, PVC, EPS, PS, etc.) ab. Abhängig von der elementaren Zusammensetzung der zu verbrennenden Fraktionen ändert das Emissionsverhalten. Für alle Varianten wurde abhängig vom Sammelgut (nur Hohlkörper oder auch Verpackungen) und der im Haushalt eingesetzten Kunststofffraktionen gemäss Schelker & Geisselhard (Schelker & Geisselhardt 2011a) die zu verbrennende Fraktion berechnet und im Modell eingefügt (siehe auch Kapitel 4).

### 3.7 Zementwerke

Kunststoff kann unter gewissen Bedingungen und Einhaltung von Grenzwerten im Zementwerk mitverbrannt werden. Er ersetzt in der Klinkerproduktion keine Rohmaterialien dafür aber fossile Brennstoffe (Steinkohle, Braunkohle, Petrolkoks, Schweröl, Heizöl und Erdgas). Die Sachbilanz wird mit dem Tool LCA4AFR ermittelt (Bösch 2011).

Tabelle 4 zeigt wieviel konventionelle Brennstoffe<sup>1</sup> cemsuisse im Jahr 2007 mit dem Einsatz von 10 kg Kunststoffabfall als Alternativbrennstoff (entspricht ca. 12% der benötigten Energiemenge) für die Produktion von 1000 kg Klinker eingespart werden können. 1 kg Kunststoff ersetzt demnach ca. 1.5 kg andere fossile Brennstoffe, wobei hauptsächlich Stein- und Braunkohle. Der Einsatz der konventionell fossilen Brennstoffen stammt aus cemsuisse (2007).

---

<sup>1</sup> Neben den konventionellen Brennstoffen wird in einem Zementwerk eine breite Palette alternativer Brennstoffe eingesetzt wie z.B. Altpneus, Altöl, Lösungsmittel, ölbelastete Schwämme, etc. Der eingesetzte Kunststoff wird jedoch keine anderen alternativen, sondern konventionelle Brennstoffe ersetzen. Aus diesem Grund werden hier nur die konventionellen Brennstoffe gezeigt.

**Tabelle 4: Bedarf an Brennstoffen bei Verwendung konventioneller, fossiler Brennstoffe und dem Einsatz von 10 kg Kunststoffabfall in der Produktion von 1000 kg Klinker**

Brennstoff / Rohmaterialien	Einheit	konventionell fossile Brennstoffe	Brennstoffe unter Einsatz von Kunststoff	Einsparung konventionelle Brennstoffe
Steinkohle	kg	69.1	60.6	8.6
Braunkohle	kg	39.4	34.5	4.9
Petrolkoks	kg	12.1	10.6	1.5
Schweröl	kg	1.87	1.6	0.23
Heizöl, leicht	kg	0.280	0.2	0.035
Erdgas	kg	0.093	0.1	0.012
Kunststoff	kg	0.0	10.0	-

Belastungsseitig wird die Mitverbrennung von Kunststoff im Zementwerk gerechnet (Spalte 4 in Tabelle 4). Aufgrund der Gutschriftenbetrachtung erhalten die Verwertungswege pro Kilogramm produzierter Klinker eine Gutschrift. Die Gutschrift widerspiegelt die Herstellung von Klinker mit konventionellen Brennstoffen (Spalte 3 in Tabelle 4).

Der Kunststoff wird vor dem Einsatz in der Klinkerproduktion in einem Schredder zerkleinert, der dafür nötige Strombedarf wird berücksichtigt.

Wie schon bei der KVA ändert das Emissionsverhalten in Abhängigkeit von der elementaren Zusammensetzung der zu verbrennenden Fraktionen. Für alle Varianten wurde abhängig vom Sammelgut (nur Hohlkörper oder auch Verpackungen) und der im Haushalt eingesetzten Kunststofffraktionen gemäss Schelker & Geisselhard (2011a) die zu verbrennende Fraktion berechnet und im Modell eingefügt (siehe auch Kapitel 4).

### 3.8 Verölung

Zur Produktion von einer Tonne Ölprodukte wird rund 1.2 Tonnen Input benötigt. Die Belastung der Verölung wurde über eine bestehende Ökobilanzstudie von PlastOil (Kilga & Wick 2011) abgeschätzt. Die Studie weist keine Rohdaten (z.B. kWh Strom pro kg Kunststoff oder kg Hilfsmittel pro kg Kunststoff, etc.) aus, sondern das Treibhausgaspotential und die Umweltbelastungspunkte 2006 des Verfahrens.

Mittels dieser Ergebnisse kann die Belastung des Verfahrens grob abgeschätzt werden, es wird jedoch nicht die Datenqualität welche für andere Verfahren zur Verfügung steht erreicht. Die Verölung dominiert sowohl massenmässig (siehe Kapitel 6 im Hauptbericht) wie auch aus Sicht der Umweltbelastung (siehe Kilga & Wick 2011) die Ergebnisse nicht massgeblich, so dass dieses Vorgehen als akzeptabel eingestuft werden kann.

## 4 FRAKTIONEN

### 4.1 Übersicht

Das Emissionsverhalten einer KVA und eines Zementwerkes ändert in Abhängigkeit der elementaren Zusammensetzung der zu verbrennenden Fraktionen. Für alle Varianten wurde abhängig vom Sammelgut (nur Hohlkörper oder Hohlkörper und Verpackungen) und Menge an Fehlwürfen die zu verbrennende Fraktion berechnet und im Modell eingefügt.

Ausgangspunkt für die Berechnung der Fraktionen ist die im Haushalt eingesetzte Menge an Kunststoffen für Verpackungen (siehe Tabelle 5).

**Tabelle 5: Im Haushalt potentiell genutzte Kunststofffraktionen in der Schweiz, gemäss Schelker & Geisselhardt (2011a, Abbildung 6). 80% der Getränke PET Flaschen werden gesammelt, woraus ein Verbrauch von 11'000 Tonnen PET resultiert, welcher im Kehrichtsack endet. Die „Flaschen Divers“ bestehen zu einem weiteren relevanten Anteil aus PP.**

Fraktion	Beschrieb	Branche	Hauptkunststoff	Anteil Haupt-Kunststoff klein bis 33% mittel 50% gross ab 66%	Verbrauch total t/a
Folien	Lebensmittel-Verpackungen wie Fleisch, Käse, Chips, Teigwaren, Tiefkühlprodukte, Frischhalte, Zeitschriften, Elektro-Geräte etc.	Verpackung	PE-LD	klein	50'000
Tragtaschen	Tragtaschen für Kleider, Lebensmittel, Beutel etc.	Verpackung	PE-LD	gross	12'000
Hohlkörper ohne Flaschen	Schalen, Dosen, Blister etc.	Verpackung	PE	mittel	45'000
Becher	Joghurt, Glacé, Kaffeeautomatenbecher etc.	Verpackung	PS	gross	5'000
Flaschen Getränke PET	Mineralwasser, Süssgetränke, Säfte etc.	Verpackung	PET	gross	55'000
Flaschen Milchprodukte	Milch, Rahm, Milchdrinks etc.	Verpackung	PE-HD	gross	5'000
Flaschen Divers	Waschmittel und Kosmetik, Reinigung, Food (ohne PETGetränkeflaschen)	Verpackung	PE-HD	mittel	10'000
Füllmaterial Verpackungen	Füllmaterial hauptsächlich für Elektro- und Elektronikgeräte	Verpackung	EPS	gross	3'000
Diverse	Verpackungen divers, z.B. Kehrichtsäcke	Verpackung	-	-	45'000
Fahrzeuge	Interieur, Elektrik, Motor / Technik, Dämmung	Fahrzeug	PP	klein	90'000
Möbel	Schaumstoffe, Gartenmöbel etc.	Möbel	?	klein	40'000
Haushaltwaren	Küchengeräte, Werkzeuge etc.	Haushaltwaren	PP	klein	30'000
Elektro und Elektronik	IT, Unterhaltungselektronik, Telefonie, Küchengeräte etc.	Elektro/elektronik	PP	klein	50'000

Die aus Tabelle 5 berechneten und somit in den Haushalten eingesetzten Kunststofffraktionen sind in folgender Tabelle 6 festgehalten. In den Verpackungen sind auch Hohlkörper mitberücksichtigt.

**Tabelle 6: Aus Tabelle 5 berechnete Zusammensetzung der im Haushalt eingesetzten Verpackungen (inkl. Hohlkörper). PE wird aufgeteilt auf PE-LD und PE-HD (zu je 50%).**

Fraktion	Anteil	Bemerkungen
PS	3%	nur PET welches nicht separat gesammelt wird
PET	6%	
PE-HD	20%	
PE-LD	45%	
EPS, Styropor	2%	
PVC	3%	gemäss Schelker & Geisselhardt (2011a, Abbildung 25), abgezogen von Fraktion „unbekannt“
PP	20%	
unbekannt	1%	

Die Fremdstofffraktion wurde gemäss Schelker & Geisselhardt (2010) ermittelt und ist in Tabelle 7 aufgeführt. In Schelker & Geisselhardt (2010, Abbildung 5) wird die

Mischkunststofffraktion als EBS (Ersatzbrennstoff) fähig ausgewiesen, dies bedeutet sie kann in einem Zementwerk verbrannt werden. Für die Mischkunststoffe wird die gleiche Zusammensetzung angenommen wie für gesammelte Verpackungen (siehe Tabelle 6), jedoch ohne PVC und EBS, da diese nicht im Zementwerk verbrannt werden dürfen (PLASTREC GmbH 2014).

**Tabelle 7: Zusammensetzung der Fremdstofffraktion in der Separatsammlung von Verpackungen und Hohlkörper. Berechnet aus Schelker & Geisselhardt (2010, Abbildung 5).**

Fraktion	Anteil	Bemerkungen
Mischkunststoffe EBS fähig	83%	Kann in Zementwerk verbrannt werden
Restmüll	13%	Siedlungsabfall
Getränkeverbundkarton	1%	
Metalle	3%	

Die gesammelte und verwertete Fraktion unterscheidet sich in allen Varianten. Die folgende Tabelle 8 zeigt pro Variante die effektiv auftretenden Kunststofffraktionen und deren Entsorgungsweg auf. Zudem werden auch die übrigen anfallenden Abfälle und deren Entsorgungswege aufgeführt. Es ist ersichtlich, dass die Fraktionen PE-LD, PE-HD und PP jeweils den Hauptteil der Fraktionen ausmachen.

**Tabelle 8: Resultierende Fraktionen KVA Renergia, KVA konventionell und Zementwerk der Varianten 0 bis 4.**

ÜBERSICHT FRAKTIONEN	V0a/b			V1a			V1b		
	Fraktion Renergia/konventionell	Fraktion Zementwerk	Fraktion KVA konventionell	Fraktion Renergia	Fraktion Zementwerk	Fraktion KVA konventionelle II	Fraktion Renergia	Fraktion Zementwerk	Fraktion KVA konventionelle II
PS	3%	2%		3%	2%		3%	2%	
PET	6%	5%		4%	5%		6%	5%	
PE-HD	13%	36%		12%	38%		11%	38%	
PE-LD	50%	39%		52%	37%		51%	37%	
EPS, Styropor	2%	0%		2%	0%		2%	0%	
PVC	3%	0%		3%	0%		3%	0%	
PP	22%	17%		23%	16%		22%	17%	
unbekannt	1%	1%		2%	1%		1%	1%	

ÜBERSICHT FRAKTIONEN	V2		V3a			V3b		V4		
	Fraktion Renergia	Fraktion Zementwerk	Fraktion KVA konventionelle II	Fraktion Renergia	Fraktion Zementwerk	Fraktion KVA konventionelle II	Fraktion Renergia	Fraktion Zementwerk	Fraktion KVA konventionelle II	Fraktion KVA konventionell
PS	3%	3%		3%	3%		3%	3%		3%
PET	15%	6%		15%	6%		9%	6%		6%
PE-HD	5%	21%		5%	21%		10%	22%		22%
PE-LD	47%	47%		47%	47%		49%	47%		47%
EPS, Styropor	2%	0%		2%	0%		2%	0%		0%
PVC	3%	0%		3%	0%		3%	0%		0%
PP	21%	21%		21%	21%		22%	21%		21%
unbekannt	4%	1%		4%	1%		2%	1%		1%

## 4.2 Alternative Literaturquellen und Fraktionen

Andere Studien, beispielsweise Dinkel et al. (2013), zeigen folgende Anteile für gemischte Kunststoffe (Hohlkörper und Verpackungen): 37% PE, 13% PET, 8% PP, 5% PS und 37% Verbundstoffe. Häusle führt die Zusammensetzung eines Sackes welcher mittels Bringsammlung von einem Haushalt an die Sammelstelle gebracht wird mit folgenden Angaben: 20% PE, 10% PET, 11% PP/PS, 49% andere Kunststoffe (Verbunde, PET, etc.), 10% Restmüll und Metalle. Die Zusammensetzung der Verbunde ist sehr unterschiedlich. Um die Emissionsver-

halten der KVA und des Zementwerks quantifizieren zu können müssen diese Verbunde auf die einzelnen Fraktionen aufgeteilt werden. In Schelker & Geisselhardt (2011a) wird für Verbunde derjenige Kunststoff angegeben, welcher den grössten Anteil ausmacht. Somit ist es möglich die Verbundmaterialien näherungsweise auf die unterschiedlichen Fraktionen aufzuteilen, wobei mit dieser Berechnungsweise der Anteil PE und PP wahrscheinlich überschätzt wird (siehe Tabelle 5, Spalte 5 „Anteil Hauptkunststoff“).

In dieser Studie werden die berechneten Werte aus Schelker & Geisselhardt (2011a) verwendet. Im Weiteren soll erwähnt werden, dass das Emissionsverhalten für PE und PS sehr ähnlich ist und die Heizwerte von PE, PP und PS deutlich höher sind als für die anderen hier untersuchten Kunststofffraktionen. Alle Studien zeigen, dass der grösste Anteil der Verpackungen aus PE besteht.

## 5 GEWICHTUNG DER UMWELTINDIKATOREN

Innerhalb des Bereichs Umwelt wird die Gewichtung in Tabelle 9 angewendet. Der Indikator Klimaänderung wurde mit der Gewichtung von 25 % versehen und weist innerhalb des Bereichs Umwelt die höchste Gewichtung auf.

**Tabelle 9:**  
Gewichtung Bereich  
Umwelt

Bereich Umwelt	Gewichtung
U1 Klimaänderung	0.25
U2 Schonung nicht erneuerbarer Energieträger	0.15
U3 Humantoxizität	0.15
U4 Atemwegserkrankungen	0.15
U5 Sommersmog	0.15
U6 deponiert Abfälle	0.15
Total gewichtet	1.00
Alternatives Bewertungskriterium	
U7 Ökologische Knappheit 2013	1.00

## 6 DIREKTE UMWELTWIRKUNGEN

Die Nutzwerte der Umweltbelastungen der verschiedenen Varianten werden im Hauptbericht in den Kapiteln 7 und 9 detailliert erläutert und diskutiert. Hier wird kurz auf die einzelnen Indikatoren U1 bis U7 eingegangen.

Die Verbrennung im Zementwerk führt bei allen Indikatoren zu hohen Belastungen und hohen Gutschriften. Netto verursacht die Verbrennung von Kunststoff im Zementwerk eine Gutschrift. Detail sind dem Hauptteil (Kapitel 7.2) zu entnehmen.

### 6.1 U1: Klimaänderung

Die folgende Tabelle 10 zeigt die numerischen Resultate des Umweltindikators Klimaänderung. Dieser Indikator wird im Detail im Hauptteil des Berichtes Kapitel 7.2 diskutiert.

**Tabelle 10: Klimaänderung für alle Varianten**

	V0a: Renergia t CO2-eq/p	V0b: konv. KVA t CO2-eq/p	V1a: HS/Hohlk./w erkst. t CO2-eq/p	V1b: BS/Hohlk./w erkst. t CO2-eq/p	V2: HS/Misch/EBS t CO2-eq/p	V3a: HS/Misch/we rkst. t CO2-eq/p	V3b: BS/Misch/we rkst. t CO2-eq/p	V4: BS/Misch/Ver rölung t CO2-eq/p
Sammlung	1267	1267	1149	1416	1124	1124	3274	3274
Sortierung/Verwertung	319	319	446	382	285	1444	857	543
Zementwerk	22040	22040	28851	24756	1070261	533638	278388	221645
KVA Renergia	49878	0	47982	48953	18992	18992	34627	34627
KVA konventionell	239	50464	314	269	3626	2095	1087	2704
Verölung	0	0	0	0	0	0	0	1640
Transporte	132	132	166	263	293	583	521	422
Gutschrift Kunststoff	-2955	-2955	-4137	-3546	-1034	-13158	-7827	-4966
Gutschrift Klinker	-22397	-22397	-29318	-25156	-1086706	-541838	-282666	-225050
Gutschrift Wärme	-20528	-10175	-19907	-20301	-8430	-8104	-14438	-14902
Gutschrift Strom	-16699	-11490	-16197	-16516	-6974	-6642	-11773	-12204
Gutschrift Erdölprodukte	0	0	0	0	0	0	0	-671
<b>Total Netto</b>	<b>11296</b>	<b>27206</b>	<b>9350</b>	<b>10520</b>	<b>-8564</b>	<b>-11864</b>	<b>2050</b>	<b>7062</b>

### 6.2 U2: Schonung nicht erneuerbarer Energieträger

Im Bereich Schonung nicht erneuerbarer Energieträger verursacht Variante V3a die tiefsten und Variante V0b die höchsten Umweltbelastungen (siehe Abbildung 1 und Tabelle 11). Dieser Indikator wird sehr stark von den Gutschriften dominiert, da alle Gutschriften als nicht erneuerbare (fossile) Energieträger definiert wurden. Belastungsseitig dominieren neben dem Zementwerk die Sortierung/Verwertung (Energiebedarf in Form von Strom und Wärme) und die Sammlung der Kunststoffe. Der Sammelaufwand für Varianten 3 und 4 (Bringsammlung, Hohlkörper und Verpackung) führt dabei zum höchsten Energieaufwand (Benzinverbrauch durch private PKWs).



Abbildung 1: Ergebnisse der Bewertung mit Schonung nicht erneuerbarer Energieträger pro Variante.

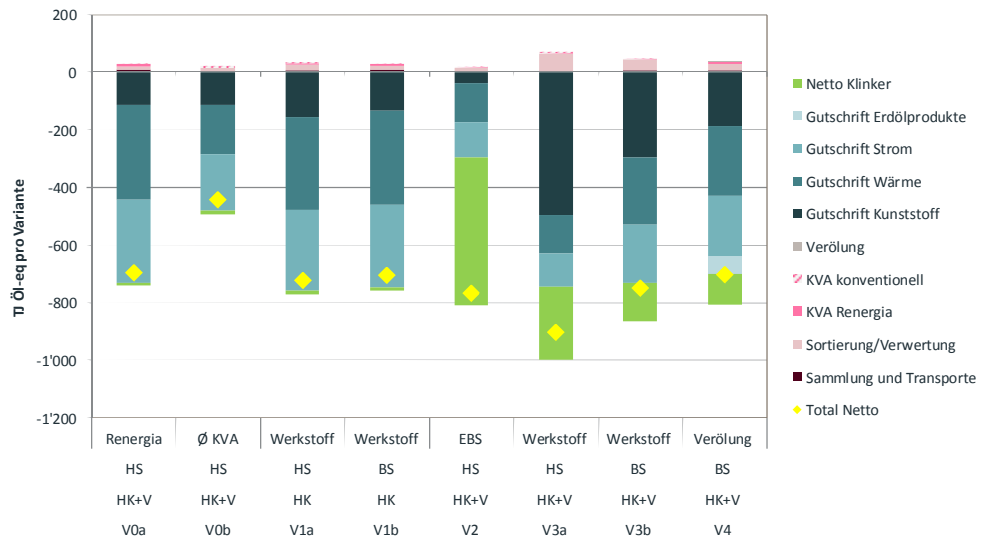


Tabelle 11: Schonung nicht erneuerbarer Energieträger für alle Varianten

	V0a: Renergia	V0b: konv. KVA	V1a: HS/Hohlk./w erkst.	V1b: BS/Hohlk./w erkst.	V2: HS/Misch/EBS	V3a: HS/Misch/we rkst.	V3b: BS/Misch/we rkst.	V4: BS/Misch/Ver ölung
	TJ Oil-eq/p	TJ Oil-eq/p	TJ Oil-eq/p	TJ Oil-eq/p	TJ Oil-eq/p	TJ Oil-eq/p	TJ Oil-eq/p	TJ Oil-eq/p
Sammlung	21.7	21.7	19.1	24.6	17.9	17.9	61.6	61.6
Sortierung/Verwertung	13.7	13.7	19.2	16.5	12.5	62.9	37.3	23.6
Zementwerk	101.3	101.3	132.6	113.7	4920.4	2453.3	1279.9	1019.0
KVA Renergia	7.0	0.0	6.7	6.9	2.7	2.7	4.9	4.9
KVA konventionell	0.1	10.0	0.1	0.1	1.1	0.7	0.3	0.8
Verölung	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9
Transporte	2.2	2.2	2.8	4.4	4.8	9.7	8.6	7.0
Gutschrift Kunststoff	-111.6	-111.6	-156.3	-133.9	-39.1	-497.0	-295.7	-187.6
Gutschrift Klinker	-112.0	-112.0	-146.6	-125.7	-5432.0	-2708.4	-1412.9	-1124.9
Gutschrift Wärme	-331.8	-171.3	-321.8	-328.2	-136.8	-131.3	-233.5	-241.3
Gutschrift Strom	-288.0	-198.2	-279.3	-284.9	-120.3	-114.6	-203.1	-210.5
Gutschrift Erdölprodukte	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-60.3
Total Netto	-697.5	-444.2	-723.5	-706.6	-768.9	-904.1	-752.6	-704.0

### 6.3 U3: Ökotoxizität

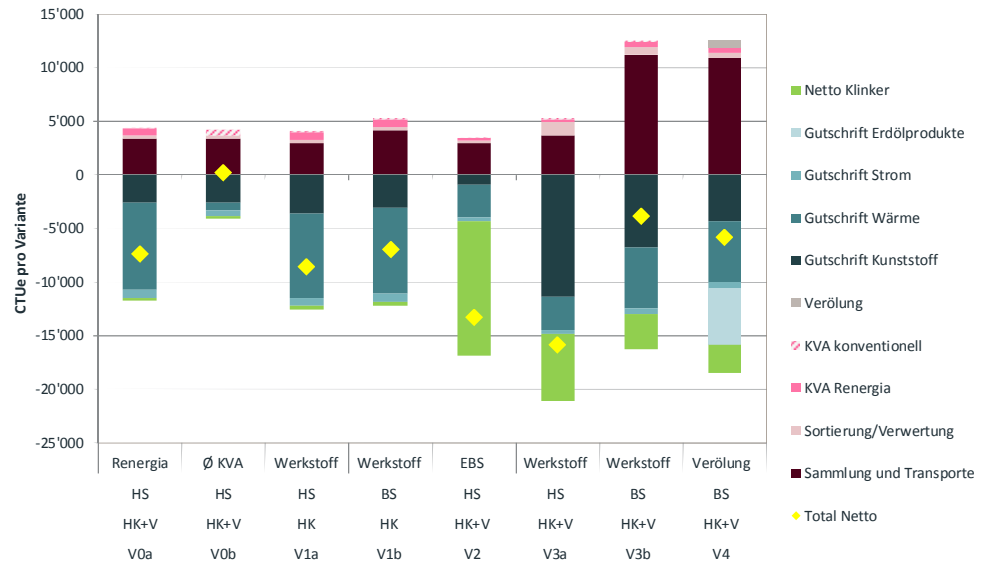
Die Ökotoxizität wird stark von Emissionen beeinflusst, die in der Erdölaufbereitung anfallen, z.B. Emissionen von organischen Schadstoffen wie Toluol und Xylol. Alle Prozesse, die direkt Erdöl verbrauchen, erzielen daher vergleichsweise hohe Belastungen bzw. Gutschriften.

Der Sammelaufwand ist bei diesem Indikator von deutlich höherer Bedeutung als bei anderen Indikatoren, wobei der Privatverkehr zum Ökihof bzw. zum Detailhandel pro Kilogramm Sammelgut deutlich höhere Belastungen verursacht als die Sammlung mittels Kehrlichfahrzeugen. Es muss beachtet werden, dass auch in den Varianten mit Holsammlung ein Teil der Hohlkörper von Privatpersonen zum Detailhandel gebracht werden.

Auffallend ist auch die deutlich höhere Gutschrift für die Wärmeproduktion aus der KVA Renergia im Vergleich zur Wärmeproduktion aus einer konventionellen KVA. Dies hängt nicht nur mit der produzierten Menge sondern auch mit der Art der Gutschriften zusammen. Für die Wärme ab KVA Renergia wird neben Erdgas auch

Schweröl gutgeschrieben. Die Schwerölfeuerung verursacht ebenfalls hohe Emissionen welche die Ökotoxizität beeinflussen.

Abbildung 2: Ergebnisse der Bewertung mit Ökotoxizität pro Variante.



Tab. 6.1: Ökotoxizität für alle Varianten

	V0a: Renergia	V0b: konv. KVA	V1a: HS/Hohlk./w erkst.	V1b: BS/Hohlk./w erkst.	V2: HS/Misch/EBS	V3a: HS/Misch/we rkst.	V3b: BS/Misch/we rkst.	V4: BS/Misch/Verölung
	CTUe	CTUe	CTUe	CTUe	CTUe	CTUe	CTUe	CTUe
Sammlung	3011	3011	2488	3471	2161	2161	9768	9768
Sortierung/Verwertung	277	277	389	333	225	1242	739	468
Zementwerk	2980	2980	3901	3347	144636	72116	37622	29953
KVA Renergia	670	0	644	657	255	255	469	469
KVA konventionell	4	623	5	5	69	43	21	49
Verölung	0	0	0	0	0	0	0	668
Transporte	342	342	426	674	824	1508	1396	1146
Gutschrift Kunststoff	-2565	-2565	-3592	-3078	-898	-11424	-6796	-4312
Gutschrift Klinker	-3240	-3240	-4241	-3639	-157199	-78380	-40889	-32555
Gutschrift Wärme	-8108	-737	-7858	-8016	-3084	-3068	-5641	-5677
Gutschrift Strom	-793	-546	-769	-784	-331	-315	-559	-579
Gutschrift Erdölprodukte	0	0	0	0	0	0	0	-5302
Total Netto	-7422	146	-8606	-7030	-13343	-15863	-3872	-5904

## 6.4 U4: Atemwegserkrankungen

Die folgende Tabelle 12 zeigt die numerischen Resultate des Umweltindikators Atemwegserkrankungen. Dieser Indikator wird im Detail im Hauptbericht in Kapitel 7.2 diskutiert.

**Tabelle 12: Potential für Atemwegserkrankung für alle Varianten**

	V0a: Renergia	V0b: konv. KVA	V1a: HS/Hohlk./w erkst.	V1b: BS/Hohlk./w erkst.	V2: HS/Misch/EBS	V3a: HS/Misch/we rkst.	V3b: BS/Misch/we rkst.	V4: BS/Misch/Ver rölung
	t PM10-eq	t PM10-eq	t PM10-eq	t PM10-eq	t PM10-eq	t PM10-eq	t PM10-eq	t PM10-eq
Sammlung	2.21	2.21	2.14	2.35	2.32	2.32	4.04	4.04
Sortierung/Verwertung	0.45	0.45	0.62	0.54	0.61	2.02	1.20	0.76
Zementwerk	16.21	16.21	21.22	18.21	787	392	205	163
KVA Renergia	1.71	0.00	1.65	1.68	0.66	0.66	1.21	1.21
KVA konventionell	0.02	2.37	0.02	0.02	0.26	0.16	0.08	0.19
Verölung	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41
Transporte	0.33	0.33	0.41	0.65	0.76	1.44	1.32	1.08
Gutschrift Kunststoff	-2.88	-2.88	-4.03	-3.45	-1.01	-12.80	-7.62	-4.83
Gutschrift Klinker	-16.50	-16.50	-21.60	-18.53	-801	-399	-208	-166
Gutschrift Wärme	-10.65	-1.82	-10.32	-10.53	-4.12	-4.06	-7.43	-7.51
Gutschrift Strom	-4.06	-2.79	-3.94	-4.02	-1.70	-1.61	-2.86	-2.97
Gutschrift Erdölprodukte	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.29
<b>Total Netto</b>	<b>-13.15</b>	<b>-2.42</b>	<b>-13.82</b>	<b>-13.08</b>	<b>-15.93</b>	<b>-18.73</b>	<b>-13.63</b>	<b>-11.76</b>

## 6.5 U5: Sommersmog

Das Sommersmogpotential zeigt die photochemische Ozonbildung auf. Tabelle 13 und Abbildung 3 fassen die Resultate pro Variante zusammen. Es ist ersichtlich, dass die Variante V3a das tiefste Sommersmogpotential verursacht. Die Variante V0b verfügt über das höchste Sommersmogpotential. Die Variante V0a liegt im Mittelfeld der untersuchten Varianten.

Die Ergebnisse des Sommersmogs werden von NO<sub>x</sub> und NMVOC Emissionen dominiert. Die Kunststoffverwertung im Zementwerk fällt bei diesem Indikator stark ab und nimmt nur den zweitletzten Platz ein. Dies ist u.a. auf die hohen NO<sub>x</sub> Emissionen der Zementwerke zurückzuführen, die grösstenteils über keine DENOX Anlage verfügen. Im weiteren führt die Herstellung von Primärkunststoff zu hohen NMVOC Emissionen, die bei der Rezyklierung von Kunststoff vermieden werden können und daher hohe Gutschriften erzielt.

**Abbildung 3: Ergebnisse der Bewertung mit Sommersmog pro Variante.**



**Tabelle 13: Umweltbelastung durch Sommersmog für alle Varianten**

	V0a: Renergia	V0b: konv. KVA	V1a: HS/Hohlk./w erkst.	V1b: BS/Hohlk./w erkst.	V2: HS/Misch/EBS	V3a: HS/Misch/we rkst.	V3b: BS/Misch/we rkst.	V4: BS/Misch/Ver rölung
	t NMVOC/p	t NMVOC/p	t NMVOC/p	t NMVOC/p	t NMVOC/p	t NMVOC/p	t NMVOC/p	t NMVOC/p
Sammlung	9.29	9.29	9.08	9.77	9.89	9.89	15.41	15.41
Sortierung/Verwertung	0.98	0.98	1.37	1.17	1.65	4.41	2.62	1.66
Zementwerk	30.57	30.57	40.02	34.34	1483	740	386	307
KVA Renergia	4.35	0.00	4.18	4.27	1.69	1.69	3.08	3.08
KVA konventionell	0.06	9.34	0.08	0.07	1.04	0.62	0.31	0.75
Verölung	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.41
Transporte	1.28	1.28	1.61	2.54	2.99	5.67	5.17	4.22
Gutschrift Kunststoff	-12.54	-12.54	-17.56	-15.05	-4.39	-55.86	-33.23	-21.08
Gutschrift Klinker	-31.30	-31.30	-40.97	-35.15	-1519	-757	-395	-314
Gutschrift Wärme	-29.92	-8.27	-29.01	-29.59	-11.80	-11.55	-20.92	-21.30
Gutschrift Strom	-17.25	-11.87	-16.73	-17.06	-7.20	-6.86	-12.16	-12.60
Gutschrift Erdölprodukte	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-5.22
<b>Total Netto</b>	<b>-44.47</b>	<b>-12.51</b>	<b>-47.93</b>	<b>-44.69</b>	<b>-41.15</b>	<b>-69.45</b>	<b>-48.83</b>	<b>-40.94</b>

## 6.6 U6: Deponierte Abfälle (Untertagedeponie & Endlager radioaktive Abfälle)

Die deponierten Abfälle (UTD & EL) beurteilen die Umweltbelastung durch diejenigen Abfälle die in einer Untertagedeponie (UTD) oder einem Endlager für radioaktive Abfälle (EL) gelagert werden. Durch die Verwertung der Kunststoffe soll das deponierte Volumen grundsätzlich reduziert werden.

Tabelle 14 und Abbildung 4 beschreiben die Resultate aller Varianten bezüglich der deponierten Abfälle in UTD und EL.

Die konventionelle KVA verursacht die geringsten Umweltbelastungen durch deponierte Abfälle. Die Variante 0a führt zu den höchsten Umweltbelastungen. Feste Abfälle der KVA Renergia werden teilweise auf Untertagedeponien entsorgt, dieser Anteil ist bei einer konventionellen KVA deutlich geringer. In allen Varianten bis auf Variante 0b wird ein Teil der Kunststoffe in der KVA Renergia entsorgt, was automatisch zu höheren Mengen Abfällen führt.

**Abbildung 4: Ergebnisse der Bewertung mit deponierten Abfällen (UTD & EL) pro Variante.**



**Tabelle 14: Umweltbelastung durch deponierte Abfälle (UTD & EL) für alle Varianten**

	V0a: Renergia	V0b: konv. KVA	V1a: HS/Hohlk./w erkst.	V1b: BS/Hohlk./w erkst.	V2: HS/Misch/EBS	V3a: HS/Misch/we rkst.	V3b: BS/Misch/we rkst.	V4: BS/Misch/Ver rölung
	m3	m3	m3	m3	m3	m3	m3	m3
Sammlung	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.07	0.06	0.06
Sortierung/Verwertung	0.05	0.05	0.06	0.05	0.04	0.27	0.12	0.08
Zementwerk	0.10	0.10	0.13	0.11	4.78	2.48	1.24	0.99
KVA Renergia	52.88	0.00	51.00	52.01	22.78	21.90	37.86	38.87
KVA konventionell	0.09	27.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Verölung	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.19
Transporte	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00
Gutschrift Kunststoff	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
Gutschrift Klinker	-0.10	-0.10	-0.13	-0.11	-4.90	-2.35	-1.28	-1.02
Gutschrift Wärme	-0.07	-0.03	-0.07	-0.07	-0.03	0.05	-0.05	-0.05
Gutschrift Strom	-0.07	-0.05	-0.07	-0.07	-0.03	0.07	-0.05	-0.05
Gutschrift Erdölprodukte	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01
Total Netto	52.89	27.18	50.94	51.95	22.65	22.59	37.92	41.07

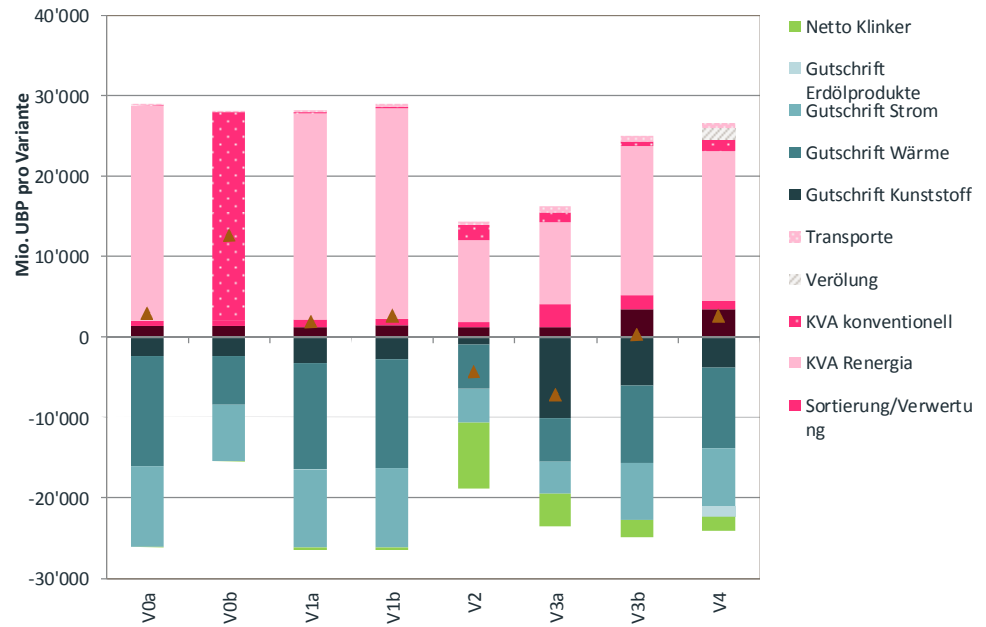
## 6.7 U7: Methode der ökologischen Knappheit 2013

Durch die Abbildung der gesamten Dimension Umwelt mit dem einen Indikator Gesamtumweltbelastung umfassen die Nutzwerte nun den gesamten Bereich von 0 bis 0.5 (siehe Kapitel 4.3.1 des Hauptberichts). Folgende Tabelle 15 und Abbildung 5 zeigen die Gesamtumweltbelastung pro Variante in tabellarischer und graphischer Form.

**Tabelle 15: Gesamtumweltbelastung anhand der Methode der ökologischen Knappheit 2013 der untersuchten Varianten**

	V0a: Renergia	V0b: konv. KVA	V1a: HS/Hohlk./w erkst.	V1b: BS/Hohlk./w erkst.	V2: HS/Misch/EBS	V3a: HS/Misch/we rkst.	V3b: BS/Misch/we rkst.	V4: BS/Misch/Ver rölung
	Mio UBP/p	Mio UBP/p	Mio UBP/p	Mio UBP/p	Mio UBP/p	Mio UBP/p	Mio UBP/p	Mio UBP/p
Sammlung	1395	1395	1278	1553	1303	1303	3508	3508
Sortierung/Verwertung	611	611	856	733	572	2790	1655	1047
Zementwerk	14540	14540	19032	16331	705926	351978	183620	146193
KVA Renergia	26676	0	25661	26182	10140	10140	18539	18539
KVA konventionell	129	25900	169	145	1962	1144	590	1454
Verölung	0	0	0	0	0	0	0	1413
Transporte	192	192	240	379	449	845	773	632
Gutschrift Kunststoff	-2256	-2256	-3159	-2707	-790	-10047	-5977	-3792
Gutschrift Klinker	-14718	-14718	-19266	-16531	-714116	-356062	-185750	-147889
Gutschrift Wärme	-13636	-6076	-13223	-13480	-5549	-5356	-9578	-9855
Gutschrift Strom	-10033	-6904	-9731	-9923	-4190	-3991	-7074	-7333
Gutschrift Erdölprodukte	0	0	0	0	0	0	0	-1242
Total Netto	2898	12684	1858	2681	-4293	-7254	306	2674

**Abbildung 5: Gesamtumweltbelastung anhand der Methode der ökologischen Knappheit 2013 der untersuchten Varianten**



Aus Umweltsicht sind die Varianten V3a und V2 zu bevorzugen. Diese verursachen die geringste Gesamtumweltbelastung. Die Verwertung des Kunststoffes in der konventionellen KVA (0b) verursacht netto die grösste Gesamtumweltbelastung.

## **7 ERGEBNISSE**

Die in den Unterkapiteln 6.1 bis 6.7 aufgeführten Umweltbelastungen wurden gewichtet (siehe Tabelle 9) und in Nutzwertpunkte umgewandelt. Die gewichteten und ungewichteten Nutzwertpunkte der einzelnen Umweltindikatoren finden sich im Unterkapitel 7.1.

### **7.1 Nutzwertpunkte der einzelnen Umweltindikatoren, Standard**

Der Indikator Klimaänderung wurde mit der Gewichtung von 25 % versehen und weist innerhalb des Bereichs Umwelt die höchste Gewichtung auf. Die restlichen Indikatoren sind mit je 15 % gewichtet. Tabelle 16 zeigt die gewichteten und ungewichteten Nutzenpunkte aller Umweltindikatoren inkl. der alternativen Bewertungsmöglichkeit mit der Methode der ökologischen Knappheit.

Tabelle 16: gewichtete und ungewichtete Nutzwertpunkte aller Umweltindikatoren im Standardfall

Kriterium	Variante	Nutzwerte (Punkte) gewichtet	Nutzwerte (Punkte) ungewichtet
U1	V0a HS m Kehricht Ren	0.10	0.41
	V0b HS m Kehricht k KVA	0.00	0.00
	V1a HS HK	0.11	0.46
	V1b BS HK	0.11	0.43
	V2 HS HK&V EBS	0.23	0.92
	V3a HS HK&V	0.25	1.00
	V3b BS HK&V	0.16	0.64
	V4 BS HK&V Öl	0.13	0.52
Kriterium	Variante	Nutzwerte (Punkte) gewichtet	Nutzwerte (Punkte) ungewichtet
U2	V0a HS m Kehricht Ren	0.08	0.55
	V0b HS m Kehricht k KVA	0.00	0.00
	V1a HS HK	0.09	0.61
	V1b BS HK	0.09	0.57
	V2 HS HK&V EBS	0.11	0.71
	V3a HS HK&V	0.15	1.00
	V3b BS HK&V	0.10	0.67
	V4 BS HK&V Öl	0.08	0.56
Kriterium	Variante	Nutzwerte (Punkte) gewichtet	Nutzwerte (Punkte) ungewichtet
U3	V0a HS m Kehricht Ren	0.07	0.47
	V0b HS m Kehricht k KVA	0.00	0.00
	V1a HS HK	0.08	0.55
	V1b BS HK	0.07	0.45
	V2 HS HK&V EBS	0.13	0.84
	V3a HS HK&V	0.15	1.00
	V3b BS HK&V	0.04	0.25
	V4 BS HK&V Öl	0.06	0.38



Kriterium	Variante	Nutzwerte (Punkte) gewichtet	Nutzwerte (Punkte) ungewichtet
U4	V0a HS m Kehricht Ren	0.10	0.66
	V0b HS m Kehricht k KVA	0.00	0.00
	V1a HS HK	0.10	0.70
	V1b BS HK	0.10	0.65
	V2 HS HK&V EBS	0.12	0.83
	V3a HS HK&V	0.15	1.00
	V3b BS HK&V	0.10	0.69
	V4 BS HK&V Öl	0.09	0.57
Kriterium	Variante	Nutzwerte (Punkte) gewichtet	Nutzwerte (Punkte) ungewichtet
U5	V0a HS m Kehricht Ren	0.08	0.56
	V0b HS m Kehricht k KVA	0.00	0.00
	V1a HS HK	0.09	0.62
	V1b BS HK	0.08	0.57
	V2 HS HK&V EBS	0.08	0.50
	V3a HS HK&V	0.15	1.00
	V3b BS HK&V	0.10	0.64
	V4 BS HK&V Öl	0.07	0.50
Kriterium	Variante	Nutzwerte (Punkte) gewichtet	Nutzwerte (Punkte) ungewichtet
U6	V0a HS m Kehricht Ren	0.00	0.00
	V0b HS m Kehricht k KVA	0.13	0.85
	V1a HS HK	0.01	0.06
	V1b BS HK	0.0047	0.03
	V2 HS HK&V EBS	0.15	1.00
	V3a HS HK&V	0.15	1.00
	V3b BS HK&V	0.07	0.49
	V4 BS HK&V Öl	0.06	0.39
Kriterium	Variante	Nutzwerte (Punkte) gewichtet	Nutzwerte (Punkte) ungewichtet
U7	V0a HS m Kehricht Ren	0.49	0.49
	V0b HS m Kehricht k KVA	0.00	0.00
	V1a HS HK	0.54	0.54
	V1b BS HK	0.50	0.50
	V2 HS HK&V EBS	0.85	0.85
	V3a HS HK&V	1.00	1.00
	V3b BS HK&V	0.62	0.62
	V4 BS HK&V Öl	0.50	0.50

## 7.2 Nutzwertpunkte der einzelnen Umweltindikatoren, Sensitivität Strom aus Braunkohle

Der Indikator Klimaänderung wurde mit der Gewichtung von 25 % versehen und weist innerhalb des Bereichs Umwelt die höchste Gewichtung auf. Die restlichen Indikatoren sind mit je 15 % gewichtet. Tabelle 16 zeigt die gewichteten und ungewichteten Nutzenpunkte aller Umweltindikatoren.

**Tabelle 17: gewichtete und ungewichtete Nutzwertpunkte aller Umweltindikatoren für die Sensitivität Braunkohlestrom**

Kriterium	Variante	Nutzwerte (Punkte) gewichtet	Nutzwerte (Punkte) ungewichtet
U1	V0a HS m Kehricht Ren	0.22	0.89
	V0b HS m Kehricht k KVA	0.00	0.00
	V1a HS HK	0.23	0.93
	V1b BS HK	0.23	0.91
	V2 HS HK&V EBS	0.23	0.91
	V3a HS HK&V	0.25	1.00
	V3b BS HK&V	0.22	0.87
	V4 BS HK&V Öl	0.18	0.73
Kriterium	Variante	Nutzwerte (Punkte) gewichtet	Nutzwerte (Punkte) ungewichtet
U2	V0a HS m Kehricht Ren	0.13	0.88
	V0b HS m Kehricht k KVA	0.00	0.00
	V1a HS HK	0.14	0.93
	V1b BS HK	0.13	0.90
	V2 HS HK&V EBS	0.10	0.66
	V3a HS HK&V	0.15	1.00
	V3b BS HK&V	0.12	0.82
	V4 BS HK&V Öl	0.11	0.71
Kriterium	Variante	Nutzwerte (Punkte) gewichtet	Nutzwerte (Punkte) ungewichtet
U3	V0a HS m Kehricht Ren	0.07	0.49
	V0b HS m Kehricht k KVA	0.00	0.00
	V1a HS HK	0.08	0.56
	V1b BS HK	0.07	0.46
	V2 HS HK&V EBS	0.13	0.84
	V3a HS HK&V	0.15	1.00
	V3b BS HK&V	0.04	0.25
	V4 BS HK&V Öl	0.06	0.38

Kriterium	Variante	Nutzwerte (Punkte) gewichtet	Nutzwerte (Punkte) ungewichtet
U4	V0a HS m Kehricht Ren	0.15	1.00
	V0b HS m Kehricht k KVA	0.03	0.21
	V1a HS HK	0.14	0.96
	V1b BS HK	0.15	0.98
	V2 HS HK&V EBS	0.00	0.00
	V3a HS HK&V	0.00	0.02
	V3b BS HK&V	0.07	0.47
	V4 BS HK&V Öl	0.07	0.48
Kriterium	Variante	Nutzwerte (Punkte) gewichtet	Nutzwerte (Punkte) ungewichtet
U5	V0a HS m Kehricht Ren	0.1457	0.9711
	V0b HS m Kehricht k KVA	0.0000	0.0000
	V1a HS HK	0.1500	1.0000
	V1b BS HK	0.1443	0.9622
	V2 HS HK&V EBS	0.0321	0.2141
	V3a HS HK&V	0.1081	0.7206
	V3b BS HK&V	0.1051	0.7009
	V4 BS HK&V Öl	0.0876	0.5837
Kriterium	Variante	Nutzwerte (Punkte) gewichtet	Nutzwerte (Punkte) ungewichtet
U6	V0a HS m Kehricht Ren	0.00	0.00
	V0b HS m Kehricht k KVA	0.13	0.85
	V1a HS HK	0.01	0.06
	V1b BS HK	0.00	0.03
	V2 HS HK&V EBS	0.15	1.00
	V3a HS HK&V	0.15	1.00
	V3b BS HK&V	0.07	0.49
	V4 BS HK&V Öl	0.06	0.39

### 7.3 Nutzwertpunkte der einzelnen Umweltindikatoren, Sensitivität Ausschluss U6

Der Indikator Klimaänderung wurde mit der Gewichtung von 28 % versehen und weist innerhalb des Bereichs Umwelt die höchste Gewichtung auf. Die restlichen Indikatoren U2 bis U5 sind mit je 18 % gewichtet, U6 wird aus der Betrachtung ausgeschlossen. Tabelle 16 zeigt die gewichteten und ungewichteten Nutzenpunkte aller Umweltindikatoren.

Tabelle 18: gewichtete und ungewichtete Nutzwertpunkte aller Umweltindikatoren für die Sensitivität „Ausschluss von U6“

Kriterium	Variante	Nutzwerte (Punkte) gewichtet	Nutzwerte (Punkte) ungewichtet
U1	V0a HS m Kehricht Ren	0.11	0.41
	V0b HS m Kehricht k KVA	0.00	0.00
	V1a HS HK	0.13	0.46
	V1b BS HK	0.12	0.43
	V2 HS HK&V EBS	0.26	0.92
	V3a HS HK&V	0.28	1.00
	V3b BS HK&V	0.18	0.64
	V4 BS HK&V Öl	0.14	0.52
Kriterium	Variante	Nutzwerte (Punkte) gewichtet	Nutzwerte (Punkte) ungewichtet
U2	V0a HS m Kehricht Ren	0.10	0.55
	V0b HS m Kehricht k KVA	0.00	0.00
	V1a HS HK	0.11	0.61
	V1b BS HK	0.10	0.57
	V2 HS HK&V EBS	0.13	0.71
	V3a HS HK&V	0.18	1.00
	V3b BS HK&V	0.12	0.67
	V4 BS HK&V Öl	0.10	0.56
Kriterium	Variante	Nutzwerte (Punkte) gewichtet	Nutzwerte (Punkte) ungewichtet
U3	V0a HS m Kehricht Ren	0.09	0.47
	V0b HS m Kehricht k KVA	0.00	0.00
	V1a HS HK	0.10	0.55
	V1b BS HK	0.08	0.45
	V2 HS HK&V EBS	0.15	0.84
	V3a HS HK&V	0.18	1.00
	V3b BS HK&V	0.05	0.25
	V4 BS HK&V Öl	0.07	0.38
Kriterium	Variante	Nutzwerte (Punkte) gewichtet	Nutzwerte (Punkte) ungewichtet
U4	V0a HS m Kehricht Ren	0.12	0.66
	V0b HS m Kehricht k KVA	0.00	0.00
	V1a HS HK	0.13	0.70
	V1b BS HK	0.12	0.65
	V2 HS HK&V EBS	0.15	0.83
	V3a HS HK&V	0.18	1.00
	V3b BS HK&V	0.12	0.69
	V4 BS HK&V Öl	0.10	0.57
Kriterium	Variante	Nutzwerte (Punkte) gewichtet	Nutzwerte (Punkte) ungewichtet
U5	V0a HS m Kehricht Ren	0.10	0.56
	V0b HS m Kehricht k KVA	0.00	0.00
	V1a HS HK	0.11	0.62
	V1b BS HK	0.10	0.57
	V2 HS HK&V EBS	0.09	0.50
	V3a HS HK&V	0.18	1.00
	V3b BS HK&V	0.11	0.64
	V4 BS HK&V Öl	0.09	0.50

## Literaturverzeichnis

- Arena et al. 2003      Arena U., Mastellone M. L. and Perugini F. (2003) Life Cycle Assessment of a Plastic Packaging Recycling System. In: International Journal of Life Cycle Assessment, Volume 8, Number 2, pp. INT J LCA 8 (2) 92 - 98 (2003), retrieved from: [dx.doi.org/10.1065/lca2003.02.106](http://dx.doi.org/10.1065/lca2003.02.106).
- BAFU et al. 2014      BAFU, BFE and VBSA (2014) Einheitliche Heizwert- und Energiekennzahlenberechnung der Schweizer KVA nach europäischem Standardverfahren - Resultate 2013. BAFU, BFE, VBSA, Bern, Switzerland, retrieved from: [http://www.bfe.admin.ch/infrastrukturanlagen/01079/01135/index.html?lang=de&dossier\\_id=01690](http://www.bfe.admin.ch/infrastrukturanlagen/01079/01135/index.html?lang=de&dossier_id=01690).
- BFS/ARE 2007      BFS/ARE (2007) Mobilität in der Schweiz: Ergebnisse des Mikrozensus 2005 zum Verkehrsverhalten. Bundesamt für Statistik, Bundesamt für Raumentwicklung, Neuchâtel, Bern.
- Boesch 2011      Boesch M. E. (2011) Environmental Decision Support Tool to Optimize Waste Co-processing in the Cement Industry (LCA4AFR). Institute of Environmental Engineering - Ecological Systems Design, ETH Zuerich, Zürich, retrieved from: [http://www.ifu.ethz.ch/ESD/downloads/LCA4AFR/index\\_EN](http://www.ifu.ethz.ch/ESD/downloads/LCA4AFR/index_EN).
- Bösch 2011      Bösch M. (2011) Environmental Decision Support Tool to Optimize Waste Co-processing in the Cement Industry (LCA4AFR). Institute of Environmental Engineering - Ecological Systems Design, ETH Zuerich, Zürich, retrieved from: [http://www.ifu.ethz.ch/ESD/downloads/LCA4AFR/index\\_EN](http://www.ifu.ethz.ch/ESD/downloads/LCA4AFR/index_EN).
- cemsuisse 2007      cemsuisse (2007) Kennzahlen 2007. Verband der Schweizerischen Zementindustrie, Bern, CH.
- Dinkel 2013      Dinkel F. (2013) Aktualisierte Ökobilanz zum Recycling von Kunststoffen und Getränkekartons. carbotech, Basel.
- Doka 2009      Doka G. (2009) Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. ecoinvent report No. 13, v2.1. EMPA St. Gallen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).
- Doka 2014a      Doka G. (2014a) Updates to Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services - part II: waste incineration. Doka Life Cycle Assessments, Zürich, Switzerland.

- Doka 2014b Doka G. (2014b) Ökoinventare der Kehrlichtverbrennung mit Reststoffdeponie & Untertagedeponie & FLUREC-Ascheaufbereitung Doka Life Cycle Assessments im Auftrag des BAFU, Zürich, Switzerland.
- ecoinvent Centre 2010 ecoinvent Centre (2010) ecoinvent data v2.2, ecoinvent reports No. 1-25. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland, retrieved from: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).
- Frischknecht et al. 2007 Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Dones R., Heck T., Hellweg S., Hirschler R., Nemecek T., Rebitzer G. and Spielmann M. (2007) Overview and Methodology. ecoinvent report No. 1, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).
- Holinger AG 2011 Holinger AG (2011) Kraftwerk zur Rückgewinnung von Energie aus Abfall in Perlen - Umweltverträglichkeitsbericht Hauptuntersuchung. im Auftrag von REAL Recycling Entsorgung Abfall Luzern, Emmenbrücken, Schweiz, Luzern, Schweiz, retrieved from: [http://www.renergia.ch/fileadmin/files/07\\_Downloads/Baugesuch\\_Download/6013-B6\\_Renergia\\_UVB\\_Hauptuntersuchung-small.pdf](http://www.renergia.ch/fileadmin/files/07_Downloads/Baugesuch_Download/6013-B6_Renergia_UVB_Hauptuntersuchung-small.pdf).
- Kilga & Wick 2011 Kilga M. and Wick G. (2011) Ökobilanz – Verwertung von Kunststoffabfällen Verölungsanlage plastOil AG. sinum AG im Auftrag von RISI AG, St. Gallen, Schweiz.
- Liechti et al. 2012 Liechti J., Blatter E., Böni D., Steiner P., Adam F. and Morf L. (2012) Energieoptimierung der KVA - Basispapier zur Energie- und Ressourcenpolitik der Schweizer KVA. NeoSys AG, im Auftrag des AWEL, Zürich und Bern, retrieved from: <http://www.bfe.admin.ch/>.
- Perugini et al. 2005 Perugini F., Maria Laura Mastellone and Arena U. (2005) A Life Cycle Assessment of Mechanical and Feedstock Recycling Options for Management of Plastic Packaging Wastes. In: Environmental Progress, Vol.24, No.2, pp. 137-154.
- PLASTREC Gmbh 2014 PLASTREC Gmbh (2014) Anlieferungsbedingungen für Kunststoffe zur thermischen Verwertung in Zementwerken. PLASTREC Gmbh, Winterthur, Zürich, retrieved from: [http://www.plastrec.ch/media/Anlieferungsbedingungen\\_fr\\_Kunststoffe\\_zur\\_thermischen\\_Verwertung.pdf](http://www.plastrec.ch/media/Anlieferungsbedingungen_fr_Kunststoffe_zur_thermischen_Verwertung.pdf).
- Schelker & Geisselhardt 2010 Schelker R. and Geisselhardt P. (2010) Standortbestimmung - Kunststoffverwertungswege unter

ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten, "Kunststoffsammlung aus Haushaltungen". Redilo GmbH, Baar, Schweiz.

Schelker & Geisselhardt 2011a Schelker R. and Geisselhardt P. (2011a) Projekt „Kunststoff-Verwertung Schweiz“, Bericht Modul 1 und 2. Redilo GmbH im Auftrag des BAFU, Baar, Schweiz.

Schelker & Geisselhardt 2011b Schelker R. and Geisselhardt P. (2011b) Die Zukunft der Separatsammlungen von Altwertstoffen in der Schweiz. Redilo GmbH, Im Auftrag von IG DHS, Baar, Schweiz.

TVA 2015 TVA (2015) Verordnungsentwurf - Technische Verordnung über Abfälle (TVA). Schweizerische Bundesrat, Bern, Schweiz.

Wandschneider + Gutjahr Ingenieurgesellschaft 2010 Wandschneider + Gutjahr Ingenieurgesellschaft (2010) Vorprojekt Renergia Erläuterungsbericht Nr. 04 Wasser-Dampf-Kreislauf. Wandschneider + Gutjahr Ingenieurgesellschaft, im Auftrag von Renergia, Luzern, Schweiz.

## Anhang 2

### Bereich Ökonomie



Bereich Ökonomie				Nutzenfunktionen				
Kriterium	Indikatoren	Einheit	Quelle					
O1	Entsorgungskosten	Mehrkosten pro Jahr für Separatsammlung	CHF/a	Angaben Renergia, REAL, Sortier- und Verwertungsunternehmen, Erfahrungswerte aus vergleichbaren Projekten	0 Punkte			1 Punkt
					10'157'708 CHF/a			0 CHF/a
O2	Minimierung des wirtschaftlichen Risikos	Erwartete Preis-Volatilität der Edukte & Produkte	ordinale Skala	aktuelle Marktpreise, Expertenschätzung	0 Punkte			1 Punkt
					1'587'530 CHF/a			0 CHF/a
O3.1	Entsorgungssicherheit	Risiko des Ausfalls eines Entsorgungsweges	ordinale Skala	Expertenschätzung	0 Punkte			1 Punkt
					0.25	0.5	0.75	Kein Risiko
O3.2	Entsorgungssicherheit	Ausweichmöglichkeit auf alternative, analoge Entsorgungsanlage	ordinale Skala	Expertenschätzung	0 Punkte			1 Punkt
					0.25	0.5	0.75	Ausweichmöglichkeit gegeben, unproblematisch
					Grosses Risiko			Kein Risiko
					Keine Ausweichmöglichkeit oder sehr grosse Kosten oder Anpassungen für Ausweichung			Ausweichmöglichkeit gegeben, unproblematisch

Kriterium	Variante	Nutzwerte (Punkte)	Wert/Bemerkungen
O1	V0a HS m Kehricht Ren	1.00	0
	V0b HS m Kehricht k KVA	1.00	0
	V1a HS HK	0.88	1'244'256
	V1b BS HK	0.95	498'065
	V2 HS HK&V EBS	0.04	9'788'038
	V3a HS HK&V	0.00	10'157'708
	V3b BS HK&V	0.35	6'593'845
	V4 BS HK&V ÖI	0.35	6'593'845

Minimum	0
Maximum	10'157'708

Kriterium	Variante	Nutzwerte (Punkte)	Wert/Bemerkungen
O2	V0a HS m Kehricht Ren	1.00	0
	V0b HS m Kehricht k KVA	1.00	0
	V1a HS HK	0.95	219'775
	V1b BS HK	0.98	111'087
	V2 HS HK&V EBS	1.00	0
	V3a HS HK&V	0.67	1'587'530
	V3b BS HK&V	0.84	762'868
	V4 BS HK&V ÖI	0.91	422'302

Minimum	0
Maximum	1'587'530

Kriterium	Variante	Nutzwerte (Punkte)	Wert/Bemerkungen
O3.1	V0a HS m Kehricht Ren	1	sehr geringes Risiko, da Technik lange erprobt und etabliert
	V0b HS m Kehricht k KVA	1	sehr geringes Risiko, da Technik lange erprobt und etabliert
	V1a HS HK	0.75	Technik ist vorhanden und praktikabel, Absatzmarkt für Regranulat kann Entsorgungsweg beeinflussen
	V1b BS HK	0.75	Technik ist vorhanden und praktikabel, Absatzmarkt für Regranulat kann Entsorgungsweg beeinflussen
	V2 HS HK&V EBS	1	analog Varianten 0, Technik erprobt und etabliert
	V3a HS HK&V	0.75	Technik ist vorhanden und praktikabel, Absatzmarkt für Regranulat kann Entsorgungsweg beeinflussen
	V3b BS HK&V	0.75	Technik ist vorhanden und praktikabel, Absatzmarkt für Regranulat kann Entsorgungsweg beeinflussen
	V4 BS HK&V ÖI	0	Technik ist noch unsicher, hohes Ausfallrisiko, wird evt auch zukünftig nicht weiterverfolgt aus wirtschaftlichen Gründen.

Kriterium	Variante	Nutzwerte (Punkte)	Wert/Bemerkungen
O3.2	V0a HS m Kehricht Ren	1	Ausweichmöglichkeit in andere KVA unproblematisch
	V0b HS m Kehricht k KVA	1	Ausweichmöglichkeit in andere KVA unproblematisch
	V1a HS HK	1	Es wird einige Abnehmer/Verwerter für Kunststoffabfälle geben, Ausweichen kein Problem
	V1b BS HK	1	Es wird einige Abnehmer/Verwerter für Kunststoffabfälle geben, Ausweichen kein Problem
	V2 HS HK&V EBS	0.75	Ausweichmöglichkeit in anderes Zementwerk unproblematisch
	V3a HS HK&V	1	Ausweichmöglichkeit mit mittlerem Aufwand verbunden
	V3b BS HK&V	1	Ausweichmöglichkeit mit mittlerem Aufwand verbunden
	V4 BS HK&V ÖI	0.25	Ausweichmöglichkeit in andere Verölungsanlage sehr schwierig oder grosse Aufwendungen

## Anhang 3

### Bereich Gesellschaft

Bereich Gesellschaft					Nutzenfunktionen			
Kriterium	Indikatoren	Einheit	Quelle					
G1.1	Lokale Akzeptanz durch Beeinträchtigungen	(1) Geruchsemissionen	ordinale Skala	Expertenschätzung	<b>0 Punkte</b>	<b>0.33 Punkte</b>	<b>0.66 Punkte</b>	<b>1 Punkt</b>
					Sehr starker Geruch, viele betroffene Personen	Leichter Geruch und viele betroffene Personen oder starker Geruch und wenig betroffene Personen	Leichter Geruch und wenig betroffene Personen	Keine Geruchsemissionen bzw. keine betroffenen Personen
G1.2	Lokale Akzeptanz durch Beeinträchtigungen	(2) Lärm durch Schwerverkehr [km/a]	km/a Lastwagen	Daten aus Ökobilanzierung	<b>0 Punkte</b>			<b>1 Punkt</b>
					383'000			80'000
G2	Gesellschaftliche Akzeptanz	Einstellung gegenüber Entsorgungsweg	ordinale Skala	Bedürfnisumfrage	<b>0 Punkte</b>	<b>0.33 Punkte</b>	<b>0.66 Punkte</b>	<b>1 Punkt</b>
					negative Einstellung gegenüber Entsorgungsweg	eher geringe, negative Akzeptanz, indifferente Einstellung und Berührungspunkte im Alltag	eher grosse, positive Akzeptanz, indifferente Einstellung und keine Berührungspunkte im Alltag	grosse Akzeptanz, sehr positive Einstellung
G3	Komfort der Sammlung	Bewertung der Handhabbarkeit eines alternativen Sammelsystems für die Bevölkerung	ordinale Skala	Expertenschätzung	<b>0 Punkte</b>	<b>0.33 Punkte</b>	<b>0.66 Punkte</b>	<b>1 Punkt</b>
					Sehr grosser Mehraufwand oder hohe Anforderung für Separatsammlung, kein Sammelkomfort	Grosser Aufwand und erhöhte Anforderung an Separatsammler, geringer Sammelkomfort	Kleiner Mehraufwand, geringe Anforderung an Separatsammler, hoher Sammelkomfort	Kein zusätzlicher Aufwand zur aktuellen Situation, sehr grosser Komfort

Kriterium	Variante	Nutzwerte (Punkte)	Alt 6.1.2015
G1.1	V0a HS m Kehricht Ren	1	0.66
	V0b HS m Kehricht k KVA	1	0.66
	V1a HS HK	0.33	0.66
	V1b BS HK	0.33	0.33
	V2 HS HK&V EBS	0.33	0.66
	V3a HS HK&V	0.33	0.66
	V3b BS HK&V	0.33	0.33
	V4 BS HK&V ÖI	0.33	0.33

Kriterium	Variante	Nutzwerte (Punkte)	Wert/Bemerkungen
G1.2	V0a HS m Kehricht Ren	0.90	111'000 km
	V0b HS m Kehricht k KVA	0.90	111'000 km
	V1a HS HK	0.70	172'000 km
	V1b BS HK	1.00	80'000 km
	V2 HS HK&V EBS	0.02	377'000 km
	V3a HS HK&V	0	383'000 km
	V3b BS HK&V	0.93	101'000 km
	V4 BS HK&V ÖI	0.95	95'000 km

Minimum	80'000
Maximum	383'000

Kriterium	Variante	Nutzwerte (Expertenschätzung)	Nutzwerte Auswertung real Umfrage	Wert/Bemerkungen
G2	V0a HS m Kehricht Ren	0.54	0.38	Berechnung Nutzwerte Expertenschätzung siehe Datei "Fragebogen Varianten Fachbeirat" in Spalte C. Werte gemäss REAL-Umfrage in Spalte D
	V0b HS m Kehricht k KVA	0.70	0.23	Berechnung Nutzwerte Expertenschätzung siehe Datei "Fragebogen Varianten Fachbeirat" in Spalte C. Werte gemäss REAL-Umfrage in Spalte D
	V1a HS HK	0.50	0.72	Berechnung Nutzwerte Expertenschätzung siehe Datei "Fragebogen Varianten Fachbeirat" in Spalte C. Werte gemäss REAL-Umfrage in Spalte D
	V1b BS HK	0.75	0.69	Berechnung Nutzwerte Expertenschätzung siehe Datei "Fragebogen Varianten Fachbeirat" in Spalte C. Werte gemäss REAL-Umfrage in Spalte D
	V2 HS HK&V EBS	0.17	0.73	Berechnung Nutzwerte Expertenschätzung siehe Datei "Fragebogen Varianten Fachbeirat" in Spalte C. Werte gemäss REAL-Umfrage in Spalte D
	V3a HS HK&V	0.79	0.83	Berechnung Nutzwerte Expertenschätzung siehe Datei "Fragebogen Varianten Fachbeirat" in Spalte C. Werte gemäss REAL-Umfrage in Spalte D
	V3b BS HK&V	0.71	0.80	Berechnung Nutzwerte Expertenschätzung siehe Datei "Fragebogen Varianten Fachbeirat" in Spalte C. Werte gemäss REAL-Umfrage in Spalte D
	V4 BS HK&V ÖI	0.21	0.65	Berechnung Nutzwerte Expertenschätzung siehe Datei "Fragebogen Varianten Fachbeirat" in Spalte C. Werte gemäss REAL-Umfrage in Spalte D

Kriterium	Variante	Nutzwerte (Punkte)	Wert/Bemerkungen
G3	V0a HS m Kehricht Ren	1	kein Mehraufwand, kein zusätzlicher Sack
	V0b HS m Kehricht k KVA	1	kein Mehraufwand, kein zusätzlicher Sack
	V1a HS HK	0.66	Holsammlung als Ergänzung zum Angebot der Detailhändler ist komfortabel
	V1b BS HK	0.66	kein grosser Mehraufwand, da man sowieso zu Grossverteiler / Ökihof geht
	V2 HS HK&V EBS	0.33	Holsammlung ist zwar bequem, jedoch einen Sack mehr zu Hause
	V3a HS HK&V	0.33	Holsammlung ist zwar bequem, jedoch einen Sack mehr zu Hause
	V3b BS HK&V	0	Bringsammlung Ökihof nicht sehr bequem, Lagerung zu Hause mühsam, stinkt, wenn man länger nicht geht
	V4 BS HK&V ÖI	0	Bringsammlung Ökihof nicht sehr bequem, Lagerung zu Hause mühsam, stinkt, wenn man länger nicht geht

## Anhang 4

### Grundlagen für die Berechnung des Verkehrs für Kriterium G1.2

## Grundlegendaten für die Berechnung des Verkehrs für Kriterium G1.2

Für die Berechnungen des zusätzlichen Schwerverkehrsaufkommens für die Separatsammlung werden grundsätzlich die Distanzen aus der Ökobilanzierung verwendet. Dabei wird unterschieden zwischen der Distanz einer Sammeltour und einer Überfahrt. Auch die Fahrten zwischen Sammelhof und Sortieranlage oder Transporte zum Zementwerk werden einbezogen. Das heisst, sämtliche Schwerverkehrstransporte innerhalb der Systemgrenzen werden in die Berechnungen einbezogen.

Das Verkehrsaufkommen des Individualverkehrs zu den Ökihöfen und in den Detailhandel via PKW, Tram, Bus usw. wird bei dieser Betrachtung nicht beachtet, weil dieses schon in der Ökobilanzierung eingerechnet ist.

Es wird angenommen, dass bei einer etablierten Kunststoffsammlung rund 7 Sortier- und Verwertungsanlagen zur Verfügung stehen, dass die Sortierung und Verwertung also in der Schweiz vorgenommen werden kann.

Für eine Sammeltour für Kunststoffe wird eine mittlere Distanz von 30 km im „stop-and-go“ Verfahren verwendet, bis ein Sammelfahrzeug voll beladen ist. Beim Kunststoff ist das Volumen limitierend. Gemäss Angaben von InnoRecycling und real können maximal 10t Kehricht, 4t Mischkunststoffe und 4.5t Hohlkörper geladen werden. Die Kunststoffe dürfen nicht zu stark verpresst werden.

Eine Überfahrt besteht aus nur aus einem „Hinweg“ zur Entladung in einer entsprechenden Anlage (siehe Tabelle unten), da nicht gezwungenermassen immer innerhalb des Systems zurückgefahren werden muss. Die Überfahrten können sowohl mit einem Sammelfahrzeug geschehen, beispielsweise wird nach einer Sammeltour direkt in einer KVA oder in einem Sortierwerk entladen, oder aber mit einem LKW. Für sämtliche Überfahrten werden die Kunststoffe nicht lose, sondern in Ballen transportiert.

Die entsprechenden Kilometerangaben können der folgenden Tabelle entnommen werden.

Distanzen				
Von	Nach	Fahrzeug	km Sammeltour	km Überfahrt (1 Weg)
Konsument	konv. KVA	Sammelfahrzeug	30	15
Konsument	KVA Renergia	Sammelfahrzeug	30	15
Konsument	Sortierung	Sammelfahrzeug	30	100
Detailhandel	Sortierung	LKW	0	50
Sortierung	Verwertung CH	LKW	0	100
Sortierung	Verwertung D	LKW	0	900
Sortierung	konv. KVA od. Renergia	LKW	0	50
Sortierung	Zementi	LKW	0	75
Sortierung	Verölung	LKW	0	20
Ökihof	Sortierung	LKW	0	100

## Anhang 5

### Resultattabellen Multikriterienanalyse

Standardgewichtung SG

Kriterium		Indikator	Nutzwert ungewichtet							Gewichtung	Nutzwert gewichtet									
			V0a: Renergia	V0b: konv. KVA	V1a: HS/Hohik./werkst.	V1b: BS/Hohik./werkst.	V2: HS/Misch/EBS	V3a: HS/Misch/werkst.	V3b: BS/Misch/werkst.	V4: BS/Misch/Verörlung	Gew. 1	V0a: Renergia	V0b: konv. KVA	V1a: HS/Hohik./werkst.	V1b: BS/Hohik./werkst.	V2: HS/Misch/EBS	V3a: HS/Misch/werkst.	V3b: BS/Misch/werkst.	V4: BS/Misch/Verörlung	
<b>Bereich Umwelt</b>										<b>0.5</b>										
U1	Klimaänderung	Treibhauspotential nach IPCC	0.41	0.00	0.46	0.43	0.92	1.00	0.64	0.52	0.25	0.10	0.00	0.11	0.11	0.23	0.25	0.16	0.13	
U2	Schonung nicht erneuerbarer Primärenergieträger	Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbare Energieträger	0.55	0.00	0.61	0.57	0.71	1.00	0.67	0.56	0.15	0.08	0.00	0.09	0.09	0.11	0.15	0.10	0.08	
U3	Ökotoxizität	Ökotoxizitätspotential	0.47	0.00	0.55	0.45	0.84	1.00	0.25	0.38	0.15	0.07	0.00	0.08	0.07	0.13	0.15	0.04	0.06	
U4	Atemwegserkrankungen	Partikel und Vorläufersubstanzen	0.66	0.00	0.70	0.65	0.83	1.00	0.69	0.57	0.15	0.10	0.00	0.10	0.10	0.12	0.15	0.10	0.09	
U5	Sommersmog	Photochemisches Oxidationspotential	0.56	0.00	0.62	0.57	0.50	1.00	0.64	0.50	0.15	0.08	0.00	0.09	0.08	0.08	0.15	0.10	0.07	
U6	Deponierte Abfälle	Volumen deponierter Abfälle	0.00	0.85	0.06	0.03	1.00	1.00	0.49	0.39	0.15	0.00	0.13	0.01	0.00	0.15	0.15	0.07	0.06	
<b>Total</b>			2.65	0.85	3.00	2.70	4.79	6.00	3.38	2.92	1	0.44	0.13	0.50	0.45	0.81	1.00	0.57	0.49	
Umfassendes Bewertungskriterium für den Bereich Umwelt:																				
U7	Sensitivität: Methode der ökologischen Knappheit 2013	Umweltbelastungspunkte	0.49	0.00	0.54	0.50	0.85	1.00	0.62	0.50	1	0.49	0.00	0.54	0.50	0.85	1.00	0.62	0.50	
<b>Bereich Ökonomie</b>										<b>0.3</b>										
O1	Entsorgungskosten	Entsorgungskosten pro Jahr	1.00	1.00	0.88	0.95	0.04	0.00	0.35	0.35	0.6	0.60	0.60	0.53	0.57	0.02	0.00	0.21	0.21	
O2	Minimierung des wirtschaftlichen Risikos	Erwartete Preis-Volatilität Edukte & Produkte	1.00	1.00	0.95	0.98	1.00	0.67	0.84	0.91	0.2	0.20	0.20	0.19	0.20	0.20	0.13	0.17	0.18	
O3	Entsorgungssicherheit	(1) Risiko des Ausfalls des Entsorgungsweges	1.00	1.00	0.75	0.75	1.00	0.75	0.75	0.00	0.1	0.10	0.10	0.08	0.08	0.10	0.08	0.08	0.00	
		(2) Ausweichmöglichkeit auf analoge, alternative Anlage	1.00	1.00	1.00	1.00	0.75	1.00	1.00	0.25	0.1	0.10	0.10	0.10	0.10	0.08	0.10	0.10	0.03	
<b>Total</b>			4.00	4.00	3.58	3.68	2.79	2.42	2.94	1.51	1	1.00	1.00	0.89	0.94	0.40	0.31	0.55	0.42	
<b>Bereich Gesellschaft</b>										<b>0.2</b>										
G1	Lokale Akzeptanz durch Beeinträchtigungen	(1) Geruchsemissionen	1.00	1.00	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.125	0.13	0.13	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
		(2) Lärm durch Schwerverkehr	0.90	0.90	0.70	1.00	0.02	0.00	0.93	0.95	0.125	0.11	0.11	0.09	0.13	0.00	0.00	0.12	0.12	
G2	Gesellschaftliche Akzeptanz	Einstellung gegenüber dem Entsorgungsweg	0.38	0.23	0.72	0.69	0.73	0.83	0.80	0.65	0.5	0.19	0.12	0.36	0.34	0.37	0.42	0.40	0.32	
G3	Individueller Komfort der Sammlung	Bewertung der Handhabbarkeit/Veränderung	1.00	1.00	0.66	0.66	0.33	0.33	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.17	0.17	0.08	0.08	0.00	0.00	
<b>Total</b>			3.28	3.13	2.41	2.68	1.41	1.49	2.06	1.93	1	0.68	0.60	0.65	0.67	0.49	0.54	0.56	0.48	
<b>Total Nutzwert</b>											<b>0.655</b>	<b>0.484</b>	<b>0.646</b>	<b>0.641</b>	<b>0.623</b>	<b>0.701</b>	<b>0.564</b>	<b>0.467</b>		

## Gewichtungsvariante S1

Kriterium		Indikator	Nutzwert ungewichtet							Gewichtung	Nutzwert gewichtet									
			V0a: Renergia	V0b: konv. KVA	V1a: HS/Hohlk./werkst.	V1b: BS/Hohlk./werkst.	V2: HS/Misch/EBS	V3a: HS/Misch/werkst.	V3b: BS/Misch/werkst.	V4: BS/Misch/Verdölung	Gew. 2	V0a: Renergia	V0b: konv. KVA	V1a: HS/Hohlk./werkst.	V1b: BS/Hohlk./werkst.	V2: HS/Misch/EBS	V3a: HS/Misch/werkst.	V3b: BS/Misch/werkst.	V4: BS/Misch/Verdölung	
<b>Bereich Umwelt</b>										<b>0.3</b>										
U1	Klimaänderung	Treibhauspotential nach IPCC	0.41	0.00	0.46	0.43	0.92	1.00	0.64	0.52	0.25	0.10	0.00	0.11	0.11	0.23	0.25	0.16	0.13	
U2	Schonung nicht erneuerbarer Primärenergieträger	Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbare Energieträger	0.55	0.00	0.61	0.57	0.71	1.00	0.67	0.56	0.15	0.08	0.00	0.09	0.09	0.11	0.15	0.10	0.08	
U3	Ökotoxizität	Ökotoxizitätspotential	0.47	0.00	0.55	0.45	0.84	1.00	0.25	0.38	0.15	0.07	0.00	0.08	0.07	0.13	0.15	0.04	0.06	
U4	Atemwegserkrankungen	Partikel und Vorläufersubstanzen	0.66	0.00	0.70	0.65	0.83	1.00	0.69	0.57	0.15	0.10	0.00	0.10	0.10	0.12	0.15	0.10	0.09	
U5	Sommersmog	Photochemisches Oxidationspotential	0.56	0.00	0.62	0.57	0.50	1.00	0.64	0.50	0.15	0.08	0.00	0.09	0.08	0.08	0.15	0.10	0.07	
U6	Deponierte Abfälle	Volumen deponierter Abfälle	0.00	0.85	0.06	0.03	1.00	1.00	0.49	0.39	0.15	0.00	0.13	0.01	0.00	0.15	0.15	0.07	0.06	
<b>Total</b>			2.65	0.85	3.00	2.70	4.79	6.00	3.38	2.92	1	0.44	0.13	0.50	0.45	0.81	1.00	0.57	0.49	
Umfassendes Bewertungskriterium für den Bereich Umwelt:																				
U7	Sensitivität: Methode der ökologischen Knappheit 2013	Umweltbelastungspunkte	0.49	0.00	0.54	0.50	0.85	1.00	0.62	0.50	1	0.49	0.00	0.54	0.50	0.85	1.00	0.62	0.50	
<b>Bereich Ökonomie</b>										<b>0.5</b>										
O1	Entsorgungskosten	Entsorgungskosten pro Jahr	1.00	1.00	0.88	0.95	0.04	0.00	0.35	0.35	0.6	0.60	0.60	0.53	0.57	0.02	0.00	0.21	0.21	
O2	Minimierung des wirtschaftlichen Risikos	Erwartete Preis-Volatilität Edukte & Produkte	1.00	1.00	0.95	0.98	1.00	0.67	0.84	0.91	0.2	0.20	0.20	0.19	0.20	0.20	0.13	0.17	0.18	
O3	Entsorgungssicherheit	(1) Risiko des Ausfalls des Entsorgungsweges	1.00	1.00	0.75	0.75	1.00	0.75	0.75	0.00	0.1	0.10	0.10	0.08	0.08	0.10	0.08	0.08	0.00	
		(2) Ausweichmöglichkeit auf analoge, alternative Anlage	1.00	1.00	1.00	1.00	0.75	1.00	1.00	0.25	0.1	0.10	0.10	0.10	0.10	0.08	0.10	0.10	0.03	
<b>Total</b>			4.00	4.00	3.58	3.68	2.79	2.42	2.94	1.51	1	1.00	1.00	0.89	0.94	0.40	0.31	0.55	0.42	
<b>Bereich Gesellschaft</b>										<b>0.2</b>										
G1	Lokale Akzeptanz durch Beeinträchtigungen	(1) Geruchsemissionen	1.00	1.00	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.125	0.13	0.13	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
		(2) Lärm durch Schwerverkehr	0.90	0.90	0.70	1.00	0.02	0.00	0.93	0.95	0.125	0.11	0.11	0.09	0.13	0.00	0.00	0.12	0.12	
G2	Gesellschaftliche Akzeptanz	Einstellung gegenüber dem Entsorgungsweg	0.38	0.23	0.72	0.69	0.73	0.83	0.80	0.65	0.5	0.19	0.12	0.36	0.34	0.37	0.42	0.40	0.32	
G3	Individueller Komfort der Sammlung	Bewertung der Handhabbarkeit/Veränderung	1.00	1.00	0.66	0.66	0.33	0.33	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.17	0.17	0.08	0.08	0.00	0.00	
<b>Total</b>			3.28	3.13	2.41	2.68	1.41	1.49	2.06	1.93	1	0.68	0.60	0.65	0.67	0.49	0.54	0.56	0.48	
<b>Total Nutzwert</b>											<b>0.767</b>	<b>0.659</b>	<b>0.726</b>	<b>0.739</b>	<b>0.540</b>	<b>0.562</b>	<b>0.560</b>	<b>0.453</b>		



## Gewichtungsvariante S2

Kriterium		Indikator	Nutzwert ungewichtet							Gewichtung	Nutzwert gewichtet									
			V0a: Renergia	V0b: konv. KVA	V1a: HS/Hohlk./werkst.	V1b: BS/Hohlk./werkst.	V2: HS/Misch/EBS	V3a: HS/Misch/werkst.	V3b: BS/Misch/werkst.	V4: BS/Misch/Verlung	Gew. (S2)	V0a: Renergia	V0b: konv. KVA	V1a: HS/Hohlk./werkst.	V1b: BS/Hohlk./werkst.	V2: HS/Misch/EBS	V3a: HS/Misch/werkst.	V3b: BS/Misch/werkst.	V4: BS/Misch/Verlung	
<b>Bereich Umwelt</b>										<b>0.33</b>										
U1	Klimanderung	Treibhauspotential nach IPCC	0.41	0.00	0.46	0.43	0.92	1.00	0.64	0.52	0.25	0.10	0.00	0.11	0.11	0.23	0.25	0.16	0.13	
U2	Schonung nicht erneuerbarer Primrenergietrger	Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbare Energietrger	0.55	0.00	0.61	0.57	0.71	1.00	0.67	0.56	0.15	0.08	0.00	0.09	0.09	0.11	0.15	0.10	0.08	
U3	kotoxizitt	kotoxizittspotential	0.47	0.00	0.55	0.45	0.84	1.00	0.25	0.38	0.15	0.07	0.00	0.08	0.07	0.13	0.15	0.04	0.06	
U4	Atemwegserkrankungen	Partikel und Vorläufersubstanzen	0.66	0.00	0.70	0.65	0.83	1.00	0.69	0.57	0.15	0.10	0.00	0.10	0.10	0.12	0.15	0.10	0.09	
U5	Sommersmog	Photochemisches Oxidationspotential	0.56	0.00	0.62	0.57	0.50	1.00	0.64	0.50	0.15	0.08	0.00	0.09	0.08	0.08	0.15	0.10	0.07	
U6	Deponierte Abfälle	Volumen deponierter Abfälle	0.00	0.85	0.06	0.03	1.00	1.00	0.49	0.39	0.15	0.00	0.13	0.01	0.00	0.15	0.15	0.07	0.06	
<b>Total</b>			2.65	0.85	3.00	2.70	4.79	6.00	3.38	2.92	1	0.44	0.13	0.50	0.45	0.81	1.00	0.57	0.49	
Umfassendes Bewertungskriterium für den Bereich Umwelt:																				
U7	Sensitivität: Methode der ökologischen Knappheit 2013	Umweltbelastungspunkte	0.49	0.00	0.54	0.50	0.85	1.00	0.62	0.50	1	0.49	0.00	0.54	0.50	0.85	1.00	0.62	0.50	
<b>Bereich Ökonomie</b>										<b>0.33</b>										
O1	Entsorgungskosten	Entsorgungskosten pro Jahr	1.00	1.00	0.88	0.95	0.04	0.00	0.35	0.35	0.6	0.60	0.60	0.53	0.57	0.02	0.00	0.21	0.21	
O2	Minimierung des wirtschaftlichen Risikos	Erwartete Preis-Volatilität Edukte & Produkte	1.00	1.00	0.95	0.98	1.00	0.67	0.84	0.91	0.2	0.20	0.20	0.19	0.20	0.20	0.13	0.17	0.18	
O3	Entsorgungssicherheit	(1) Risiko des Ausfalls des Entsorgungsweges	1.00	1.00	0.75	0.75	1.00	0.75	0.75	0.00	0.1	0.10	0.10	0.08	0.08	0.10	0.08	0.08	0.00	
		(2) Ausweichmöglichkeit auf analoge, alternative Anlage	1.00	1.00	1.00	1.00	0.75	1.00	1.00	0.25	0.1	0.10	0.10	0.10	0.10	0.08	0.10	0.10	0.03	
<b>Total</b>			4.00	4.00	3.58	3.68	2.79	2.42	2.94	1.51	1	1.00	1.00	0.89	0.94	0.40	0.31	0.55	0.42	
<b>Bereich Gesellschaft</b>										<b>0.33</b>										
G1	Lokale Akzeptanz durch Beeinträchtigungen	(1) Geruchsemissionen	1.00	1.00	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.125	0.13	0.13	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
		(2) Lärm durch Schwerverkehr	0.90	0.90	0.70	1.00	0.02	0.00	0.93	0.95	0.125	0.11	0.11	0.09	0.13	0.00	0.00	0.12	0.12	
G2	Gesellschaftliche Akzeptanz	Einstellung gegenüber dem Entsorgungsweg	0.38	0.23	0.72	0.69	0.73	0.83	0.80	0.65	0.5	0.19	0.12	0.36	0.34	0.37	0.42	0.40	0.32	
G3	Individueller Komfort der Sammlung	Bewertung der Handhabbarkeit/Veränderung	1.00	1.00	0.66	0.66	0.33	0.33	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.17	0.17	0.08	0.08	0.00	0.00	
<b>Total</b>			3.28	3.13	2.41	2.68	1.41	1.49	2.06	1.93	1	0.68	0.60	0.65	0.67	0.49	0.54	0.56	0.48	
<b>Total Nutzwert</b>											<b>0.699</b>	<b>0.571</b>	<b>0.674</b>	<b>0.681</b>	<b>0.561</b>	<b>0.610</b>	<b>0.555</b>	<b>0.459</b>		

# Sensitivität Braunkohle

Kriterium		Indikator	Nutzwert ungewichtet							Gewichtung	Nutzwert gewichtet									
			V0a: Renergia	V0b: konv. KVA	V1a: HS/Hohik./werkst.	V1b: BS/Hohik./werkst.	V2: HS/Misch/EBS	V3a: HS/Misch/werkst.	V3b: BS/Misch/werkst.	V4: BS/Misch/Verlörung	Gew. 1	V0a: Renergia	V0b: konv. KVA	V1a: HS/Hohik./werkst.	V1b: BS/Hohik./werkst.	V2: HS/Misch/EBS	V3a: HS/Misch/werkst.	V3b: BS/Misch/werkst.	V4: BS/Misch/Verlörung	
<b>Bereich Umwelt</b>										<b>0.5</b>										
U1	Klimaänderung	Treibhauspotential nach IPCC	0.89	0.00	0.93	0.91	0.91	1.00	0.87	0.73	0.25	0.22	0.00	0.23	0.23	0.23	0.25	0.22	0.18	
U2	Schonung nicht erneuerbarer Primärenergieträger	Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbare Energieträger	0.88	0.00	0.93	0.90	0.66	1.00	0.82	0.71	0.15	0.13	0.00	0.14	0.13	0.10	0.15	0.12	0.11	
U3	Ökotoxizität	Ökotoxizitätspotential	0.49	0.00	0.56	0.46	0.84	1.00	0.25	0.38	0.15	0.07	0.00	0.08	0.07	0.13	0.15	0.04	0.06	
U4	Atemwegserkrankungen	Partikel und Vorläufersubstanzen	1.00	0.21	0.96	0.98	0.00	0.02	0.47	0.48	0.15	0.15	0.03	0.14	0.15	0.00	0.00	0.07	0.07	
U5	Sommersmog	Photochemisches Oxidationspotential	0.97	0.00	1.00	0.96	0.21	0.72	0.70	0.58	0.15	0.15	0.00	0.15	0.14	0.03	0.11	0.11	0.09	
U6	Deponierte Abfälle	Volumen deponierter Abfälle	0.00	0.85	0.06	0.03	1.00	1.00	0.49	0.39	0.15	0.00	0.13	0.01	0.00	0.15	0.15	0.07	0.06	
<b>Total</b>			4.23	1.06	4.43	4.23	3.62	4.74	3.61	3.28	1	0.72	0.16	0.76	0.73	0.63	0.81	0.63	0.57	
Umfassendes Bewertungskriterium für den Bereich Umwelt:																				
U7	Sensitivität: Methode der ökologischen Knappheit 2013	Umweltbelastungspunkte	0.99	0.00	1.00	0.98	0.51	0.64	0.69	0.59	1	0.99	0.00	1.00	0.98	0.51	0.64	0.69	0.59	
<b>Bereich Ökonomie</b>										<b>0.3</b>										
O1	Entsorgungskosten	Entsorgungskosten pro Jahr	1.00	1.00	0.88	0.95	0.04	0.00	0.35	0.35	0.6	0.60	0.60	0.53	0.57	0.02	0.00	0.21	0.21	
O2	Minimierung des wirtschaftlichen Risikos	Erwartete Preis-Volatilität Edukte & Produkte	1.00	1.00	0.95	0.98	1.00	0.67	0.84	0.91	0.2	0.20	0.20	0.19	0.20	0.20	0.13	0.17	0.18	
O3	Entsorgungssicherheit	(1) Risiko des Ausfalls des Entsorgungsweges	1.00	1.00	0.75	0.75	1.00	0.75	0.75	0.00	0.1	0.10	0.10	0.08	0.08	0.10	0.08	0.08	0.00	
		(2) Ausweichmöglichkeit auf analoge, alternative Anlage	1.00	1.00	1.00	1.00	0.75	1.00	1.00	0.25	0.1	0.10	0.10	0.10	0.10	0.08	0.10	0.10	0.03	
<b>Total</b>			4.00	4.00	3.58	3.68	2.79	2.42	2.94	1.51	1	1.00	1.00	0.89	0.94	0.40	0.31	0.55	0.42	
<b>Bereich Gesellschaft</b>										<b>0.2</b>										
G1	Lokale Akzeptanz durch Beeinträchtigungen	(1) Geruchsemissionen	1.00	1.00	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.125	0.13	0.13	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
		(2) Lärm durch Schwerverkehr	0.90	0.90	0.70	1.00	0.02	0.00	0.93	0.95	0.125	0.11	0.11	0.09	0.13	0.00	0.00	0.12	0.12	
G2	Gesellschaftliche Akzeptanz	Einstellung gegenüber dem Entsorgungsweg	0.38	0.23	0.72	0.69	0.73	0.83	0.80	0.65	0.5	0.19	0.12	0.36	0.34	0.37	0.42	0.40	0.32	
G3	Individueller Komfort der Sammlung	Bewertung der Handhabbarkeit/Veränderung	1.00	1.00	0.66	0.66	0.33	0.33	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.17	0.17	0.08	0.08	0.00	0.00	
<b>Total</b>			3.28	3.13	2.41	2.68	1.41	1.49	2.06	1.93	1	0.68	0.60	0.65	0.67	0.49	0.54	0.56	0.48	
<b>Total Nutzwert</b>											<b>0.798</b>	<b>0.500</b>	<b>0.777</b>	<b>0.780</b>	<b>0.535</b>	<b>0.606</b>	<b>0.592</b>	<b>0.505</b>		

## Anhang 6

Berechnung der zusätzlich eingesparten CO<sub>2</sub>-Emissionen  
und der Kosten dafür

## Berechnung der zusätzlichen Kosten pro Tonne eingespartes CO<sub>2</sub>-eq in CHF/t im Vergleich zu Variante 0a

Um die Treibhausgasemissionen den Kosten gegenüberstellen zu können, müssen die gesamtwirtschaftlichen Kosten berücksichtigt werden (nicht nur die für den Abfallverband anfallenden Mehrkosten, siehe Bericht Kapitel 3.4.2). Dies bedeutet, dass insbesondere die Mindereinnahmen für den Verband nicht berücksichtigt und pro Variante die Kosten für die Entsorgung der gesamten Kunststoffmenge (total 18'252 Tonnen) berechnet werden.

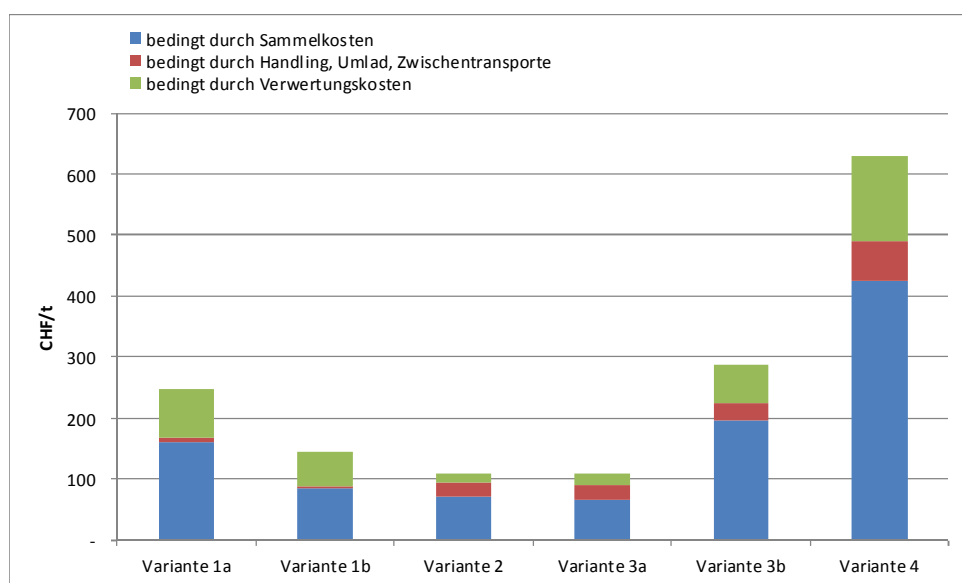
### 1 Vergleich betreffend CO<sub>2</sub>-Einsparung / Kriterium "Klimaänderung" (U1)

Die Varianten mit dem höchsten Umweltnutzen sind auch jene, die für die Abfallverbände beziehungsweise Gemeinden auch am teuersten sind. Es stellt sich daher die Frage, ob der erzielbare Umweltnutzen kostengünstig ist oder (zu) teuer erkaufte wird. In der vorliegenden Betrachtung soll dies untersucht werden.

Der Umweltnutzen ergibt sich durch die netto vermiedenen Emissionen. Am anschaulichsten und thematisch am aktuellsten ist es, die Kosten für die vermiedenen Treibhausgasemissionen (CO<sub>2</sub>-eq Emissionen<sup>1</sup>) zu betrachten. Die Varianten werden aus diesem Grund der Nullvariante (0a) gegenübergestellt (bestehende und für die Abfallverbände beziehungsweise Gemeinden kostengünstigste Lösung). Pro Variante werden die Kosten für die zusätzlich vermiedenen Treibhausgasemissionen bestimmt.

Die Resultate der vorliegenden Betrachtung sind in der untenstehenden Abbildung dargestellt (Daten siehe hinterste Seite). Der Vergleich zeigt die *zusätzlichen* Kosten pro Tonne eingespartes CO<sub>2</sub>-eq gegenüber der Variante 0a.

Abbildung 1: Gegenüber Variante 0 zusätzliche Kosten pro Tonne eingespartes CO<sub>2</sub>-eq in CHF/t



<sup>1</sup> CO<sub>2</sub> bezieht sich nur auf das Gas CO<sub>2</sub> (Kohlendioxid). CO<sub>2</sub>-eq bezieht sich auf alle Treibhausgase (inkl. Methan, Lachgas, HFC; PFC; SF<sub>6</sub>, etc.). In der vorliegenden Studie werden immer alle Treibhausgasemissionen betrachtet, also CO<sub>2</sub>-eq.

Die tiefsten zusätzlichen Kosten verursachen die Varianten 2 (EBS-Zementwerk) und 3a (Holsammlung Mischkunststoffe) mit je Fr. 109.- pro t CO<sub>2</sub>-eq. Die höchsten zusätzlichen Kosten ergeben sich bei den Varianten 1a, 3b und 4, mit bis zu Fr. 630.- pro t CO<sub>2</sub>-eq.

Als Vergleichszahlen für die Einordnung dieser CO<sub>2</sub>-Einsparung dienen folgende Angaben:

- CO<sub>2</sub>-Abgabe auf fossile Brennstoffe in der Schweiz: Fr. 60.- pro t CO<sub>2</sub>; diese kann vom Bundesrat auf bis Fr. 120.- pro t CO<sub>2</sub> erhöht werden. (Bundesgesetz über die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen, 2011)
- CO<sub>2</sub>-Kompensation (50 % in der Schweiz), gemäss aktuellem Angebot von myclimate: Fr. 150.- pro t CO<sub>2</sub>-eq

## 2 Fazit

Es zeigt sich, dass bei den Bestvarianten die Kosten für die vermiedenen CO<sub>2</sub>-eq-Emissionen für schweizerische Verhältnisse relativ gering sind und rund 25% tiefer liegen als die aktuellen marktüblichen Kosten für CO<sub>2</sub>-Kompensationen. .

Die Massnahme "ausgebaute Separatsammlung von Kunststoffabfällen" weist somit betreffend CO<sub>2</sub>-Einsparung in der Schweiz ein gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis auf.

Daraus kann auch gefolgert werden, dass es berechtigt ist, dem Bereich Umwelt ein hohes Gewicht zu geben. Damit wird die für die vorliegende Studie festgelegte Gewichtung zwischen den Bereichen Umwelt und Ökonomie argumentativ gestützt.

## Gesamtwirtschaftliche Kosten in CHF, Treibhausgasemissionen in t CO<sub>2</sub>-eq

	V0a Renergia	V1a Werkst	V1b Werkst	V2 EBS	V3a Werkst	V3b Werkst	V4 Verölung
Sammelkosten (CHF)	2'372'760	3'075'427	2'597'076	4'159'497	4'159'497	4'656'708	4'656'708
Handling, Umlad, Zwischentransporte (CHF)		129'439	65'426	1'293'844	1'293'844	666'152	666'152
Verwertungskosten inkl. Sortierung (CHF)	1'974'643	1'623'309	1'797'059	1'050'468	1'420'138	1'689'149	1'689'149
<b>Total Kosten (CHF)</b>	<b>4'347'403</b>	<b>4'828'175</b>	<b>4'459'561</b>	<b>6'503'809</b>	<b>6'873'479</b>	<b>7'012'009</b>	<b>7'012'009</b>

<b>CO<sub>2</sub>-eq Emissionen (t)</b>	<b>11'296</b>	<b>9'350</b>	<b>10'520</b>	<b>-8'564</b>	<b>-11'864</b>	<b>2'050</b>	<b>7'062</b>
Einsparung CO <sub>2</sub> -eq Emissionen gegenüber Variante 0a (t)		1'946	776	19'860	23'160	9'246	4'234
zusätzliche Kosten gegenüber Variante 0a (CHF)		480'773	112'158	2'156'407	2'526'077	2'664'606	2'664'606
<b>zusätzliche Kosten pro Tonne eingespartes CO<sub>2</sub>-eq (CHF/t)</b>		<b>247</b>	<b>145</b>	<b>109</b>	<b>109</b>	<b>288</b>	<b>629</b>
bedingt durch Sammelkosten		157	84	69	66	191	418
bedingt durch Handling		7	2	22	21	27	60
bedingt durch Verwertungskosten		83	58	18	23	69	152