

Separatsammlung von Kunststoffabfällen in der Zentralschweiz

Multikriterienanalyse unter Einbezug der Bereiche Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft

Luzern, 19. Mai 2015

Auftraggeber

Renergia Zentralschweiz AG, Perlen

Zentralschweizer Umweltdirektionen (ZUDK), vertreten durch die Dienststelle Umwelt und Energie des Kantons Luzern

Fachbeirat

Martin Zumstein, REAL Luzern, Vorsitzender der Geschäftsleitung

Norbert Egli, BAFU, Sektion Konsum und Produkte

Michael Hügi, BAFU, Sektion Abfallbewirtschaftung

Robert Schnyder, Kanton Luzern, Dienststelle Umwelt und Energie, Fachleiter Abfallbewirtschaftung

Hans Ulrich Schwarzenbach, ZEBA Zug, Geschäftsführer

Auftragnehmer / Herausgeber

HOLINGER AG, Alpenquai 12, CH-6005 Luzern

www.holinger.com / +41 (0)41 360 69 00

treeze Ltd., Kanzleistrasse 4, CH-8610 Uster

www.treeze.ch / +41 (0) 44 940 61 91

AutorInnen

Philip Küttel, dipl. Kulturingenieur ETH (HOLINGER AG)

Nico Müller, dipl. Umweltingenieur FH (HOLINGER AG)

Sybille Büsser Knöpfel, dipl. Ing. ETH (treeze Ltd.)

Franziska Wyss, dipl. Ing. ETH (treeze Ltd.)

Jürg Meyer, dipl. Ing. ETH (HOLINGER AG)

Rolf Frischknecht, Dr. sc. techn. ETH (treeze Ltd.)

Hinweis

Für den Inhalt des vorliegenden Berichts sind alleine die Auftragnehmer verantwortlich.

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	1
1 AUSGANGSLAGE	9
1.1 Anlass und Aufgabenstellung	9
1.2 Gesetzliche Grundlagen und Politik	10
1.3 Generelles Vorgehen bei der Multikriterienanalyse	10
1.4 Systemgrenzen, Zeithorizont und Randbedingungen	11
2 GRUNDLAGEN KUNSTSTOFFABFÄLLE	13
2.1 Anteil der Kunststoffproduktion am Erdölverbrauch	13
2.2 Aktueller Stand in der Schweiz	14
2.3 Technische Angaben zum Material	15
2.4 Verwertungstechnologien für Kunststoffe	16
2.5 Kunststoffsammlungen und –verwertung im benachbarten Ausland	21
3 AUFBAU DER MULTIKRITERIENANALYSE	24
3.1 Methodik	24
3.2 Bewertungskriterien und Indikatoren im Überblick	27
3.3 Nutzwerte und Gewichtung	28
3.4 Bewertungskriterien im Detail	31
4 FESTLEGUNG DER BETRACHTETEN VARIANTEN	45
4.1 Grundlagen	45
4.2 Beschrieb der betrachteten Varianten	50
5 MENGENANGABEN UND KOSTENBETRACHTUNGEN	59
5.1 Mengenangaben zu den Kunststoffabfällen	59
5.2 Kosten	65
5.3 Datenqualität	67
6 RESULTATE	70
6.1 Gesamtergebnis der Multikriterienanalyse	70
6.2 Ergebnisse im Bereich Umwelt	73
6.3 Ergebnisse Bereich Ökonomie	80
6.4 Ergebnisse Bereich Gesellschaft	83
7 SENSITIVITÄTSBETRACHTUNGEN	85
7.1 Übersicht	85
7.2 Alternative Gewichtungen	85
7.3 Expertenschätzung weglassen	87
7.4 Bewertung mit Methode der ökologischen Knappheit	87
7.5 Ausschluss des Indikators U6 (deponierte Abfälle Untertagedeponie und Endlager)	88

7.6	Für Stromgutschrift Braunkohlekraftwerk anstelle Gas-und-Dampf-Kraftwerk	91
7.7	Berechnung mit erhöhten Fehlwurfquoten	94
8	SCHLUSSFOLGERUNGEN	96
8.1	Fazit aus der Studie	96
8.2	Diskussion der einzelnen Varianten	99
8.3	Folgerungen aus den Sensitivitätsanalysen	103
8.4	Unsicherheiten und Grenzen der Methodik, nicht untersuchte Punkte	105
	LITERATURVERZEICHNIS	106
	VERWENDETE BEGRIFFE	108
	ANHANG	
Anhang 1	Bereich Umwelt	
Anhang 2	Bereich Ökonomie	
Anhang 3	Bereich Gesellschaft	
Anhang 4	Grundlagen für die Berechnung des Verkehrs für Kriterium G1.2	
Anhang 5	Resultattabellen Multikriterienanalyse	
Anhang 6	Berechnung der zusätzlich eingesparten CO ₂ -Emissionen und der Kosten dafür	
	VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN	
Abbildung 1:	Generelles Vorgehen	11
Abbildung 2:	Weltweite Verwendung des Erdöls	13
Abbildung 3:	Kunststoffströme Schweiz 2010	14
Abbildung 4:	Darstellung der Vorgehensweise	25
Abbildung 5:	Beispiel Nutzenfunktion	28
Abbildung 6:	Gewichtung der Bereiche Umwelt, Ökonomie, Gesellschaft	29
Abbildung 7:	Auswertungstabelle mit zugeordneten Nutzwertpunkten	42
Abbildung 8:	Berechnung der totalen Nutzwertpunkte für das Kriterium G2	43
Abbildung 9:	Fliessbild Variante 0a	51
Abbildung 10:	Fliessbild Variante 0b	52
Abbildung 11:	Fliessbild Variante 1a	53
Abbildung 12:	Fliessbild Variante 1b	54
Abbildung 13:	Fliessbild Variante 2	55
Abbildung 14:	Fliessbild Variante 3a	56
Abbildung 15:	Fliessbild Variante 3b	57
Abbildung 16:	Fliessbild Variante 4	58
Abbildung 17:	Anteile Kehricht - Kunststoffabfälle	59
Abbildung 18:	Fehlwurfanteile bei Sammlung und Verwertung	62
Abbildung 19:	Quoten Separatsammlung und werkstoffliche Verwertung pro Variante	63
Abbildung 20:	Mengengerüst pro Variante inkl. Fehlwürfe	64
Abbildung 21:	aufgeschlüsselte spezifische Kosten pro t Kunststoffabfälle	65
Abbildung 22:	Kostenveränderung gegenüber dem IST-Zustand	66

Abbildung 23: Bewertungsergebnis der Multikriterienanalyse	70
Abbildung 24: Ergebnisse des Bereichs Umwelt	73
Abbildung 25: Treibhausgas-Emissionen in t CO ₂ -eq pro Variante	78
Abbildung 26: Atemwegserkrankungen in t PM10-eq pro Variante.	79
Abbildung 27: Gesamtnutzwertpunkte des Bereichs Ökonomie, Standardgewichtung	80
Abbildung 28: Gesamtnutzwertpunkte des Bereichs Gesellschaft, Standardgewichtung	83
Abbildung 29: Nutzwerte pro Variante, Vergleich der Gewichtungsvarianten S1 und S2 mit der Standardgewichtung	86
Abbildung 30: Nutzwerte Sensitivitätsanalyse „ohne Expertenschätzung“	87
Abbildung 31: Nutzwerte gesamt und gewichtet mit Kriterium U7 (Methode der ökologischen Knappheit)	88
Abbildung 32: Nutzwerte Bereich Umwelt Standardfall und Sensitivität U6	89
Abbildung 33: Nutzwerte gesamt und gewichtet mit und ohne das Umweltkriterium U6	90
Abbildung 34: Nutzwerte Bereich Umwelt Standardfall und Sensitivität Braunkohlestrom für die einzelnen Umweltkriterien U1 bis U6	92
Abbildung 35: Nutzwerte im Standardfall und in der Sensitivität Braunkohle, Standardgewichtung	93
Abbildung 36: Nutzwerte gesamt und gewichtet mit erhöhten Fehlwurfquoten	94
Abbildung 37: Vergleich Standardgewichtung zu Alternativer Gewichtung der Bereiche Umwelt, Ökonomie, Gesellschaft	104
Abbildung 38: Vergleich Standardfall (Gutschrift GuD-Kraftwerk) zu Sensitivitätsanalyse mit Stromgutschrift Braunkohle	104

VERZEICHNIS DER TABELLEN

Tabelle 1: Kunststoffarten und ihre Anwendungen	15
Tabelle 2: Definition der Standardprozesse als Ausgangslage zur Bestimmung der Gutschriften	26
Tabelle 3: Übersicht Bewertungskriterien, Indikatoren und Einheiten	27
Tabelle 4: Gewichtung der einzelnen Bewertungskriterien	30
Tabelle 5: Definition der Bewertungskriterien im Bereich Umwelt	32
Tabelle 6: Kriterien Bereich Ökonomie	36
Tabelle 7: Kriterien Bereich Gesellschaft	40
Tabelle 8: Mögliche Verwertungspfade	47
Tabelle 9: Variable Elemente	48
Tabelle 10: Kurzbeschreibung der Varianten	50
Tabelle 11: Berechnung Mindererlös pro t Kunststoffabfälle	66
Tabelle 12: Übersicht Datenquellen zur Modellierung der einzelnen Verfahren	67
Tabelle 13: Übersicht des technischen Reifegrads der verschiedenen Verwertungswege	68
Tabelle 14: Bewertungsergebnis der Multikriterienanalyse	70
Tabelle 15: Bedarf an Brennstoffen bei Verwendung konventioneller, fossiler Brennstoffe und dem Einsatz von 10 kg Kunststoffabfall in der Produktion von 1000 kg Klinker	74
Tabelle 16: Gewichtungen Standard und ohne U6	89
Tabelle 17: Veränderte Fehlwurfquoten	94

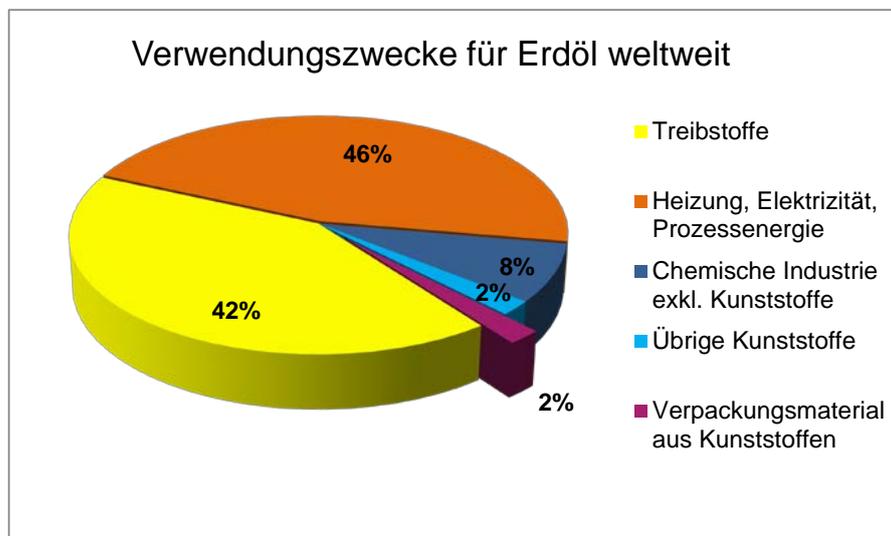
ZUSAMMENFASSUNG

AUSGANGSLAGE UND UMFELD

Die separate Sammlung und Verwertung von Kunststoffabfällen aus Haushalten wird in der Politik und der Bevölkerung mehr und mehr thematisiert. Die Einführung einer derartigen Sammlung würde sich auf die Dienstleistungen der Abfallverbände bzw. der Gemeinden und auf die Kosten auswirken. Die verminderte Kehrichtmenge mit hohem Brennwert hätte auch Folgen für die Kehrichtverbrennungsanlagen.

Aufgabenstellung Vor diesem Hintergrund hat die Trägerschaft der vorliegenden Studie beschlossen, die Sammlung und Verwertung der Kunststoffabfälle ganzheitlich untersuchen zu lassen. Es sollen mittels einer erweiterten Nutzwertanalyse, genannt "Multikriterienanalyse", verschiedene Verwertungswege für Kunststoffabfälle aus Haushaltungen der Zentralschweiz unter ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Kriterien miteinander verglichen werden. Das Ergebnis soll eine Hilfestellung sein zur Beantwortung der Frage, ob in der Zentralschweiz - das heisst im Einzugsgebiet der neuen KVA Renergia - eine Kunststoff-Separatsammlung einzuführen sei. Im Weiteren soll aufgezeigt werden, ob der aktuelle Verwertungsweg in der neuen, energieeffizienten KVA Renergia sinnvoll und vertretbar ist.

Bedeutung Kunststoffabfälle Vom weltweiten Erdölverbrauch wird heute der grösste Teil (88%) für Brenn- und Treibstoffe verwendet, 12% wird von der chemischen Industrie eingesetzt. Der Anteil für die Kunststoffproduktion beträgt 4%. Von diesen 4% geht rund die Hälfte in die Produktion von Verpackungsmaterialien, also 2% des weltweiten Erdölverbrauchs.



In der Schweiz liegt der Anteil für Verpackungsmaterialien bei rund 4%.

BETRACHTETE VARIANTEN

In der vorliegenden Multikriterienanalyse werden folgende Varianten für die Sammlung und Verwertung der Kunststoffabfälle betrachtet:

Variante	Sammlung		Hauptsächlicher Verwertungsweg
	was	wie	
0a	Kunststoffe, im Kehrichtsack	Holsammlung	Energetische Verwertung in der KVA Renergia
0b	Kunststoffe, im Kehrichtsack	Holsammlung	Energetische Verwertung in einer durchschnittlichen KVA (CH)
1a	nur Hohlkörper	Holsammlung	Werkstoffliche Verwertung; weitere Kunststoffe ► Kehricht, energetisch
1b	nur Hohlkörper	<i>Bringsammlung</i>	Werkstoffliche Verwertung; weitere Kunststoffe ► Kehricht, energetisch
2	alle Kunststoffverpackungen	Holsammlung	Verwertung als Ersatzbrennstoff (Zementwerk)
3a	alle Kunststoffverpackungen	Holsammlung	Werkstoffliche Verwertung
3b	alle Kunststoffverpackungen	<i>Bringsammlung</i>	Werkstoffliche Verwertung
4	alle Kunststoffverpackungen	<i>Bringsammlung</i>	Werkstoffliche Verwertung und Verölung

untersuchtes System

Untersucht wird das Einzugsgebiet der KVA Renergia, das den Kantonen der Zentralschweiz (LU, NW, OW, SZ, UR, ZG) entspricht. Pro Variante wird immer die gesamte anfallende Menge an Kunststoffabfällen aus Haushalten mit einbezogen, so dass die effektiven Verhältnisse für das Untersuchungsgebiet abgebildet werden.

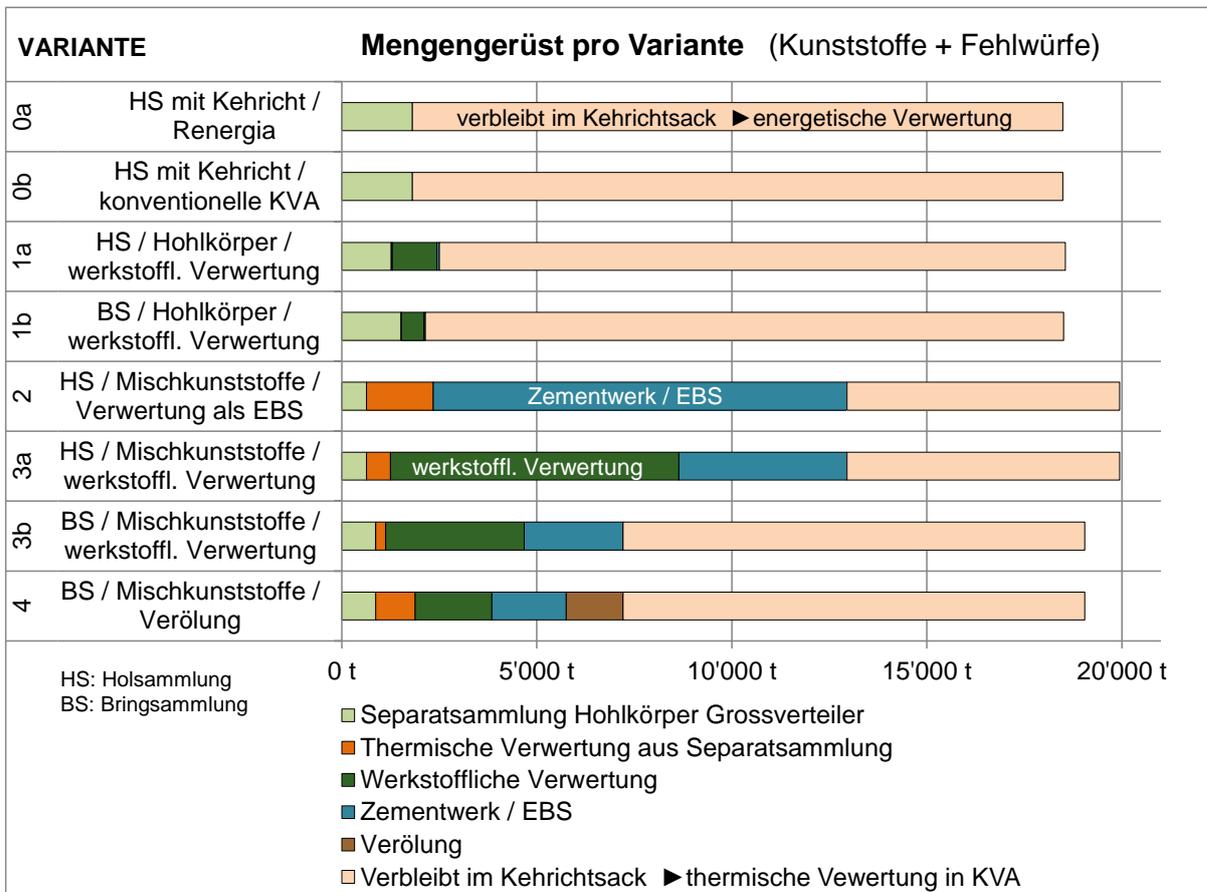
Bei den Varianten 1a und 1b wird ein Grossteil der Kunststoffabfälle in der KVA Renergia verwertet. Dies fliesst entsprechend in die Bewertung dieser Varianten ein.

nicht untersuchte Punkte

Nicht untersucht werden gemäss Festlegung durch den Fachbeirat Varianten mit vorgezogener Entsorgungsgebühr oder gebührenpflichtiger Separatsammlung, sowie allfällige Schwierigkeiten in der Einführungs- und Betriebsphase einer Kunststoff-Separatsammlung.

MENGENGERÜST

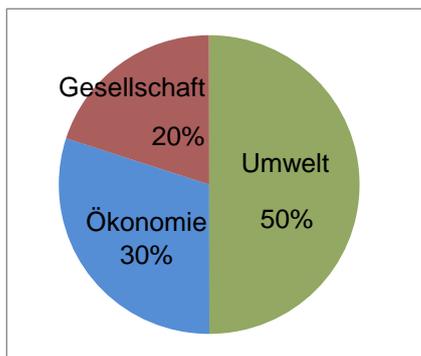
Die nachfolgende Abbildung zeigt das Mengengerüst pro Variante. Neben den Kunststoffen werden auch die Fehlwürfe berücksichtigt, was zu den unterschiedlichen Gesamtmengen führt.



BEWERTUNGSGRUNDLAGEN

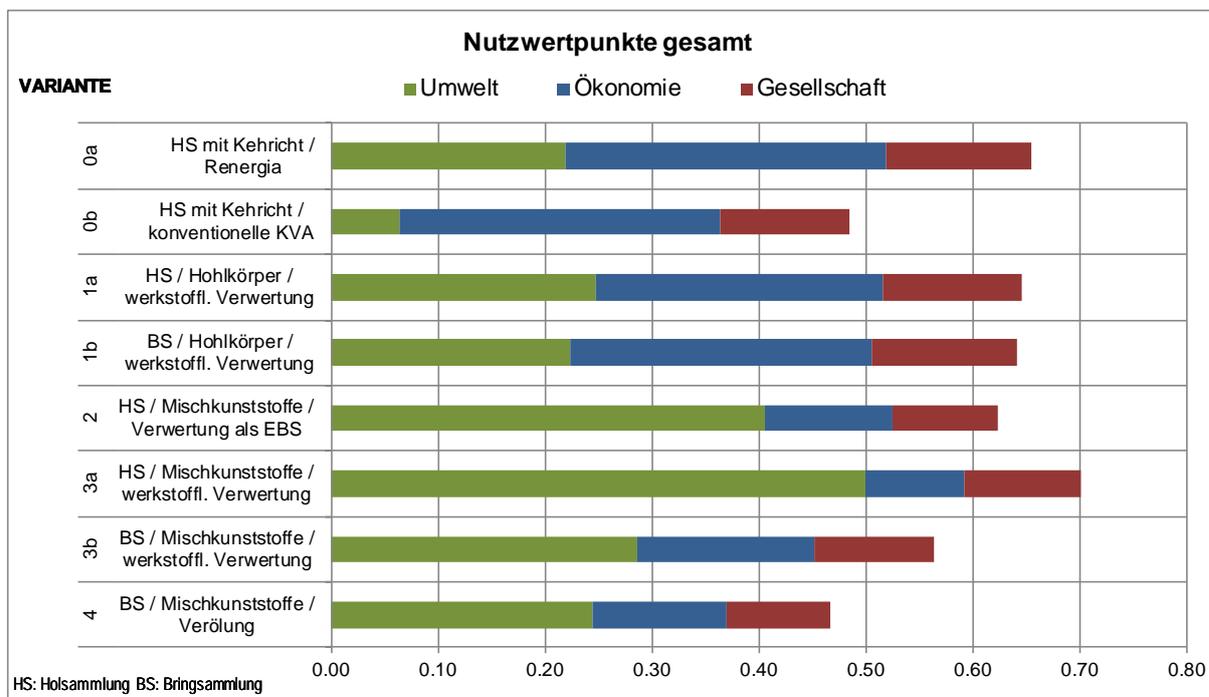
In der Multikriterienanalyse werden verschiedene Kriterien aus den Bereichen Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft bewertet. Die Ergebnisse werden in Nutzwerte zwischen 0 und 1 überführt und die Nutzwerte gemäss der festgelegten Gewichtung aufsummiert. Je mehr Nutzwertpunkte eine Variante erreicht, desto höher ihr Nutzen. Für nicht numerisch bestimmbare Kriterien werden Befragungen / Expertenmeinungen verwendet.

Die Gewichtung der Bereiche und Kriterien wurde in Abstimmung mit dem Fachbeirat festgelegt. Die Bereiche werden wie folgt gewichtet:



ERGEBNIS DER STUDIE

Die nachfolgende Darstellung zeigt die Ergebnisse der Multikriterienanalyse, jeweils unterteilt in die Bereiche Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft.



VARIANTE	NUTZWERTPUNKTE / GEWICHTUNG			
	GESAMT	Umwelt 50%	Ökonomie 30%	Gesellschaft 20%
<i>Sammelsystem / Sammelgut / Verwertungsweg</i>				
0a HS mit Kehricht / Renergia	0.65	0.22	0.30	0.14
0b HS mit Kehricht / konv. KVA	0.48	0.06	0.30	0.12
1a HS / Hohlkörper / werkstoffl. Verwertung	0.65	0.25	0.27	0.13
1b BS / Hohlkörper / werkstoffl. Verwertung	0.64	0.22	0.28	0.13
2 HS / Mischkunststoffe / Verwertung als EBS	0.62	0.41	0.12	0.10
3a HS / Mischkunststoffe / werkstoffl. Verwertung	0.70	0.50	0.09	0.11
3b BS / Mischkunststoffe / werkstoffl. Verwertung	0.56	0.29	0.17	0.11
4 BS / Mischkunststoffe / Verölung	0.47	0.24	0.13	0.10

HS: Holsammlung BS: Bringsammlung

Vergleich der Varianten

Für den in der Studie betrachteten Standardfall zeigt der Vergleich der Varianten, dass die Separatsammlung von gemischten Kunststoffabfällen (Variante 3a) die höchste Bewertung erfährt. In der Variante 3a werden gemischte Kunststoffabfälle mit einer Holsammlung gesammelt und soweit möglich werkstofflich verwertet, d.h. wieder für neue Produkte aus Kunststoff eingesetzt.

Die Variante 0a mit energetischer Verwertung in der KVA Renergia und die Varianten 1a und 1b, wo ein Teil der Hohlkörper zusätzlich zu der Verbrennung in der KVA Renergia separat gesammelt wird, erhalten auch hohe Nutzwerte. Es hat sich gezeigt, dass der Gesamtenergienutzungsgrad einer KVA eine wesentliche Bedeutung für das Resultat hat.

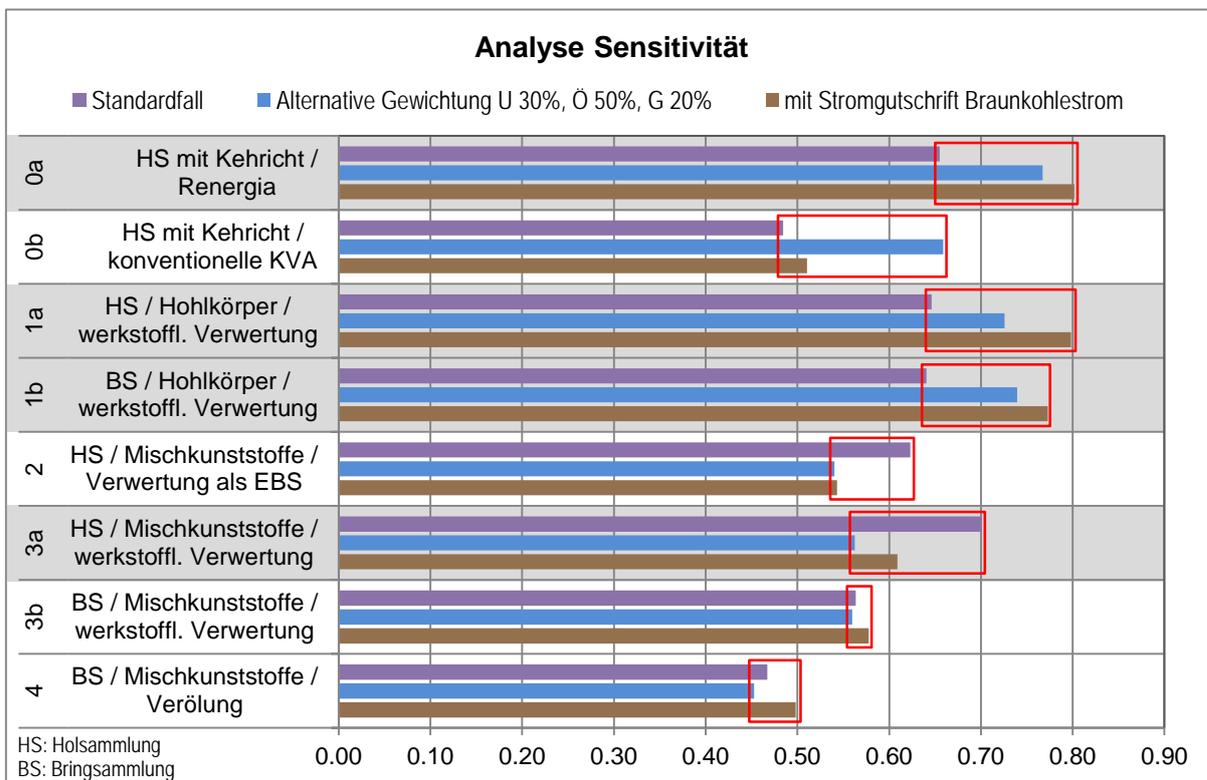
Auch Variante 2 (Holsammlung, Verwertung im Zementwerk) erzielt einen relativ hohen Nutzwert. Die Varianten 0b (durchschnittliche KVA), 3b (Bringsammlung, werkstoffliche Verwertung) und 4 (Bringsammlung, Verölung) erreichen deutlich tiefere Nutzwerte als die anderen Varianten.

SENSITIVITÄT DER BEWERTUNG

Die Ergebnisse reagieren sensitiv auf verschiedene Parameter, vor allem betreffend die folgenden Grössen:

Gewichtung der Bereiche Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft	Untersucht wird, wie sich die Ergebnisse verhalten, wenn eine veränderte Gewichtung (Umwelt 30%, Ökonomie 50% und Gesellschaft 20%) eingesetzt wird.
Art der Stromgutschrift	Untersucht wird, wie sich die Ergebnisse verhalten, wenn für den produzierten Strom anstelle von Strom aus Erdgas (Standardfall) Strom aus Braunkohle gutgeschrieben wird.

Die Bewertungen verändern sich betreffend diese Fälle wie folgt:



Die Sensitivitätsanalyse zeigt insgesamt, dass die Varianten mit mehrheitlicher oder gänzlicher Verwertung in der KVA Renergia (0a, 1a, 1b) sowie die Variante 3a (Holsammlung, werkstoffliche Verwertung) in den betrachteten Fällen Nutzwerte im oberen Bereich erzielen, wobei die Rangierung unterschiedlich ausfällt. Da sich die Rangierung verändert, sind die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zwingend für die Folgerungen aus der Studie zu berücksichtigen.

SCHLUSSFOLGERUNG AUS DER BEWERTUNG

Die vorliegende Studie zeigt, dass die Anzahl Nutzwertpunkte in den Bereichen Umwelt und Ökonomie meist gegensätzlich ausfallen:

- Je höher die Menge separat gesammelter Kunststoffe, desto höher fällt der Umweltnutzen aus und desto höher sind jedoch die Kosten für die Abfallverbände, beziehungsweise die Gemeinden.
- Varianten mit einem hohen Nutzwert im Bereich Umwelt haben in der Tendenz einen eher tiefen Nutzwert im Bereich Ökonomie und umgekehrt.
- Keine Variante erzielt sowohl im Bereich Umwelt als auch im Bereich Ökonomie einen hohen Nutzwert. Bei den Nutzwerten im Bereich Gesellschaft lässt sich kein derartiges Verhalten beobachten.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen kann abgeleitet werden, dass folgende Varianten für die Abfallverbände und Gemeinden die interessantesten Verwertungsoptionen für die Kunststoffabfälle aus Haushalten sind:

Variante	Sammlung		Hauptsächlicher Verwertungsweg
	was	wie	
0a	Kunststoffe, im Kehrichtsack	Holsammlung	Energetische Verwertung in der KVA Renergia
1a	nur Hohlkörper	Holsammlung	Werkstoffliche Verwertung; weitere Kunststoffe ► Kehricht, energetisch
1b	nur Hohlkörper	<i>Bringsammlung</i>	Werkstoffliche Verwertung; weitere Kunststoffe ► Kehricht, energetisch
3a	alle Kunststoffverpackungen	Holsammlung	Werkstoffliche Verwertung

Variante 3a zeichnet sich durch den höchsten Anteil an werkstofflicher Verwertung, die Varianten 0a, 1a und 1b durch mehrheitliche oder gänzliche Verwertung in einer KVA mit hohem Energienutzungsgrad (Renergia) aus.

Die Bringsammlung von Mischkunststoffen (Variante 3b), die Verwertung in einer durchschnittlichen KVA (Variante 0b) und die Verölung (Variante 4) sind weniger vorteilhaft und stehen somit nicht im Vordergrund.

Die Variante 2 (Verwertung in einem Zementwerk) liegt im Mittelfeld der Bewertungen; dabei stehen sich hoher Umweltnutzen und geringer ökonomischer Nutzen gegenüber.

WEITERE ENTSCHEIDUNGSKRITERIEN

Die vorliegende Multikriterienanalyse kann nicht als alleinige Grundlage für einen Entscheid dienen, ob eine Kunststoff-Separatsammlung eingeführt werden soll. Dieser muss auch auf weiteren Überlegungen basieren, wie der Fragestellung betreffend Auslastung der neuen KVA, wenn grosse Mengen an Kunststoffabfällen fehlen würden, oder Abklärungen zur Machbarkeit einer Kunststoff-Separatsammlung, welche grosse Sammelmengen in guter Qualität erbringen soll.

FAZIT AUS DER STUDIE

Betreffend die Aufgabenstellung der Studie, den Vergleich der verschiedenen Verwertungswege für Kunststoffabfälle aus Haushaltungen der Zentralschweiz, ergibt sich folgendes Fazit:

- Sowohl die energetische Verwertung in der KVA Renergia als auch die Separatsammlung mit werkstofflicher Verwertung weisen hohe Nutzwerte auf, auch unter Berücksichtigung der Spannweite gemäss den Sensitivitätsanalysen.
- Der aktuelle Verwertungsweg von Kunststoffabfällen in der neuen KVA Renergia wird als sinnvoll und vertretbar eingestuft.
- Auf der Basis der vorliegenden Studie kann jedoch kein eindeutiger Entscheid getroffen werden, ob es zweckmässig wäre, in der Zentralschweiz eine zusätzliche Kunststoff-Separatsammlung einzuführen.
- Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die KVA Renergia anfangs 2015 ihren Betrieb aufgenommen hat und die vorliegende Studie zeigt, dass die energetische Verwertung von Kunststoffabfällen aus Haushalten in der KVA Renergia sinnvoll und vertretbar ist, kann gefolgert werden, dass eine Separatsammlung von Kunststoffabfällen in der Zentralschweiz nicht im Vordergrund steht.

1 AUSGANGSLAGE

1.1 Anlass und Aufgabenstellung

Betreffend Kunststoffabfällen aus Haushalten werden in der Schweiz bisher nur PET-Flaschen flächendeckend gesammelt und wiederverwertet. Die separate Sammlung und Verwertung weiterer Kunststoffabfälle aus Haushalten wird in der Politik und der Bevölkerung jedoch mehr und mehr thematisiert.

Auftraggeber der vorliegenden Studie sind die Renergia Zentralschweiz AG sowie die Zentralschweizer Umweltschutzdirektionen (ZUDK). Fachlich werden sie vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) unterstützt.

Vor dem Hintergrund, dass die Renergia Zentralschweiz AG aktuell eine neue Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) in Perlen LU erbaut, werden in der vorliegenden Studie folgende Fragenstellungen bearbeitet, um den Abfallverbänden, den Gemeinden und den kantonalen Umweltschutzfachstellen Entscheidungsgrundlagen bezüglich möglicher Kunststoff-Separatsammlungen zu liefern:

- Welche Verwertungswege/Technologien/Systeme sind bezüglich einer Separatsammlung und Verwertung von Kunststoffabfällen vorteilhaft und umsetzbar?
- Wie könnte eine Separatsammlung von Kunststoffabfällen aus Haushalten für die Zentralschweiz ausgestaltet werden?
- Welche Mengen an Kunststoffabfällen würden je nach Ausgestaltung der Sammlung separat anfallen und nicht mehr in die Anlage der KVA Renergia gelangen?
- Welche Umweltauswirkungen ergeben für unterschiedliche Sammel- und Verwertungssysteme?
- Was kosten die Separatsammlung und –verwertung von Kunststoffabfällen? Sind diese Kosten vertretbar?
- Ist die Verwertung der Kunststoffabfälle in der neuen, energetisch vorteilhaften KVA Renergia in Perlen sinnvoll?
- Würden Politik und Bevölkerung einer Separatsammlung von Kunststoffabfällen positiv begegnen?

Ziel der vorliegenden Studie ist es, die Antwort auf folgende Frage zu liefern:

Gesucht ist der aus ökologischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Sicht nachhaltigste Weg, Kunststoffabfälle aus Haushalten der Zentralschweiz stofflich oder energetisch zu verwerten.

Multikriterienanalyse

Die Aufgabe soll mit dem Aufbau und der Anwendung einer Multikriterienanalyse gelöst werden. Hierzu werden Lösungsvarianten definiert, die dann nach ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlich-ethischen Kriterien bewertet werden. Dadurch wird ein breit abgestützter Vergleich der Varianten möglich.

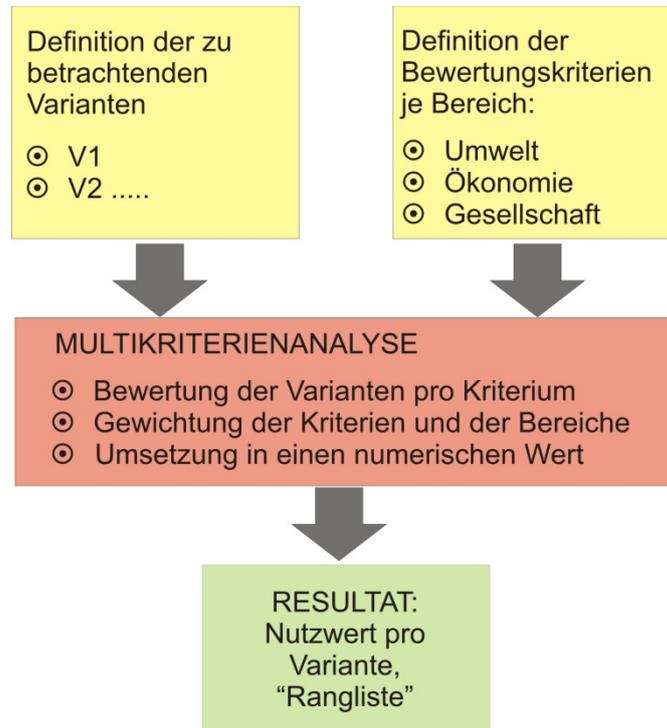
1.2 Gesetzliche Grundlagen und Politik

USG und TVA	Weder im Umweltschutzgesetz USG (USG, 1983) noch in der TVA sind konkrete Vorschriften über die Verwertung von Kunststoffabfällen enthalten. Auch mit der aktuellen TVA-Revision sind für Siedlungsabfälle keine derartigen Bestimmungen vorgesehen. Es verbleibt die allgemeine Festlegung im Umweltschutzgesetz, dass Abfälle soweit möglich verwertet werden sollen.
Verordnung über Getränkeverpackungen	Die VGV (Verordnung über Getränkeverpackungen) regelt für Getränkeverpackungen die Abgabe und Rücknahme für die Verwendung im Inland und die Finanzierung der Entsorgung von Getränkeverpackungen aus Glas. Sie gilt aber nicht für Verpackungen von Milch und Milchprodukten sowie für andere Kunststoffverpackungen. Es sind jedoch Bestimmungen enthalten, welche die Rücknahme von PET-Getränkepackungen fördern. So ist eine Verwertungsquote von 75% gesetzt, die erreicht werden muss.
BAFU Aktionsplan grüne Wirtschaft	<p>Im Aktionsplan für eine grüne Wirtschaft kündigte der Bundesrat eine generelle „Rücknahmepflicht für Verpackungen im Konsumbereich“ an, welche sich an die Detailhändler richten (BAFU, 2013). Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) hat die Aufgabe erhalten, die notwendige Anpassung des Umweltschutzgesetzes auszuarbeiten. Welche Stoffe genau vom Detailhandel zurückzunehmen sind könnte dann in der TVA geregelt werden.</p> <p>In der Vernehmlassung hat sich mehrheitlich ergeben, dass künftig anstelle einer Rücknahmepflicht für bestimmte Verpackungen eher einer Sammelpflicht den Vorzug gegeben würde. Eine Sammelpflicht solle jedoch erst dann eingeführt werden, wenn freiwillige Massnahmen resp. Branchenvereinbarungen zwischen der Wirtschaft und dem Bund nicht zielführend seien (...) (Antwort Bundesrat auf Interpellation, 2013/2014).</p>
Entsorgungsmonopol der öffentlichen Hand	Die Kunststoffabfälle aus Haushalten gehören zu den Siedlungsabfällen und damit gilt grundsätzlich das in der TVA festgelegte Entsorgungsmonopol der öffentlichen Hand.

1.3 Generelles Vorgehen bei der Multikriterienanalyse

Definition der zu betrachtenden Varianten	In einem ersten Schritt werden mehrere Varianten zur separaten Sammlung und Verwertung von Kunststoffabfällen aus Haushalten definiert (siehe Kapitel 4.2). Diese Varianten decken die aktuell als realistisch eingeschätzten Möglichkeiten ab.
Bewertung mit Multikriterienanalyse	Für den Vergleich der Varianten wird in der vorliegenden Studie eine Multikriterienanalyse angewendet. Die Multikriterienanalyse ist eine erweiterte Nutzwertanalyse, die bereits bei anderen Projekten (Bättig, et al., 2009) (Bättig, et al., 2011) erfolgreich erprobt wurde. Weitere Angaben hierzu: siehe Kapitel 3.

Abbildung 1: Generelles Vorgehen



1.4 Systemgrenzen, Zeithorizont und Randbedingungen

1.4.1 Systemgrenzen

Systemgrenzen Als räumliche Systemgrenze wird das Einzugsgebiet der Kehrichtverbrennungsanlage Renergia festgelegt. Es sind dies die Kantone Luzern, Nidwalden, Obwalden, Schwyz (nur innerer Kantonsteil), Uri und Zug mit total rund 680'000 Einwohnern. Betreffend Logistik und Finanzierung der Abfallwirtschaft sind acht Abfallverbände zuständig.

In der Zentralschweiz fallen jährlich rund 140'000 t Kehricht an, davon sind rund 18'000 t (13%) Kunststoffabfälle (BAFU, 2014). Die Kehrichtentsorgung kostet jährlich rund Fr. 35 Millionen.

In den Ökobilanzen werden aus Konsistenzgründen immer sämtliche Kunststoffabfälle inkl. Fehlwürfe im Siedlungsabfall mit einbezogen und nicht nur die effektiv pro Variante gesammelte Menge.

Sammlung und Transporte Die Sammlung und die Transporte werden bewusst ins System mit einbezogen, da sie betreffend Kosten, Auswirkungen auf die gesammelten Mengen und die Ökologie (Strassentransporte) relevant sein können.

Ökobilanzen Die Methodik der Ökobilanzen und der Bewertungsmechanismus des Bereichs Umwelt ist im Detail im Anhang 2 beschrieben. Grundgedanke dabei ist die Substitution von Energie, Rohstoffen oder Produkten, die durch die Wärme- und Stromproduktion oder die Edukte / generierten Produkte erreicht werden kann. Es wird

eine entsprechende Gutschriften-Betrachtung gemacht, auf Basis von standardisierten Energieträgern bzw. Produkten. Dabei werden die gesamten Umweltauswirkungen betrachtet, d.h. beispielsweise wird bei fossilen Energieträgern auch deren Förderung mitberücksichtigt.

1.4.2 Zeithorizont

Als Zeithorizont wird das Jahr 2020 gewählt. Es wird davon ausgegangen, dass bis dann in der Schweiz eine oder mehrere Sortier- oder/und Verwertungsanlagen vorhanden sind.

Die Einführungsphase, resp. die praktische Umsetzung einer separaten Kunststoffsammlung, ist nicht Gegenstand der vorliegenden Studie.

1.4.3 Weitere Festsetzungen und Randbedingungen

- Die Entsorgungswege sowie die zugehörige Technik werden in der vorliegenden Studie als gegeben vorausgesetzt.
- Auf die Gebühren- und Finanzierungsfrage bei einer separaten Sammlung von Kunststoffen wird nicht eingegangen. Es wird für die vorliegende Studie festgelegt und vorausgesetzt, dass keine separate Mengengebühr für die neue Separatsammlung erhoben wird. Die Finanzierung erfolgt über die bereits vorhandenen Gebührensysteme, und wird nicht näher betrachtet.
- Die Bringsammlung zu unbedienten Sammelstellen wird ausgeschlossen, da als nicht praxistauglich beurteilt (vgl. Kapitel 4.1.6).
- Der Einfluss auf das Brennmaterial (geringerer Heizwert aufgrund Separatsammlung des Kunststoffs) und die damit einhergehenden Folgen für die KVA werden ebenfalls nicht diskutiert.

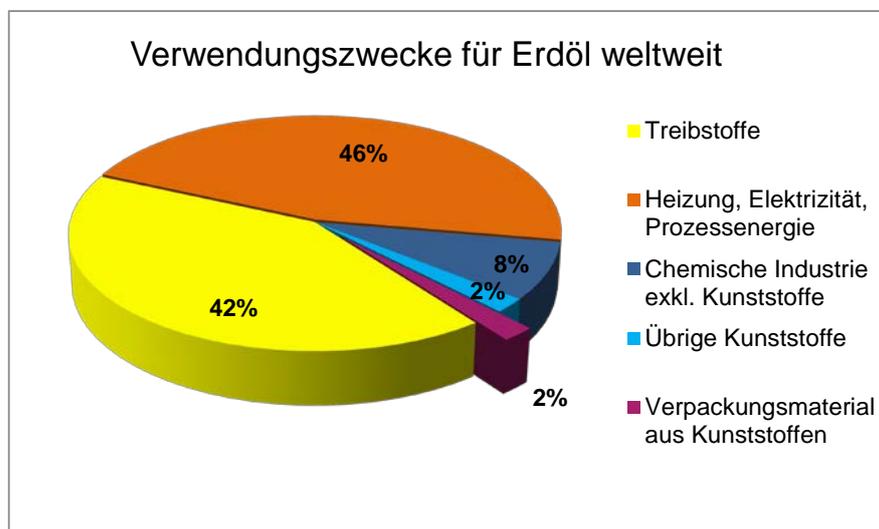
2 GRUNDLAGEN KUNSTSTOFFABFÄLLE

2.1 Anteil der Kunststoffproduktion am Erdölverbrauch

Bedeutung
Kunststoffabfälle

Vom weltweiten Erdölverbrauch wird heute 88% für Brenn- und Treibstoffen verwendet (46% für Heizung, Elektrizität und Prozessenergie und 42% für Treibstoffe). 12% wird von der chemischen Industrie eingesetzt. Der Anteil für die Kunststoffproduktion beträgt 4%. Von diesen 4% geht rund die Hälfte in die Produktion von Verpackungsmaterialien, also 2% des weltweiten Erdölverbrauchs (Fraunhofer UMSICHT, 2014).

Abbildung 2: Weltweite Verwendung des Erdöls

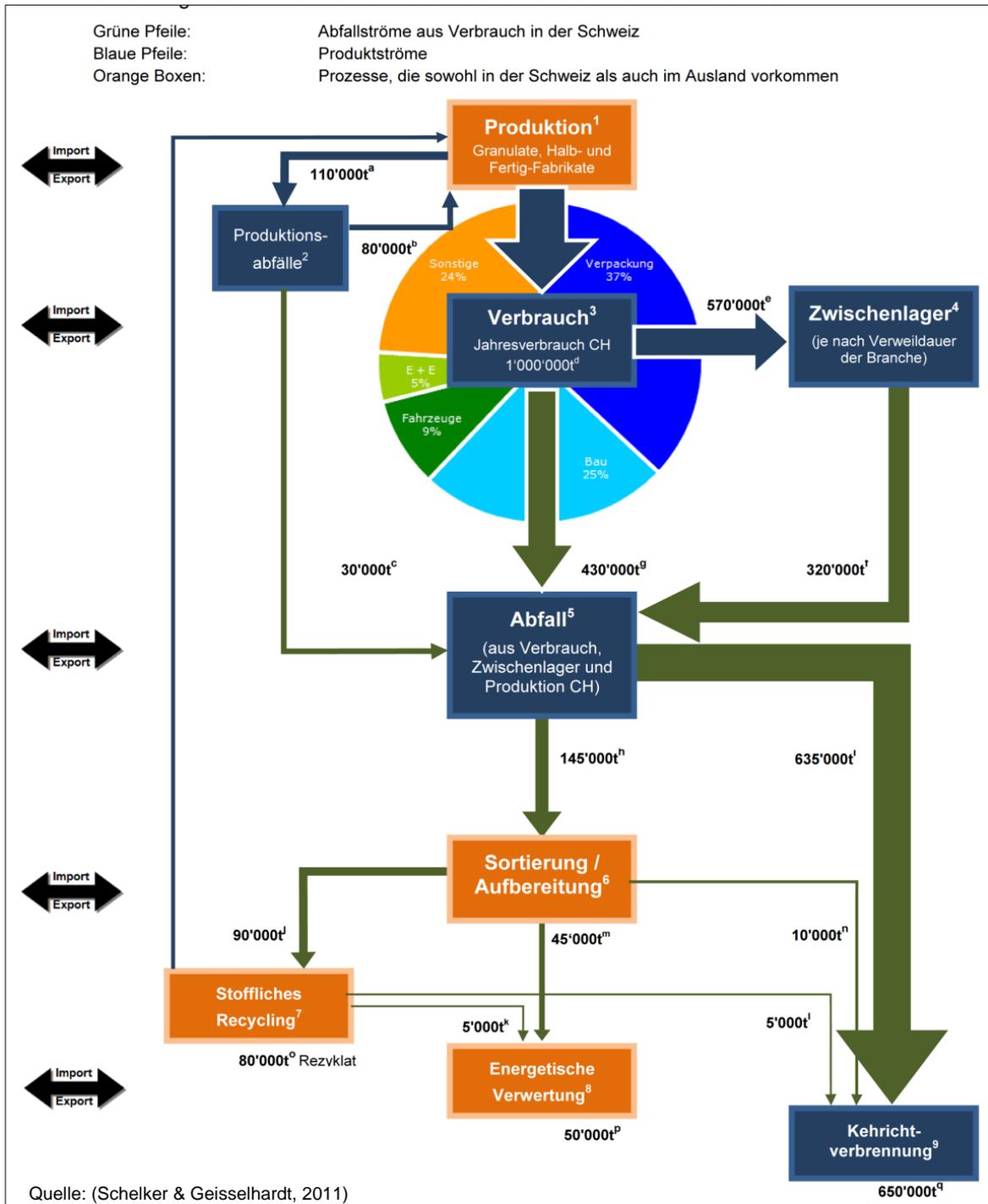


In der Schweiz liegt der Anteil für Verpackungsmaterialien bei rund 4% (Schelker & Geisselhardt, 2011) (siehe Abbildung 3).

2.2 Aktueller Stand in der Schweiz

2.2.1 Stoffströme

Abbildung 3: Kunststoffströme Schweiz 2010



Für die vorliegende Studie sind die 37% Verpackungsabfälle relevant (370'000 t/a), welche in der Schweiz zur Zeit zum allergrössten Teil als Abfall in Kehrichtverbrennungsanlagen entsorgt werden.

2.3 Technische Angaben zum Material

Kunststoffe sind künstlich hergestellte Werkstoffe, die in drei Gruppen eingeteilt werden: Thermoplaste (Plastomere), Duroplaste (Duromere) und Elastoplaste (Elastomere). Kunststoffe werden meist aus Erdölprodukten hergestellt und bestehen aus verschiedenen langen Kohlenwasserstoffketten (kunststoff-schweiz, 2014).

Das Verpackungsmaterial der Haushalte und die Haushaltssammelware bestehen grösstenteils aus folgenden Kunststoffarten:

Tabelle 1: Kunststoffarten und ihre Anwendungen

Recycling-Codes	Abkürzung	Kunststoffname	Typische Anwendungen
	PET	Polyethylen-terephthalat	Getränkeflaschen
	HDPE	High-Density Polyethylen	Milch- und Kaffeerahmflaschen, Hygieneartikelflaschen, Folienmaterial
	PVC	Polyvinylchlorid	Fussbodenbeläge, Schwimmutensilien (Gummiboote, Schwimmhilfen,..)
	LDPE	Low-Density Polyethylen	Folien- und Verpackungsmaterial, Faltflaschen
	PP	Polypropylen	Joghurtbecher, Tupperwares, Transportbehälter
	PS	Polystyrol	Eierverpackungen, als Schaumstoff unter dem Markennamen Styropor oder Sagem bekannt
	Andere	häufig Polycarbonate oder EBS	Trinkflaschen, Baby-Milch-Flaschen, Verpackungen für Elektronik

Für die vorliegende Studie werden folgende Zusammensetzungen/Sammelwaren aus Kunststoff verwendet:

Hohlkörper

Flaschen mit Deckel aus Haushaltungen, restentleert, ungewaschen, inkl. Fehlwürfe

Hohlkörper und Verpackungen

Sämtliche Flaschen mit Deckel, Verpackungen und Folienmaterialien, ungewaschen, inkl. Fehlwürfe

Nicht berücksichtigt werden:

- der sehr geringe Anteil der Flaschen aus PP, es werden nur PE-Flaschen berücksichtigt
- das Waschen der Flaschen und Verpackungen in den Haushalten mit kaltem oder warmem Wasser
- der Anteil PET-Flaschen, welcher dem PRS (Pet Recycling Schweiz) zugeführt wird

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

Als Ausgangslage für diese Abschätzungen dienten die Kunststofffraktionen, welche im Haushalt eingesetzt werden, berechnet aus (Schelker & Geisselhardt, 2011): 66% PE, 6% PET, 20% PP, 3% PS und 6% andere. In dieser Studie werden diese berechneten Werte verwendet. Eine vertiefte Betrachtung der Kunststofffraktionen findet sich in Anhang 2.

Das Thema Fehlwürfe und Fehlwurfquoten wird im Kapitel 5.1.3 behandelt.

2.4 Verwertungstechnologien für Kunststoffe

Im Folgenden werden die Verwertungstechnologien beschrieben. Im Anhang 2 werden die Modellierung und Einbettung in die Ökobilanz erläutert und Datenquellen sowie Annahmen aufgeführt.

2.4.1 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 sortenreiner und qualitativ hochstehender die Sammelware ist, desto kleiner wird der Aufwand für Sortierung und Aufbereitung für die weitere Verwertung. Je mehr Fraktionen gemischt gesammelt und werden, umso mehr Sortierstufen braucht es (Schelker & Geisselhardt, 2011). Die Sortierung wird mit Literaturangaben aus (Arena, et al., 2003) und (Perugini, et al., 2005) modelliert.

2.4.2 Werkstoffliche Verwertung

Die stoffliche Verwertung bezeichnet die Aufbereitung oder Wiederverwertung gebrauchter Kunststoffmaterialien aus Haushalten zu Sekundärrohstoff (Regranulat). Dieses Produkt wird wieder für die Herstellung von verschiedenen Kunststoffprodukten (z.B. Kabelschutzrohre) eingesetzt. Eine stoffliche Verwertung setzt eine möglichst sortenreine Fraktion entsprechender Qualität voraus, die in einer vorge-

lagerten Sortierung, Schreddern und Waschung erreicht wird. Je sortenreiner und qualitativ hochstehender die Sammelware ist, desto kleiner wird der Aufwand für Sortierung und Aufbereitung für die weitere Verwertung.

Ein grosses Problem bei der werkstofflichen Verwertung liegt darin, dass ein zunehmend grösserer Anteil der Kunststoffarten nicht aus einer einzigen, sortenreinen Art von Monomeren wie beispielsweise Ethylen, Propylen oder Styrol besteht, sondern für bestimmte Einsatzzwecke entwickelte Mischpolymerisate eingesetzt werden. Diese bestehen aus Mischungen von zwei und mehr Monomer-Typen. Ausserdem kommen allenfalls noch Zuschlagsstoffe wie organische und/oder mineralische Weichmacher hinzu (Edelmann, et al., 2004).

Die ökologische Modellierung des werkstofflichen Recyclings beinhaltet die Prozessschritte Zerkleinern, Waschen, Schwimm- und Sinkabscheidung sowie Einschmelzen. Für das Inventar werden Angaben der InnoRecycling AG 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 Kapitel 5.1.4) und die Entsorgung der Rückstände (KVA bzw. Zementofen gemäss Kapitel 5.1.5) individuell auf die in dieser Studie definierten Szenarien angepasst.

2.4.3 Energetische Verwertung

Die energetische Verwertung bezeichnet die Verwertung von gebrauchten Kunststoffmaterialien in Zementwerken oder KVA zur Produktion von Wärme und Strom oder zur Herstellung von Produkten wie Klinker (Zementwerk).

Energetische
Verwertung in KVA

Es wird unterschieden ob der Kunststoff in der KVA Renergia oder in einer konventionellen KVA verbrannt wird. Aus ökologischer Sicht ist dabei die Art der Rauchgasreinigung (trocken oder nass), die damit zusammenhängenden Emissionen und anfallende Abfallmengen sowie die energetischen Wirkungsgrade von grösster Bedeutung. Für die Berechnung werden folgende Wirkungsgrade (abzüglich Eigenbedarf) der KVA berücksichtigt:

- KVA Renergia: 21% Strom, 45% Wärme, gemäss Vorprojekt (Wandschneider + Gutjahr Ingenieurgesellschaft mbh, 2010). Der Wirkungsgrad inkl. Eigenenergiebedarf beläuft sich auf 73.7%, in dieser Studie wird jedoch nur die abgegebene Energie bewertet.
- KVA konventionell: 12% Strom, 24% Wärme, gemäss (Liechti Jürg, 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 die Energienutzung mit grosser Wahrscheinlichkeit jedoch nur um wenige Prozentpunkte steigen, da eine Steigerung der Energienutzung mit einer langfristigen Planung verbunden ist. Die hier angegebenen Energienutzungsgrade für die konventionelle KVA entsprechen daher eher einer konservativen Annahme.

Für den Indikator U6 der Multikriterienanalyse (siehe Kapitel 3.4.1f) 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 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 aus der konventionellen KVA und aus der KVA Renergia dieselben Entsorgungswege angenommen, basierend auf den Angaben der KVA Renergia (50% saure Wäsche, 44% Reststoffdeponie mit Zement verfestigt und 6% Untertagedeponie). In der trockenen Rauchgasreinigung (bei Renergia verwendete Technologie) fallen weitere feste Rückstände aus dem Gewebefilter 2 an, welche ebenfalls auf eine Untertagedeponie entsorgt werden. Bei einer nassen Rauchgasreinigung (konventionelle KVA) fällt in der KVA-internen Abwasserreinigung ein Filterkuchen an, welcher ebenfalls teilweise auf einer Untertagedeponie entsorgt wird. Die entsprechenden Mengen sind im Anhang 2 zu finden.

Als Datenquellen für die Ökobilanz dienten die bestehenden Modellierungen der konventionellen Anlagen (Doka, 2009), (Doka, 2014a), (Doka, 2014b) sowie spezifische Informationen zur KVA Renergia gemäss Angaben von Renergia, Ramboll und dem Umweltverträglichkeitsbericht (HOLINGER AG, 2011).

Energetische
Verwertung als
Ersatzbrennstoff (EBS)

Sämtliches Sammelgut, welches die Annahmebedingungen eines Zementwerks erfüllt, wird zu Ersatzbrennstoff (EBS) für die Zementindustrie aufbereitet und im Zementwerk für die Klinkerproduktion verwendet. Der Kunststoff ersetzt in der Klinkerproduktion keine Rohmaterialien dafür aber konventionelle Brennstoffe¹ (Steinkohle, Braunkohle, Petrolkoks, Schweröl, Heizöl und Erdgas). Durch den hohen Heizwert von Kunststoff kann 1 kg Kunststoff ca. 1.5 kg andere fossile Brennstoffe, dabei hauptsächlich Stein- und Braunkohle, ersetzen. Aus Sicht der Ökobilanz wird auf Seite der Belastung die Mitverbrennung von Kunststoff im Zementwerk gerechnet. Aufgrund der Gutschriftenbetrachtung (siehe auch Kapitel 3.1) erhalten die Verwertungswege pro Kilogramm produzierter Klinker eine Gutschrift. Die Gutschrift widerspiegelt die Herstellung von Klinker mit konventionellen Brennstoffen.

Die ökologische Bewertung wird mit dem Tool LCA4AFR durchgeführt (Boesch, 2011).

2.4.4 Verölung

Aufbereitete Kunststoffabfälle werden in einem dreistufigen Verölungsprozess im Reaktor drucklos und unter Luftausschluss geschmolzen, gekrackt und verdampft. Danach werden die verdampften Krackprodukte zu zwei verschiedenen Produktölen verflüssigt, wobei eines einem Brennstoff mit einem Heizwert gleichwertig

¹ 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 wird in der Modellierung nur mit konventionellen Brennstoffen gerechnet.

dem normalen Heizöl „extraleicht“ entspricht, der als Heizöl oder Treibstoff eingesetzt werden kann. Das andere Produkt enthält hohe Leichtsiederanteile und wird als Rohstoff für eine weitere Aufbereitung verwendet (Kilga & Wick, 2011).

Die ökologische Belastung der Verölung wird über eine bestehende Ökobilanzstudie von plastOil (Kilga & Wick, 2011) abgeschätzt.

2.4.5 Weitere Technologien

Weitere Technologien, mit denen Kunststoffabfälle verwertet werden können, werden in der vorliegenden Arbeit nicht näher betrachtet. Trotzdem sind im Folgenden einige beschrieben, allerdings erhebt die Aufzählung keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

- Syngas Syngas ist eine Abkürzung für die Bezeichnung Synthesegas. Dieses kann durch eine thermisch-chemische Vergasung verschiedener Stoffe (fest, flüssig, gasförmig) hergestellt werden. Die Verwendung reicht von Treibstoff über Strom und Wärme bis hin zu Grundstoffen für die chemische Industrie.
- Pyrolyse Unter Pyrolyse versteht man die thermische Zersetzung von Stoffen unter Ausschluss von Sauerstoff, also keine Verbrennung. Dieses Verfahren wird zum Recycling von Kunststoff eingesetzt. Im sogenannten „Hamburger Verfahren“ wird der Kunststoff in einem Wirbelschichtreaktor unter Sauerstoffausschluss zersetzt. Es können auch andere Stoffe wie Holz, Klärschlamm, Ölschiefer usw. eingesetzt werden.
- Hydrierung Die Hydrierung ist ein Prozess, bei dem durch eine Spaltung unter hohen Temperaturen und Drücken aus organischen Verbindungen (z.B. Mischkunststoffabfälle) Produkte wie Benzin erzeugt werden.

2.4.6 Aktuelle Kunststoffsammlungen

2.4.7 Kunststoff-Separatsammlung in der Schweiz

In der Schweiz werden Kunststoffabfälle aus Haushalten erst in geringen Mengen separat gesammelt. Im vorliegenden Kapitel werden die zurzeit bestehenden, öffentlichen und privaten Anbieter von Kunststoffsammlungen kurz beschrieben. Es besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit.

2.4.8 Öffentliche Kunststoff-Sammlungen

- ZEBA Der Zweckverband der Zuger Einwohnergemeinden für die Bewirtschaftung von Abfällen ZEBA sammelt und bewirtschaftet Kunststoffabfälle seit 1995. Heute können Kunststoffabfälle (auch Verpackungen) beim bedienten Ökihof in Zug abgegeben werden. Die gesammelten Kunststoffabfälle wurden der rohstofflichen Verwertung (Verölung) zugeführt (Pilotanlage in Baar, aktuell nicht in Betrieb), bei der aber ein Teil auch aussortiert und der stofflichen Verwertung zugeführt wird. Ab

Ende 2015 wird die Sammlung auf Kunststoffflaschen beschränkt, dann aber im gesamten Verbandsgebiet angeboten.

AVAG Thun Die AG für Abfallverwertung AVAG in Thun sammelte im Rahmen eines Pilotprojekts von 2012 bis Ende 2014 Kunststoffbehältnisse mit Deckel und Getränkekartons (GVK) in 18 Sammelstellen in 11 Gemeinden und führt hochwertige Kunststoffe der stofflichen Verwertung zu. Ab 2015 beschränkt sich die Sammlung auf Getränkekartons, vorab aus ökonomischen Gründen und der in der Zwischenzeit ausgebauten Abgabemöglichkeiten bei Grossverteilern.

weitere Im mehreren Städten oder Gemeinden werden Kunststoffsammlungen angeboten, so beispielsweise in den Städten Bern und Olten, in fünf Gemeinden im Kanton Obwalden, in den Gemeinden Illgau, Weggis oder Affoltern am Albis. Diese erfolgen zum Teil durch privatwirtschaftliche Anbieter, die ihre Angebote auch überregional anbieten (siehe Kapitel 2.4.9). Ausserdem bestehen für das Gewerbe, die Industrie und die Landwirtschaft weitere Separatsammlungen auf privatwirtschaftlicher Basis. Auf diese wird vorliegend nicht eingegangen.

Der Verband PET-Recycling Schweiz sammelt seit einiger Zeit PE-LD Folien mit speziell dafür konzipierten Sammelsäcken bei bereits bestehenden PET-Sammelstellen, die Ihre PET-Säcke von einem PET-Transportpartner abholen lassen.

2.4.9 Privatwirtschaftliche Kunststoff-Sammlungen

Entsorgungsunternehmen Verschiedene Entsorgungsunternehmen in der Schweiz sammeln und/oder verwerten auch Kunststoffabfälle aus Haushalten und Industrie. So beispielsweise die Firma Paul Baldini AG in Altdorf, die Firma Schmid AG in Affoltern am Albis oder die Firma InnoRecycling in Eschlikon. Es werden Sammelsäcke verkauft. Es ergeben sich umgerechnet Tonnenpreise in der Grössenordnung von Fr. 1'500.-/t.

Detailhandel Der Detailhändler Migros sammelt seit 2009 neben PET auch Kunststoffflaschen von Milchprodukten, Wasch- und Reinigungsmittel, Shampoos, Duschmittel, Seifen, Lotionen, Essig, Öl und Saucen und führt diese der vorwiegend stofflichen Verwertung zu.

Coop sammelt seit einigen Jahren PE-Milch-, Kaffeerahm-, und Milchgetränkeflaschen. Aktuell wird das Angebot auf alle Kunststoffflaschen ausgedehnt.

2.4.10 Verwertungsbetriebe

Im Folgenden sind einige Betriebe aufgelistet, welche heute Kunststoffabfälle aus Haushaltungen annehmen und diese in verschiedener Form in der Schweiz oder im Ausland weiter verarbeiten (lassen). Die Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit:

- InnoRecycling AG/InnoPlastics AG in Eschlikon TG: Sammlung, Entsorgung und Verwertung von Kunststoffen

- Neue Plastrec AG in Winterthur ZH: Kunststoffaufbereitungsanlage für Ersatzbrennstoffe für Zementwerke
- Häfeli-Brügger AG in Klingnau AG: Kunststoffsammlung und Aufbereitung zu EBS

2.5 Kunststoffsammlungen und –verwertung im benachbarten Ausland

2.5.1 Situation Kunststoffabfälle in Europa

Gemäss einer Pressemitteilung vom 14. Januar 2014 hat das Europäische Parlament einen Initiativbericht über eine europäische Strategie für Kunststoffabfälle verabschiedet. Dabei geht es darum, dass je länger je weniger komplexe Kunststoffprodukte in den Verkehr kommen und dadurch hochwertiges Recycling möglich gemacht wird. Europäische Vorgaben zu Produktdesign, Zusammensetzung und Verwertung von Kunststoffabfällen sollen die Ressourcen schonen. Die gefährlichsten Kunststoffe, wie etwa Kunststoff-Mikropartikel oder solche, die Schwermetalle oder andere Stoffe enthalten, sollen schrittweise vom Markt genommen oder noch vor 2020 ganz verboten werden. Ausserdem soll die Entwicklung eines Marktes für die Sammlung und Sortierung von Kunststoffen geschaffen und verbindliche Kriterien für die Recyclingfähigkeit von Plastikabfällen festgelegt werden. (VKU Presseinformation, 2014).

Nachfolgend wird die Situation in Deutschland und Österreich beschrieben. Auch in anderen europäischen Ländern werden Kunststoffabfälle separat gesammelt und verwertet. Auf diese wird vorliegend aber nicht eingegangen.

2.5.2 Duales System in Deutschland

Hintergrund Seit 1991 sind die Hersteller und Vertreiber von Verkaufsverpackungen gemäss der Verpackungsverordnung verpflichtet, diese zurückzunehmen und einer Verwertung zuzuführen. Nebst dem öffentlich-rechtlichen Abfallentsorgungssystem wurde durch den Handel, die abfüllende Industrie, den Verpackungsherstellern und Packmittelherstellern ein zweites, duales System aufgebaut, das durch den „Grünen Punkt“ finanziert wurde. 2003 wurde der Markt geöffnet, sodass es heute durch eine Wettbewerbsöffnung insgesamt neun Systembetreiber gibt. Bis heute haben der Wettbewerb der dualen Systeme untereinander und hohe Investitionen der privaten Unternehmen in Hightech-Sortiertechniken und innovativen Verwertungsverfahren zu Effizienzsteigerungen und somit zu einer Kostensenkung für die Sammlung, Sortierung und Verwertung von Verpackungsabfällen geführt. Das Ziel der dualen Systeme ist eine maximale stoffliche Verwertungsquote (Recycling für Deutschland, 2014).

Gelbe Tonne/gelber Sack In der gelben Tonne/gelber Sack werden Verpackungen mit dem grünen Punkt gesammelt. Dies sind Verpackungen aus Kunststoff, Metall (Aluminium und Weissblech) und Verbundverpackungen, jedoch nicht Pappe, Karton, Papierverpackungen und Glas, diese Fraktionen werden in separaten Gebinden gesammelt.

Sammelsystem	Die Hausmüll-, Bioabfall-, Papier- und Wertstofftonnen werden abgeholt. Die anderen Abfallfraktionen wie Elektrogeräte, Energiesparlampen, Batterien, Textilien, Datenträger oder Holz werden zu verschiedenartigen Recyclinghöfen gebracht. Allerdings gibt es für Sperrmüll auch die Möglichkeit der Bereitstellung und Abholung vor dem Haus. Für Glas gibt es verschiedene Glassammelstellen/Glasiglus. Der Wertstoffsack wird alle zwei Wochen abgeholt.
Verwertungsquote	Das Statistische Bundesamt Wiesbaden zeigt in der Abfallbilanz von 2011 (DESTATIS-Statistisches Bundesamt, 2013) eine Recyclingquote (stoffliche Verwertung) über die gesamten Siedlungsabfälle von 63%, von Leichtverpackungen/Kunststoffen von 81%, allerdings sind hier „hausmüllähnliche Gewerbeabfälle“ miteinberechnet. Eine andere Quelle besagt, dass heute in Deutschland rund 60% der Kunststoffabfälle verbrannt werden müssen (Europäische Kommission, 2013). Die Angabe von Recyclingquoten in Deutschland sind jedoch mit Vorsicht zu interpretieren, da als Grundgesamtheit offiziell die gesamte gesammelte Menge gilt, inklusiver Fehlwürfe und Wassergehalt, der teilweise sehr hoch ist. Betreffend Leichtverpackungen wird verschiedentlich eine bereinigte Quote der stofflichen Verwertung in der Grössenordnung von 35% genannt.

2.5.3 Verwertungssystem in Österreich

Im Österreichischen Abfallwirtschaftsgesetz (AWG) ist unter anderem auch die behördliche Aufsicht über Sammel- und Verwertungssysteme für Verpackungen durch das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW, Lebensministerium) geregelt. Die Verpackungsverordnung (VerpackVO) basiert auf dem AWG und hat zum Ziel, die Umwelt und Deponien von Verpackungsabfällen zu entlasten und die Verpackungen einer Kreislaufwirtschaft zuzuführen. In der VerpackVO sind beispielsweise die zu erreichenden Erfassungsquoten und stoffliche Verwertungsquoten festgelegt. Auch in Österreich entrichten die Unternehmen, die die Verpackungen auf den Markt gebracht haben, Lizenzentgelt an ein Sammel- und Verwertungssystem für die Entsorgung der Verpackung.

Die Altstoff Recycling Austria AG (ARA) organisiert die Sammlung, Erfassung, Sortierung und Verwertung von Verpackungen in ganz Österreich (Altstoff Recycling Austria, 2014).

Sammelsystem	Die Sammelsysteme sind regional verschieden. Beispielsweise werden in der Steiermark Altstoffe und Verpackungen sowohl im Hol- als auch im Bringsystem gesammelt. Die Leichtverpackungen werden in der gelbe Tonne/gelber Sack gesammelt. Papier und Karton sowie Papierverpackungen werden in einigen Regionen abgeholt. Für die Bringsammlung gibt es Sammelstellen und Altstoffsammelzentren. Bei diesen können zum Beispiel Papier, Glas, Verpackungsmetalle, Holz, Eisenschrott und Leichtverpackungen (Kunst- und Verbundstoffe) abgegeben werden.
--------------	--

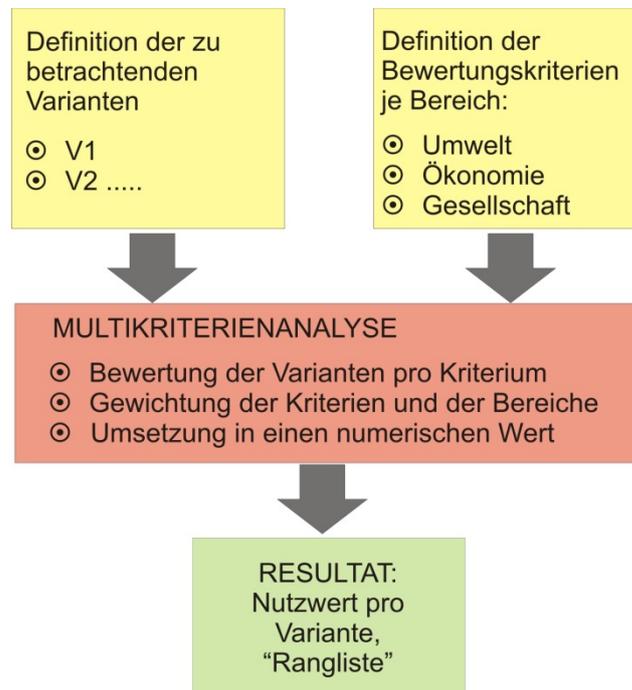
Verwertungsquote Die Verwertungsquote über die Verpackungsfraktionen Papier, Karton, Pappe, Wellpappe, Glas, Leichtverpackungen (Kunststoffe, Materialverbunde, textile Faserstoffe, Keramik, Packstoffe auf biologischer Basis), Metall und Holz beträgt gemäss Altstoff Recycling Austria AG (ARA) insgesamt mehr als 85%. Darin enthalten sind auch Gewerbe- und Industrieabfälle. Betrachtet man nur die Fraktion Leichtverpackungen, werden rund 40% stofflich und 60% energetisch verwertet (Altstoff Recycling Austria, 2014).

3 AUFBAU DER MULTIKRITERIENANALYSE

3.1 Methodik

Herkunft der Methodik	Die in der vorliegenden Studie angewandte Multikriterienanalyse basiert auf der Methode, welche im BFE-Projekt „Vorstudie für eine Methode zur Bewertung der Entsorgungs- und Nutzungsverfahren von biogenen Abfällen und Hofdünger“ (Bättig, et al., 2009) entwickelt wurde. Die Multikriterienanalyse wurde unter Anpassungen auch für das Projekt „Vergleich verschiedener Entsorgungswege des Klärschlammes aus der Region Luzern mittels Multikriterienanalyse und Ökobilanzen“ (Bättig, et al., 2011) verwendet. In der vorliegenden Studie wird diese Methode wieder angewendet.
Zusammensetzung der Multikriterienanalyse	<p>Die angewendete Multikriterienanalyse setzt sich aus drei Teilen zusammen, siehe auch (Bättig, et al., 2011):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bewertungskriterien: Durch insgesamt 13 Bewertungskriterien und den dazugehörigen Indikatoren werden die Verwertungsvarianten bewertet. Die Bewertungskriterien gliedern sich in die Bereiche Ökologie, Ökonomie und Gesellschaft. 2. Nutzenfunktionen: Die Bewertungen pro Variante werden anhand von Nutzenfunktionen in einen Nutzwert überführt. Sämtliche Nutzwerte liegen in der vorliegenden Studie für alle Kriterien innerhalb des Bereichs von 0 (=kleinster Nutzen) bis 1 (=grösster Nutzen). Durch diese Nutzwerte werden die verschiedenen Bewertungen untereinander verglichen. 3. Gewichtungsfaktoren: Jedem Kriterium wird ein bestimmter Gewichtungsfaktor zugewiesen, dessen Summe über alle Bereiche 100% ergibt. Die gewichteten Nutzwerte können gesamthaft oder für ausgewählte Bereiche summiert werden, wodurch ein Vergleich zwischen den untersuchten Verwertungsvarianten möglich wird. <p>Die Summe der gewichteten Nutzwerte je Variante ermöglicht schliesslich einen Vergleich der Verwertungsvarianten nach ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Aspekten.</p>

Abbildung 4: Darstellung der Vorgehensweise



Bewertungsebene Die Bewertung der verschiedenen Verwertungsvarianten kann auf Ebene Ausgangssubstanz (Kunststoffe) oder auf der Ebene der gewonnenen Produkte (Strom, Wärme, Klinker, Dünger, Ölprodukte) durchgeführt werden. Sowohl Menge wie auch Zusammensetzung der Ausgangssubstanz ist für alle Varianten identisch, die Produkte hingegen variieren je nach Verwertungsweg. Als Bezugsgrösse wird deshalb die jährlich anfallende Menge Kunststoff aus Verpackungen und Flaschen mit Deckel (PET-Flaschen ausgenommen) in Zentralschweizer Haushalten (18'252 Tonnen) sowie die bei der Sammlung maximal anfallende Menge Fremdstoffe (1'690 Tonnen) gewählt.

Gutschriften-Betrachtung für Produkte Alle Varianten erzeugen verschiedene Produkte (Strom, Wärme, Klinker, Kunststoff, Ölprodukte), die mittels einer Gutschriften-Betrachtung in der Bewertung berücksichtigt werden. Je nach Verwertungsweg fallen unterschiedliche Produkte an, welche in Wettbewerb mit konventionellen Produkten stehen. Beispielsweise steht die Herstellung von Kunststoff-Regranulat im Wettbewerb zur Herstellung von Primärkunststoff. Im Bereich Umwelt werden Gutschriften für identische Produkte aus konventioneller Produktion, sogenannte Standardprozesse, ermittelt. Die bei der Herstellung dieser konventionellen Produkte verursachte Umweltbelastung wird dem Verwertungsweg gutgeschrieben. In den Bereichen Gesellschaft und Ökonomie sind diese Gutschriften bereits im verwendeten Indikator enthalten.

Gemäss der in (Bättig, et al., 2009) ermittelten Methodik werden als Standardprozesse Konkurrenztechnologien auf Basis nicht erneuerbarer Energien ausgewählt, die heute alternativ zu den Verwertungsvarianten die Produkte erzeugen und als relativ umweltfreundlich gelten (siehe Tabelle 2). Wie schon in den vorgängigen Studien wird beim Strom ein mit Erdgas befeuertes, modernes Gas- und Dampfkraftwerk (GuD) Kraftwerk als Standardprozess definiert. Der Standardprozess orientiert sich an der Technologie mit den geringsten Umweltbelastungen unter den

nicht erneuerbaren Energieträgern, in diesem Fall Erdgas. Dies entspricht auch dem Ansatz von naturemade star (VUE, 2014). Müsste in der Schweiz ein neues thermisches Kraftwerk gebaut werden, so wäre dies ebenfalls ein Gas- und Dampfkraftwerk (Energiestrategie 2050) (BFE, 2013). Geht man nun davon aus, dass der Strombedarf nicht durch ein neues Kraftwerk, sondern über Importe gedeckt wird, so kann die Technologiewahl nicht beeinflusst werden. Aufgrund der heutigen Strommarktsituation ist es als realistisch einzustufen, dass anstelle von Erdgas GuD Braunkohlekraftwerke zugeschaltet werden. Diese Variante wird in einer Sensitivitätsanalyse untersucht (siehe Kapitel 7.5).

Für Wärme ab konventioneller KVA wird ein kondensierender, modulierender Erdgas-Heizkessel (Einzelheizung) und für die Wärme ab KVA Renergia der Brennstoff-Mix der Papierfabrik Perlen als Standardprozess gewählt. Mit der nahe gelegenen Papierfabrik Perlen verfügt die KVA Renergia über einen konstanten Wärmeabnehmer. Für Brennstoff wird der Brennstoff-Mix (Braunkohle, Steinkohle, Petrolkoks, Erdöl und Erdgas siehe auch Kapitel 6.2) in einem durchschnittlichen schweizerischen Zementwerk und für Kunststoff-Regranulat wird die identische Menge an Primärkunststoff als Standardprozess definiert. Das Produktöl 1 aus der Verölung ist von der Qualität und Zusammensetzung ähnlich wie Heizöl extraleicht, wohingegen das Produktöl 2 gemäss (Kilga & Wick, 2011) mit Naphtha als Standardprozess angenähert werden kann.

Tabelle 2: Definition der Standardprozesse als Ausgangslage zur Bestimmung der Gutschriften

Produkt	Standardprozess für das Ermitteln der Gutschriften
Strom	1 kWh Strom aus einem modernen Gas- und Dampfkraftwerk, Brennstoff Erdgas
Wärme ab Renergia	0.8 MJ Wärme aus einer kondensierenden und modulierenden Erdgasfeuerung und 0.2 MJ Wärme aus einer mit Schweröl betriebenen Schwerölfeuerung (Brennstoffmix Papierfabrik Perlen)
Wärme ab konventioneller KVA	1 MJ Wärme aus einer kondensierenden und modulierenden Erdgasfeuerung
Kunststoff-Regranulat	0.95 kg Polyethylene (HDPE) und 0.05 kg Polypropylene (PP)
Brennstoff/Klinker	1 MJ Brennstoff-Mix in Zementwerk Durchschnitt Schweiz
Produktöl 1	1 kg Heizöl Extraleicht
Produktöl 2	1 kg Naphtha

3.2 Bewertungskriterien und Indikatoren im Überblick

In folgender Tabelle sind die Kriterien, Indikatoren und Einheiten der entsprechenden Bereiche aufgeführt. Die Bewertungskriterien werden im Kapitel 3.4 erläutert. Die ordinalen Skalen dienen der Rangierung von Merkmalen oder Variablen, zwischen denen eine natürliche Rangordnung besteht (z.B. gross, mittel, klein).

Tabelle 3: Übersicht Bewertungskriterien, Indikatoren und Einheiten

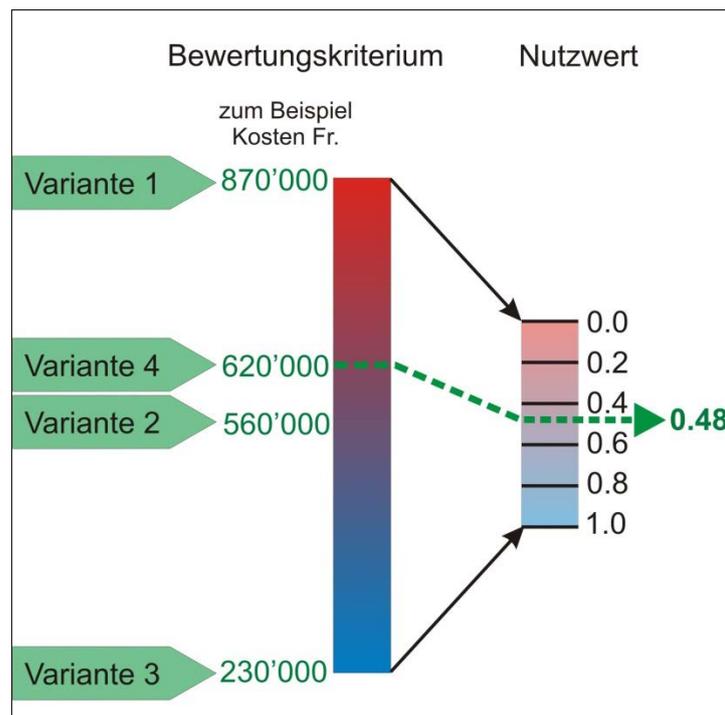
Kriterium		Indikator	Einheit
Bereich Umwelt			
U1	Klimaänderung	Treibhauspotenzial	t CO ₂ eq/Variante
U2	Schonung nicht erneuerbarer Energieträger	Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbare Energieträger	TJ Öl-eq/Variante
U3	Ökotoxizität	Ökotoxizitätspotenzial	CTUe/Variante
U4	Atemwegserkrankungen	Partikel und Vorläufersubstanzen	t PM10-eq/Variante
U5	Sommersmog	Photochemisches Oxidationspotential	t NMVOC/Variante
U6	Deponierte Abfälle (UTD & EL)	Volumen deponierter Abfälle in Untertagedeponie (UTD) und in die Endlager radioaktiver Abfälle (EL)	m ³ /Variante
U7	Methode der ökologischen Knappheit 2013	Gesamtumweltbelastung	Mio UBP 13/Variante
Bereich Ökonomie			
O1	Entsorgungskosten	Entsorgungskosten	CHF/t
O2	Minimierung des wirtschaftlichen Risikos	Erwartete Preis-Volatilität Edukte & Produkte	ordinale Skala
O3	Entsorgungssicherheit	(1) Risiko des Ausfalls des Entsorgungsweges	ordinale Skala
		(2) Ausweichmöglichkeit auf analoge alternative Entsorgungswege	ordinale Skala
Bereich Gesellschaft			
G1	Lokale Akzeptanz durch Beeinträchtigungen	(1) Geruchsemissionen	ordinale Skala
		(2) Lärm durch Schwerverkehr	km/a
G2	Gesellschaftliche Akzeptanz	Einstellung gegenüber dem Entsorgungsweg	ordinale Skala
G3	Komfort der Sammlung	Bewertung der Handhabbarkeit eines alternativen Sammelsystems für die Bevölkerung	ordinale Skala

3.3 Nutzwerte und Gewichtung

3.3.1 Nutzenfunktion

Nutzwerte In der vorliegenden Studie wird der Nutzen auf eine Skala zwischen 0 (= kleinster Nutzen, negativste Bewertung) und 1 (=grösster Nutzen, vorteilhafteste Bewertung) umgerechnet. Pro Bewertungskriterium wird ein Nutzwert ermittelt.

Abbildung 5: Beispiel Nutzenfunktion



Nutzwerte Bereich Umwelt Im Bereich Umwelt sind sämtliche Nutzwerte der Umweltkriterien so bestimmt, dass diejenige Variante, welche die höchsten Umweltbelastungen verursacht, den tiefsten Nutzwert (0 Punkte) und diejenige Variante, welche die tiefsten Umweltbelastungen verursacht, den höchsten Nutzwert (1 Punkt) erhält. Mit abnehmender Umweltbelastung steigt die Punktzahl linear zwischen den höchsten und tiefsten Belastungen.

Nutzwerte Bereich Ökonomie Im Bereich Ökonomie, Kriterium O1 "Entsorgungskosten" ergeben die höchsten Entsorgungskosten pro Variante den niedrigsten Nutzwert, also 0 Punkte. Mit abnehmenden Kosten steigt die Punktzahl, gleich wie beim Bereich Umwelt, linear zwischen den höchsten und tiefsten Kosten an.

Beim Kriterium O2 "Erwartete Preis-Volatilität" wird dem grössten Schwankungsbereich der Preise der tiefste Nutzwert zugeordnet. Die weiteren Kriterien werden durch Expertenschätzungen auf einer ordinalen Skala ermittelt.

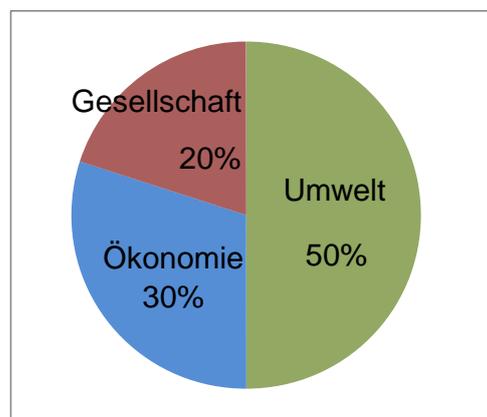
Nutzwerte Bereich Gesellschaft Im Bereich Gesellschaft werden die Nutzwerte des Kriteriums G1.2 "Lärm durch Schwerverkehr" so bestimmt, dass diejenige Variante, die den grössten Mehrverkehr durch Schwerverkehr verursacht, die tiefsten Nutzwertpunkte erreicht.

Für die Bewertungskriterium G2 "Gesellschaftliche Akzeptanz" wird eine im Auftrag von REAL durchgeführte Bevölkerungsumfrage/Bedürfnisanalyse (GfK Switzerland AG, 2014) als Grundlage verwendet (vgl. Kapitel 3.4.3). Die Nutzwerte der weiteren Kriterien im Bereich Gesellschaft werden durch Expertenschätzungen auf einer ordinalen Skala ermittelt.

3.3.2 Gewichtung der Bereiche Umwelt, Gesellschaft und Ökonomie

Die Gewichtung der drei Bereiche Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft und der Bewertungskriterien wurde vom Fachbeirat wie folgt festgelegt:

Abbildung 6:
Gewichtung der Bereiche
Umwelt, Ökonomie,
Gesellschaft



Der Bereich Umwelt erhält das grösste Gewicht, weil bei Entsorgungs- und Verwertungsanlagen die Schonung von Ressourcen und die Vermeidung von Umweltauswirkungen eine zentrale Rolle spielen. Dies steht auch im Einklang mit der schweizerischen Umweltpolitik. Der Teil Ökonomie wird dabei im Sinne des Umweltschutzgesetzes derart berücksichtigt, dass Massnahmen wirtschaftlich tragbar sein sollen. Die Massnahmen stehen dabei im Vordergrund, was als Begründung herangezogen werden kann, dass der Bereich Umwelt höher zu gewichten ist als der Bereich Ökonomie.

Die relativ hohe Gewichtung des Bereichs Umwelt wurde durch eine Betrachtung der volkswirtschaftlichen Kosten für die CO₂-Einsparung (siehe Anhang 7) indirekt bestätigt, indem der Nutzen für die Umwelt für die Bestvarianten vergleichbar zu Klimaschutzprojekten ist.

Weitere Gewichtungsvarianten werden als Sensitivitätsbetrachtungen im Kapitel 7.2 behandelt.

3.3.3 Gewichtung der Kriterien innerhalb der Bereiche

Die einzelnen Bewertungskriterien werden wie folgt gewichtet:

Tabelle 4: Gewichtung der einzelnen Bewertungskriterien

Bereich Umwelt				
U1	Klimaänderung	Treibhauspotential nach IPCC	25%	50%
U2	Schonung nicht erneuerbarer Primärenergieträger	Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbare Energieträger	15%	
U3	Ökotoxizität	Ökotoxizitätspotential	15%	
U4	Atemwegserkrankungen	Partikel und Vorläufersubstanzen	15%	
U5	Sommersmog	Photochemisches Oxidationspotential	15%	
U6	Deponierte Abfälle (UTD & EL)	Volumen deponierter Abfälle in UTD und EL	15%	
			100%	
Bereich Ökonomie				
O1	Entsorgungskosten	Entsorgungskosten pro Jahr	60%	30%
O2	Minimierung des wirtschaftlichen Risikos	Erwartete Preis-Volatilität Edukte & Produkte	20%	
O3	Entsorgungssicherheit	O3.1 Risiko des Ausfalls des Entsorgungsweges	10%	
		O3.2 Ausweichmöglichkeit auf analoge, alternative Anlage	10%	
			100%	
Bereich Gesellschaft				
G1	Lokale Akzeptanz durch Beeinträchtigungen	G1.1 Geruchsemissionen	12.5%	20%
		G1.2 Lärm durch Schwerverkehr	12.5%	
G2	Gesellschaftliche Akzeptanz	Einstellung gegenüber dem Entsorgungsweg	50%	
G3	Individueller Komfort der Sammlung	Bewertung der Handhabbarkeit/Veränderung	25%	

Die Gewichtung im Bereich Umwelt wurde aufgrund ihrer Relevanz im aktuellen gesellschaftlichen Kontext festgelegt.

In den Bereichen Ökonomie und Gesellschaft wurde die Gewichtung im Fachbeirat besprochen und festgelegt. Bei der Festlegung stand die Bedeutung der Kriterien für die Öffentlichkeit im Vordergrund.

Weitere Gewichtungsvarianten werden im Kapitel 7.2 behandelt.

3.4 Bewertungskriterien im Detail

3.4.1 Bewertungskriterien Bereich Umwelt

Die Bewertung im Bereich Umwelt zeigt, welche Variante aus ökologischer Sicht die geringsten Belastungen verursacht. Tabelle 5 gibt einen Überblick der berücksichtigten Kriterien, den zugehörigen Indikatoren, deren Einheit und der Datenquellen. Das Kriterium U1 Klimaänderung hat eine Gewichtung von 25%. Die übrigen Kriterien U2 bis U6 erhalten jeweils ein Gewicht von 15%.

Die Indikatoren U1 bis U5 sind klassische Indikatoren, die in Ökobilanzierungen breite Anwendung finden und nach Einschätzung der Autoren im Bereich Entsorgung wesentliche Umweltauswirkungen verursachen. Der Indikator U6 wurde hinzugezogen, um den Abfällen, welche in einer Untertagedeponie (Rückstände einer KVA) entsorgt werden, sowie den radioaktiven Abfällen, die bei der Stromnutzung anfallen, Rechnung zu tragen. Diese Rückstände werden in den Indikatoren U1 bis U5 nicht berücksichtigt. In einer KVA mit trockener Rauchgasreinigung, wie die Renergia, fallen andere feste Rückstände an als auf einer Anlage mit nasser Rauchgasreinigung (siehe Kapitel 2.4.3). Da ein möglichst umfassendes Bild der Umweltbelastungen gezeigt werden soll, wurden deshalb die Abfälle, welche in einer Untertagedeponie (UTD) entsorgt werden, hinzugenommen.

In vorliegender Studie wird U6 mit 15% gewichtet, obwohl die Menge an Rückständen, die in einer UTD deponiert wird, im Vergleich zu anderen Rückständen, welche anderweitig entsorgt werden müssen, relativ gering ist. Da dies einer eher konservativen Gewichtung entspricht wurde das andere Extrem (Gewichtung U6 mit 0%) in einer Sensitivitätsanalyse ebenfalls berücksichtigt (siehe Kapitel 7.5). In einer weiteren Sensitivitätsanalyse (siehe Kapitel 7.4) wird anstelle der Indikatoren U1 bis U6 ein umfassender Indikator, namentlich die Methode der ökologischen Knappheit (U7), angewendet.

Tabelle 5: Definition der Bewertungskriterien im Bereich Umwelt

Bereich Ökologie				
Kriterium		Indikatoren	Einheit	Quelle
U1	Klimaänderung	Treibhauspotenzial	t CO ₂ eq/Variante	IPCC 2013, Zeithorizont 100a
U2	Schonung nicht erneuerbarer Energieträger	Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbare Energieträger	TJ Öl-eq/Variante	Frischknecht et al 2007
U3	Ökotoxizität	Ökotoxizitätspotenzial	CTUe/Variante	Henderson et al 2011, ecotoxicity recommended
U4	Atemwegserkrankungen	Partikel und Vorläufersubstanzen	t PM10-eq/Variante	Goedkoop et al. 2009
U5	Sommersmog	Photochemisches Oxidationspotential	t NMVOC/Variante	Goedkoop et al. 2009
U6	deponierte Abfälle (UTD & EL)	Volumen deponierter Abfälle in Untertagedeponie (UTD) und radioaktive Endlager (EL)	m ³ /Variante	
U7	Methode der ökologischen Knappheit 2013	Umweltbelastungspunkte	Mio. UBP 13/Variante	Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013

Die Nutzwerte werden für alle Umweltindikatoren in derselben Weise bestimmt. Diejenige Variante, welche die höchsten Umweltbelastungen bedingt, erhält den tiefsten Nutzwert (0 Punkte), diejenige Variante welche die tiefsten Umweltbelastungen verursacht den höchsten Nutzwert (1 Punkt). Aufgrund der Gutschriftenbeurteilung können negative Umweltbelastungen entstehen, dies weil die Gutschriften teilweise höher sind als die Belastungen. Zum Beispiel ist der kumulierte Energieaufwand (U2) für die Gutschriften der Strom- und Wärmegewinnung einer KVA grösser als der kumulierte Energieaufwand, welche die Verbrennung von Kunststoff in dieser KVA verursacht, womit ein negativer kumulierter Energieaufwand entsteht. Zwischen der höchsten und niedrigsten Umweltbelastung wird linear interpoliert. Die höchsten und tiefsten Umweltbelastungen pro Indikator sind im Folgenden aufgestellt.

a Klimaänderung (U1)

Die globale Erwärmung und der gleichzeitige Anstieg des Meeresspiegels dürften durch die menschlich verursachte Verstärkung des Treibhauseffektes mitverursacht sein (IPCC, 2013). Der Indikator Klimaänderung berücksichtigt alle Treibhausgas-Emissionen gemäss den Treibhauspotenzialen (GWP) aus (IPCC, 2013). Verwendet wird ein Zeithorizont von 100 Jahren.

U1	Klimaänderung	t CO ₂ eq/Variante	0 Punkte	1 Punkt
			27'206	-11'864

b Schonung nicht erneuerbarer Energieträger (U2)

Die Schonung nicht erneuerbarer Energieträger wird durch den Indikator kumulierter Energieaufwand, auch Primärenergieaufwand genannt, erfasst. Die Bereitstellung von Endenergie benötigt selbst Energie. Energie wird benötigt, um die Energie zu gewinnen, umzuwandeln, zu raffinieren, zu transportieren und zu verteilen, sowie bei allen Vorgängen, die erforderlich sind, um die Energie dem Gebäude oder dem Fahrzeug, das sie verbraucht, bis zum Bilanzperimeter zuzuführen. Der Primärenergieaufwand widerspiegelt den Input an Primärenergieressourcen (Erdgas, Rohöl, Steinkohle, Braunkohle, Uran, Biomasse, Wasserkraft etc.), welche für die Bereitstellung der Endenergie (Brennstoffe, Treibstoffe, Strom, Fernwärme) nötig sind. Der Primärenergieaufwand wird am Ort der Gewinnung gemessen. Der nicht erneuerbare Primärenergieaufwand von 1 Liter Benzin beispielsweise entspricht dem Heizwert der Menge Rohöl, welches dafür in der Nordsee, in Nordafrika, im Nahen Osten und andernorts gefördert wird.

Es wird nur der nicht erneuerbare Anteil (fossile und nukleare Energieträger) des Primärenergieaufwands gezeigt, gemäss der Implementierung nach (Frischknecht, et al., 2007b). Es zeigt sich, dass in allen Varianten die Gutschriften höher sind als die Belastungen. Deshalb resultieren durchwegs negative Ergebnisse.

U2	Schonung nicht erneuerbarer Energieträger	TJ Öl-eq/Variante	0 Punkte	1 Punkt
			-444	-904

c Ökotoxizität (U3)

Es gibt eine Vielzahl von Indikatoren zur Quantifizierung der ökotoxischen Auswirkungen auf die Ökosysteme Böden, Meere, Sedimente, etc. Hier wird der USEtox Indikator (Henderson, et al., 2011) zur Abbildung der Ökotoxizität verwendet. USEtox quantifiziert die Auswirkungen von Emissionen von Chemikalien auf Ökosysteme. Die Methode wurde von namhaften internationalen Wissenschaftlern unter der Schirmherrschaft der UNEP entwickelt und entspricht dem aktuellsten Stand der Erkenntnisse.

U3	Ökotoxizität	CTUe/Variante	0 Punkte	1 Punkt
			146	-15863

d Atemwegserkrankungen (U4)

Die Atemwegserkrankungen werden mit primären und sekundären Partikeln und den damit verbundenen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, wie Atemwegserkrankungen, beschrieben (Goedkoop, et al., 2009). Als primäre und sekundäre Partikel werden Feinstaub, Stickoxide, Ammoniak und Schwefeloxide bewertet. Es zeigt sich, dass in allen Varianten die Gutschriften höher sind als die Belastungen. Deshalb resultieren durchwegs negative Ergebnisse.

U4	Atemwegserkrankungen	t PM10-eq/Variante	0 Punkte	1 Punkt
			-2	-19

e Sommersmog (U5)

Als Sommersmog wird die bodennahe Belastung durch Ozon (O₃) bezeichnet. Bodennahe Ozon entsteht aus Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen in Verbindung mit UV-Strahlung. Die photochemische Ozonbildung spielt in der Schweiz in den Sommermonaten eine wichtige Rolle. Mit diesem Kriterium werden die Vorläufersubstanzen Stickoxide und Kohlenwasserstoffe hinsichtlich ihrer Ozonbildung bewertet gemäss (Goedkoop, et al., 2009).

Es zeigt sich, dass in allen Varianten die Gutschriften höher sind als die Belastungen. Deshalb resultieren durchwegs negative Ergebnisse.

U5	Sommersmog	t NMVOC/Variante	0 Punkte	1 Punkt
			-13	-69

f Deponierte Abfälle (Untertagedeponie & Endlager radioaktive Abfälle) (U6)

Die Verwertung des Kunststoffs soll die Menge der zu deponierenden Abfälle nicht erhöhen, sondern bestenfalls reduzieren. Die zu bewertende Grösse enthält die Volumen, welche in die Untertagedeponie (UTD) und in die Endlager radioaktiver Abfälle (EL) deponiert werden. Für andere Deponietypen werden die Belastungen über die Emissionen in Oberflächengewässer, Grundwasser, Luft und Boden erfasst. Die Belastungen eines Schlackenkompartimentes in einer Deponie werden demnach nicht über ihr Volumen, sondern über ihre Emissionen erfasst und über andere Indikatoren, im vorliegenden Fall über die Ökotoxizität und die Methode der ökologischen Knappheit, bewertet.

Über 99 % der Belastungen dieses Indikators stammen von den in die UTD deponierten Rückständen. Die Bedeutung der Endlager ist bei den hier untersuchten Varianten sehr gering.

U6	deponierte Abfälle (UTD & EL)	m ³ /Variante	0 Punkte	1 Punkt
			53	23

g Methode der ökologischen Knappheit 2013 (U7)

Alternativ zu den oben genannten Bewertungskriterien U1 bis U6 wird der Bereich Umwelt mit einem umfassenden Kriterium U7 bewertet. Die Methode der ökologischen Knappheit 2013 (UBP-Methode, (Frischknecht & Büsser Knöpfel, 2013)) orientiert sich an gesetzlich oder politisch festgelegten Umweltzielen der Schweiz und wird von zahlreichen Schweizer Unternehmen eingesetzt. Dabei werden die aktuellen Emissionen ins Verhältnis zu den angestrebten Emissionen, welche meist deutlich tiefer sind, gesetzt. Dieses Verhältnis bildet im Wesentlichen die Grundlage der Bewertung der Schadstoffe und Ressourcen. Da diese Methode sämtliche anderen Umweltindikatoren (U1 bis U6) ersetzt ist keine Gewichtung innerhalb des Bereichs Umwelt nötig bzw. erhält die Methode die Gewichtung von 1 oder 100% innerhalb des Bereichs Umwelt.

U7	Methode der ökologischen Knappheit 2013	Mio. UBP 13/Variante	0 Punkte	1 Punkt
			12'684	-7'254

3.4.2 Bewertungskriterien Bereich Ökonomie

Bei der Bewertung der ökonomischen Kriterien steht die Frage im Zentrum, wie die Kunststoffabfälle gesamtwirtschaftlich optimal einer Verwertung zugeführt werden können. Die drei Kriterien Entsorgungskosten, Minimierung des wirtschaftlichen Risikos und die Entsorgungssicherheit werden unter einer gesamtwirtschaftlichen Betrachtungsweise zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit verwendet. Das Kriterium O1 Entsorgungskosten hat eine Gewichtung von 60%. Das Kriterium O2 Minimierung des wirtschaftlichen Risikos wird mit 20% und die beiden Kriterien O3.1 und O3.2 Entsorgungssicherheit werden mit je 10% gewichtet.

In folgender Tabelle sind die ökonomischen Kriterien, die Indikatoren, die Einheiten sowie die Quellen der verwendeten Daten aufgeführt. Nachfolgend werden die einzelnen Kriterien und Nutzwertfunktionen detailliert beschrieben.

Tabelle 6: Kriterien Bereich Ökonomie

Bereich Ökonomie				
Kriterium		Indikatoren	Einheit	Quelle
O1	Entsorgungskosten	Mehrkosten pro Jahr für Separatsammlung	CHF/a	Angaben Renergia, REAL, Sortier- und Verwertungsunternehmen, Erfahrungswerte aus vergleichbaren Projekten
O2	Minimierung des wirtschaftlichen Risikos	Erwartete Preis-Volatilität der Edukte & Produkte	ordinale Skala	aktuelle Marktpreise, Expertenschätzung
O3.1	Entsorgungssicherheit	Risiko des Ausfalls eines Entsorgungsweges	ordinale Skala	Expertenschätzung
O3.2	Entsorgungssicherheit	Ausweichmöglichkeit auf alternative, analoge Entsorgungsanlage	ordinale Skala	Expertenschätzung

a Entsorgungskosten (O1)

Betrachtung der Mehrkosten

In der vorliegenden Studie werden die Kosten aus Sicht jener Institutionen betrachtet, welche die Separatsammlungen ausführen und finanzieren. In der Zentralschweiz sind dies die Abfallverbände oder die Gemeinden. Massgebend sind die Mehrkosten gegenüber dem System das ab 2015 operationell wird (Referenzsystem): Es ist dies die Holsammlung der Kunststoffabfälle zusammen mit dem Kehricht, energetische Verwertung in der neuen Anlage der Renergia in Perlen.

Zusammensetzung Entsorgungskosten

Die Entsorgungskosten setzen sich aus den Sammelkosten für das jeweilige Sammelsystem, den Transportkosten innerhalb des Systems, sofern nicht schon in den Sammelkosten enthalten, den Verwaltungskosten innerhalb des Systems und den Annahmekosten, resp. Annahmevergütungen zusammen. Ausserdem werden die Mindererlöse bei den Mengengebühren, resp. Kostenausfälle für die entspre-

chenden Varianten ebenfalls in die Berechnung einbezogen. Die Entsorgungskosten werden einerseits für die Gesamttonnagen Zentralschweiz pro Jahr und andererseits spezifisch pro Tonne gesammelten Kunststoff berechnet. Die Investitionskosten werden in die Tonnenpreise mit eingerechnet.

Berechnungsgrundlage
n

Als Berechnungsgrundlage dienen die verschiedenen Quellen REAL, Renergia, Sortier- und Verwertungsanlagen in der Schweiz und im Ausland und ein durchschnittliches Schweizerisches Zementwerk.

Gebühren für die
Separatsammlung

In Abstimmung mit dem Fachbeirat wurde festgelegt, dass die Separatsammlung von Kunststoffen für die Endkunden kostenlos sein soll. Bei einer gebührenpflichtigen Sammlung würden die Mengen zu gering sein um ein Holsystem sinnvoll betreiben zu können und auch der Umweltnutzen wäre gering, da der Grossteil der Kunststoffabfälle nach wie vor im Kehrichtsack entsorgt würden.

O1	Mehrkosten pro Jahr für Separatsammlung	0 Punkte	1 Punkt
		10'157'708 CHF/a	0 CHF/a

Die höchsten Entsorgungskosten pro Jahr (Mehrkosten für die gesammelte Menge Kunststoff pro Jahr) ergeben den tiefsten Nutzwert (0 Punkte), die tiefsten Entsorgungskosten, respektive keine Mehrkosten erhalten den höchsten Nutzwert (1 Punkt). Zwischen den maximalen und minimalen Entsorgungskosten steigt die Punktzahl linear mit abnehmenden Kosten an.

b Minimierung des wirtschaftlichen Risikos (O2)

Die Preisschwankungen der Sekundärkunststoffe werden in diesem Kriterium bewertet. Je höher die Schwankungen für die separat gesammelte Menge Kunststoffe sind, desto höher ist das wirtschaftliche Risiko und desto tiefer sind die entsprechenden Nutzwerte. Wenn keine grossen Schwankungen der Preise zu erwarten sind, so sinkt das wirtschaftliche Risiko, was der Variante mehr Nutzwerte zuschreibt.

O2	Erwartete Preis-Volatilität der Edukte & Produkte	0 Punkte	1 Punkt
		1'587'530 CHF/a	0 CHF/a

c Entsorgungssicherheit (O3)

O3.1 Risiko des Ausfalls eines Entsorgungsweges

Bei diesem Kriterium wird bewertet, ob die Verwertungstechnologie bereits über längere Zeit erprobt und ausgereift ist oder ob es sich um eine junge, unsichere Technologie handelt. Falls die Technik des Entsorgungsweges etabliert ist, so sinkt das Risiko eines Ausfalls dieses Entsorgungsweges oder der Technologie, was dieser Variante einen hohen Nutzwert zuschreibt. Umgekehrt werden wenig erprobte Technologien mit wenigen Nutzwerten bestraft, da das Ausfallrisiko steigt.

O3.1	Risiko des Ausfalls eines Entsorgungsweges	0 Punkte	0.25	0.5	0.75	1 Punkt
		Grosses Risiko				Kein Risiko

O3.2 Ausweichmöglichkeit auf alternative Entsorgungswege

In diesem Kriterium wird bewertet, wie hoch der Aufwand ist, um von einem Entsorgungsweg auf einen analogen, alternativen zu wechseln. Wesentlich dabei ist, dass es ein analoger Entsorgungsweg und eine analoge Entsorgungstechnologie sein muss. Beispielsweise darf nicht von einer werkstofflichen Verwertung (Produktion von Regranulat) auf eine KVA oder ein Zementwerk ausgewichen werden. Von einer Verölungsanlage muss beispielsweise auf eine analoge Anlage ausgewichen werden.

O3.2	Ausweichmöglichkeit auf alternative, analoge Entsorgungsanlage	0 Punkte	0.25	0.5	0.75	1 Punkt
		Keine Ausweichmöglichkeit oder sehr grosse Kosten oder Anpassungen für Ausweichung				Ausweichmöglichkeit gegeben, unproblematisch

3.4.3 Bewertungskriterien Bereich Gesellschaft

Im Bereich Gesellschaft geht es um die Klärung der Frage, wie die Verwertungsvarianten von der Gesellschaft betreffend Akzeptanz eingestuft werden. Es werden folgende Teilkriterien untersucht:

- Lokale Akzeptanz durch Beeinträchtigungen (G1), gemessen mit den Indikatoren (1) Geruchsemissionen und (2) Lärm durch Schwerverkehr
- Gesellschaftliche Akzeptanz allgemein (G2)
- Komfort der Sammlung (G3)

Grundsätzlich sind für den Bereich Gesellschaft oder auch für jedes Individuum Treiber und Hemmer für eine zusätzliche Separatsammlung wichtig:

Treiber	ökologischer Gedanke, gutes Gewissen
	monetäre Einsparnisse durch Wegfall der Sackgebühren
Hemmer	zusätzlicher Sammelsack im Haushalt (Platzproblem)
	Bewirtschaftung der zusätzlichen Sammlung
	Geruchsproblematik

Bewertungsgrössen Das Kriterium gesellschaftliche Akzeptanz (G2), welches innerhalb des Bereichs Gesellschaft das grösste Gewicht bekommt, wird aufgrund der Bedürfnisumfrage von REAL bewertet (GfK Switzerland AG, 2014), die im Juni 2014 durchgeführt wurde. Befragt wurden 1118 repräsentativ ausgewählte Haushalte.

Die Kriterien Geruchsemissionen (G1.1) und Komfort der Sammlung (G3) basieren auf Expertenschätzungen. Das Kriterium G1.2 Lärm wird durch den pro Variante induzierten Schwerverkehr (Sammelfahrzeuge und LKW) anhand der Distanzangaben aus der Ökobilanz berechnet.

Die Kriterien G1.1 und G1.2 lokale Beeinträchtigungen durch Geruch und Lärm werden mit je 12.5%, das Kriterium G2 gesellschaftliche Akzeptanz mit 50% und das Kriterium G3 Sammelkomfort mit 25% gewichtet.

In folgender Tabelle sind die Kriterien, die Indikatoren, die Einheiten und die Quellenangaben aufgelistet. Anschliessend werden die Kriterien und Nutzenfunktionen detailliert beschrieben.

**Tabelle 7: Kriterien
Bereich Gesellschaft**

Bereich Gesellschaft				
Kriterium		Indikatoren	Einheit	Quelle
G1.1	Lokale Akzeptanz durch Beeinträchtigungen	(1) Geruchsemissionen	ordinale Skala	Expertenschätzung
G1.2	Lokale Akzeptanz durch Beeinträchtigungen	(2) Lärm durch Schwerverkehr [km/a]	km/a Lastwagen	Daten aus Ökobilanzierung
G2	Gesellschaftliche Akzeptanz	Einstellung gegenüber Entsorgungsweg	ordinale Skala	Bedürfnisumfrage
G3	Komfort der Sammlung	Bewertung der Handhabbarkeit eines alternativen Sammelsystems für die Bevölkerung	ordinale Skala	Expertenschätzung

a Lokale Akzeptanz durch Beeinträchtigungen (G1)

G1.1 Geruchsemissionen

Der Indikator zu G1.1 "Geruchsemissionen" bewertet die Grösse Geruchsemissionen, die im Verlaufe eines Verwertungswegs entstehen. Je grösser die Geruchsemissionen, desto kleiner wird die Akzeptanz betroffener Personen gegenüber eines Entsorgungsweges und desto weniger Nutzwertpunkte bekommt die entsprechende Variante. Die direkten Geruchsemissionen beeinflussen die lokale Akzeptanz der Bevölkerung.

Die Bewertung basiert auf zwei Kriterien: Einerseits wird unterschieden zwischen starken, leichten und keinen Geruchsemissionen und andererseits, ob viele, wenige oder keine Personen davon betroffen sind. Es wird nur der „Mehrgeruch“, der durch die Separatsammlung entsteht, bewertet. Die Geruchsemissionen der Separatsammlung im Haushalt direkt wird im Kriterium G3 Komfort der Sammlung einbezogen.

G1.1	Geruchsemissionen	0 Punkte	0.33 Punkte	0.66 Punkte	1 Punkt
		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

Erläuterungen zu den Nutzwertpunkten der Varianten

Varianten 0a (Renergia) und 0b (konventionelle KVA): Bei diesen Varianten entstehen keine Mehremissionen durch eine neue Separatsammlung, weshalb diese Varianten 1 Nutzwertpunkt erhalten.

Variante 1a (Holsammlung Hohlkörper): Durch die Bereitstellung der Sammelsäcke entstehen leichte Mehremissionen, falls die Säcke analog zu den Kehrichtsäcken entsprechend verschlossen/verschnürt werden. Es sind allerdings viele Personen

von diesen Emissionen betroffen. Daher wird diese Variante mit 0.33 Punkten bewertet.

Variante 1b (Bringsammlung Hohlkörper): Bei dieser Variante bringen die Leute die Hohlkörper in verschiedenen Behältern zur Sammelstelle. Durch die längeren Lagerungszeiten auf den Sammelstellen entstehen starke Geruchsemissionen (z.B. durch Milchflaschen). Allerdings sind weniger Personen davon unmittelbar betroffen als bei einer Bereitstellung, resp. einer Holsammlung, nämlich das Personal der Sammelstelle und die Personen, die das Sammelgut zur Sammelstelle bringen. Diese Variante erhält dadurch ebenfalls 0.33 Punkte.

Alle Holsammlungen Mischkunststoffe (Varianten 2, 3a und 4): Durch die Bereitstellung der Mischkunststoffe zur Abholung entstehen Mehremissionen, die aber eher gering sind, da die Säcke verschlossen sind.. Diese Mehremissionen betreffen viele Personen. Diese Varianten werden deshalb mit 0.33 Punkten bewertet.

Bringsammlung Mischkunststoffe (Variante 3b): Bei dieser Variante bringen die Leute die Mischkunststoffe in verschiedenen Behältern zur Sammelstelle. Durch die längeren Lagerungszeiten entstehen starke Geruchsemissionen. Allerdings sind weniger Personen davon unmittelbar betroffen als bei einer Bereitstellung, resp. einer Holsammlung. Diese Variante erhält dadurch auch 0.33 Punkte.

G1.2 Lärm durch Verkehr

Mit dem Indikator zu G1.2 "Lärm durch Verkehr" wird bewertet, wie stark die Bevölkerung durch den Lärm des Schwerverkehrstransportes innerhalb der Systemgrenzen betroffen ist. Je grösser das zusätzliche Verkehrsaufkommen für die Separatsammlung, d.h. je mehr Lastwagenkilometer pro Variante gefahren werden müssen, desto kleiner ist die lokale Akzeptanz der betroffenen Bevölkerung gegenüber dieser Verwertungsvariante.

Dieser Indikator wird mit der Einheit Lastwagenkilometer pro Jahr (km/a) für die entsprechende Kunststoffabfallmenge pro Variante berechnet. Angaben zu den verwendeten Distanzen stützen sich auf die Angaben der Ökobilanzierung und finden sich in Anhang 5.

G1.2	Lärm durch Schwerverkehr [km/a]	0 Punkte	1 Punkt
		383'000	80'000

b Gesellschaftliche Akzeptanz (G2)

Bedürfnisanalyse 2014

REAL hat im Juni/Juli 2014 eine Bedürfnisanalyse (GfK Switzerland AG, 2014) durchführen lassen, in der die Bevölkerung (1118 Personen) der Stadt Luzern und der angrenzenden Gemeinden rund um das Thema Entsorgung umfassend befragt wurde. Teil der Umfrage war auch das Thema Separatsammlung von Kunststoff aus Haushalten. Dazu wurden folgende Fragen gestellt:

- *Angenommen REAL führt eine Separatsammlung für Kunststoffabfälle ein. Wären Sie grundsätzlich bereit, Kunststoffabfälle bei Ihnen im Haushalt separat zu sammeln? (F28)*
- *Was würden Sie persönlich bevorzugen, die Kunststoffabfälle zur Entsorgung zu bringen oder, dass REAL diese bei Ihnen zu Hause abholt? (F30)*
- *Welche Art von Kunststoffabfällen würden Sie in Ihrem Haushalt separat sammeln? (F31)*
- *Es gibt verschiedene Möglichkeiten Kunststoffabfälle zu verwerten. Zum Beispiel in einer Kehrichtverbrennungsanlage mit Energienutzung, in einem Zementwerk, man macht Öl daraus oder schmilzt den Kunststoff wieder ein. Ich lese Ihnen jetzt fünf Möglichkeiten vor, wie Kunststoffabfälle konkret verwertet werden können. Bitte geben Sie auf einer Skala von 1 bis 10 an, wie sehr Sie diesen Möglichkeiten der Verwertung zustimmen, d.h. welche Möglichkeit Sie bevorzugen. 1 bedeutet "Stimme überhaupt nicht zu" und 10 bedeutet "Stimme voll und ganz zu". (F32)*

In untenstehenden Tabelle sind die Ergebnisse zu entsprechenden Fragen und die möglichen Antworten zusammengefasst. Die ebenfalls mögliche Antwort „weiss nicht“ wird für die Bewertung nicht verwendet.

Bewertungsvorgang Um die Antworten auf die Fragen in das System der Multikriterienanalyse einrechnen zu können, werden den prozentualen Anteilen der Antworten Punkte zugeordnet. Diese Punkte werden dann pro Variante summiert und durch Anzahl Werte dividiert. Die dadurch entstehenden Nutzwerte werden für die Berechnung der gesamten Nutzwerte pro Variante zusammengesetzt.

Abbildung 7: Auswertungstabelle mit zugeordneten Nutzwertpunkten

Frage	mögliche Antworten	gewählte Antworten in %		Nutzwertpunkte
		A1	A2	
F28: Wären Sie grundsätzlich bereit, Kunststoffabfälle bei Ihnen im Haushalt separat zu sammeln?	F28-1 Ja	88%	-	0.88
	F28-2 Nein	13%	-	0.12
F30: Was würden Sie persönlich bevorzugen, die Kunststoffabfälle zur Entsorgung zu bringen oder, dass REAL diese bei Ihnen zu Hause abholt?	F30-1: Bringsammlung zu Ökihof	25%	-	0.25
	F30-2: Bringsammlung zu Detailhandel	35%	-	0.35
	F30-3: Holsammlung durch REAL	39%	-	0.39
F31: Welche von den folgenden Kunststoffabfällen würden Sie in Ihrem Haushalt separat sammeln?	F31-1: Alle Kunststoffverpackungen	72%	-	0.72
	F31-2: Nur Kunststoffflaschen	27%	-	0.27
		Stimme zu (8-10)	Stimme nicht zu (1-5)	
F32: Bitte geben Sie auf einer Skala von 1 bis 10 an, wie sehr Sie diesen Möglichkeiten der Verwertung zustimmen, d.h. welche Möglichkeit Sie bevorzugen.	F32-1: KVA Renergia	36%	36%	0.8
	F32-2: KVA Schweiz	12%	70%	0.2
	F32-3: EBS (im Zementwerk verbrennen)	29%	43%	0.6
	F32-4: Aufbereitung	69%	11%	1
	F32-5: Verölung	25%	49%	0.4

In der folgenden Tabelle werden die totalen Nutzwertpunkte der vier ausgewerteten Fragen aus Abbildung 7 aufgeführt. Die totalen Nutzwertpunkte ergeben die Grundlage für die Bewertung des Kriteriums Gesellschaftliche Akzeptanz (G2).

Abbildung 8: Berechnung der totalen Nutzwertpunkte für das Kriterium G2

Varianten	F 28 Kunststoff separat gesammelt	F30 Hol- oder Bring-sammlung	F 31 Sammelgut separat gesammelt	F 32 priorisierte Verwertungsvarianten	Total Nutzwertpunkte für MKA
V0a HS m Kehricht Ren	0.12	0.35	0.27	0.8	0.38
V0b HS m Kehricht k KVA	0.12	0.35	0.27	0.2	0.23
V1a HS HK	0.88	0.74	0.27	1	0.72
V1b BS HK	0.88	0.60	0.27	1	0.69
V2 HS HK&V EBS	0.88	0.74	0.72	0.6	0.73
V3a HS HK&V	0.88	0.74	0.72	1	0.83
V3b BS HK&V	0.88	0.60	0.72	1	0.80
V4 BS HK&V ÖI	0.88	0.60	0.72	0.4	0.65

Ausführungen/Begründungen

F28: Hier werden die Prozentangaben (88% dafür, 12% dagegen) direkt in Nutzwertpunkte überführt, d.h. 0.88 Punkte für die Varianten, bei denen Kunststoffe separat gesammelt werden oder 0.12 Punkte für die KVA-Varianten.

F30: Sollen die separat gesammelten Kunststoffe abgeholt oder lieber zur Sammelstelle gebracht werden? Es konnte auch gewählt werden, ob eine Bringsammlung zum Detailhandel bevorzugt wird. Dieses Angebot bleibt allerdings variantenunabhängig bestehen. Die Prozentangaben werden auch bei dieser Frage direkt in Nutzwertpunkte überführt. Nur bei denjenigen Varianten, bei denen Kunststoff separat gesammelt wird, werden die Nutzwertpunkte der Hol- oder Bringsammlung mit denen der Bringsammlung zum Detailhandel addiert. Die KVA-Varianten werden also mit 0.35 Punkten bewertet.

F31: Wenn sämtliche Kunststoffverpackungen gesammelt werden, so stösst dies auf grössere Akzeptanz (72%), als wenn nur die Kunststoffflaschen (27%) gesammelt werden. Auch hier werden die Prozentangaben direkt in Nutzwertpunkte überführt, also 0.72 für eine Mischkunststoff- und 0.27 für Hohlkörpersammlung.

F32: Hier konnten die Befragten auf einer Skala von 1 bis 10 bewerten, für welchen Verwertungsweg sie wie stark sympathisieren. Mehrfachnennungen waren möglich. Um die Nutzwertpunkte zuordnen zu können, wurde das Verhältnis der „stimme zu (8-10)“ - zu den „stimme nicht zu (1-5)“ - Nennungen berechnet. Das positivste Verhältnis wurde mit der höchsten Nutzwertzahl bewertet, das negativste Verhältnis mit dem kleinsten Nutzwert.

Grundsätzliches

Eine Umfrage bei der Bevölkerung ist wohl die bestmögliche Methode, um gesellschaftlich relevante Fragen zu erfassen. Allerdings sind die Ergebnisse nicht ohne Widersprüche. In der vorliegenden Umfrage haben 90% der Befragten genannt, dass sie bereit sind Kunststoffe separat zu sammeln. In einer weiteren Frage stimmen rund 70% der Befragten einer Kostenerhöhung für eine solche Separatsammlung nicht zu, was die Aussage zur Bereitschaft relativiert.

c Komfort der Sammlung (G3)

Dieser Indikator bewertet das Mass an zusätzlichem, individuellem Aufwand für die separate Sammlung der Kunststoffabfälle. Je höher der Aufwand des Konsumenten in Form der Sammlung oder/und des Transportes zum Abgabeort, desto kleiner wird der Komfort. Diese Bewertung wird aufgrund von Expertenschätzungen vorgenommen.

G3	Bewertung der Handhabbarkeit eines alternativen Sammelsystems für die Bevölkerung	0 Punkte	0.33 Punkte	0.66 Punkte	1 Punkt
		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

Hier werden die Bewertungen für die Kriterien über die Nutzwertspanne von 0 bis 1 vorgenommen. Am meisten Punkte erhalten die Varianten 0a und 0b, weil keine zusätzliche Separatsammlung zu bewirtschaften ist, und der Komfort somit maximal. Die Varianten 3b und 4, wo sämtlicher Kunststoff separat gesammelt wird und zu den Sammelstellen gebracht werden muss, erhalten am wenigsten Nutzwertpunkte.

4 FESTLEGUNG DER BETRACHTETEN VARIANTEN

4.1 Grundlagen

4.1.1 Sammelsysteme

a Holsammlung / Bringsammlung

Holsammlung: Sammelgut wird analog der Kehrichtsammlung bei den Haushaltungen abgeholt.

Bringsammlung: Sammelgut wird zu bedienten Sammelstellen gebracht. Die Bringsammlung zu unbedienten Sammelstellen wird für Kunststoffabfälle als nicht praxistauglich ausgeschlossen (vgl. Kapitel 4.1.6).

b Holsammlung von Hohlkörpern

Sammelsack Bei der Holsammlung von Hohlkörpern werden nur Kunststoffflaschen mit Deckel gesammelt. Das Sammelgut wird in Säcken oder Containern vor dem Haus bereitgestellt und durch Kehrichtsammelfahrzeuge abgeholt.

Die Sammlung sollte monatlich stattfinden. Es wäre zu überlegen, ob nur spezielle transparente Sammelsäcke verwendet werden dürfen, um Fehlwürfen entgegen zu wirken. Da die Sammelmengen je nach Haushaltsgrösse sehr unterschiedlich sind, sollten unterschiedliche Sackgrössen angeboten werden.

Schwierigkeiten bei der Sammlung Erfahrungen aus Praxisversuchen (Edelmann, et al., 2004) zeigen, dass es für die Konsumenten schwierig sein kann, nur einen Teil der Hohlkörper, also beispielsweise keine Joghurtbecher oder Eimer, sondern nur Flaschen, wirklich sortenrein zu trennen.

Für die Tür-zu-Tür-Sammlung von Kunststoff-Hohlkörpern gibt es kein Praxisbeispiel. Die Einführung müsste sorgfältig geplant und begleitet werden.

c Holsammlung von Hohlkörpern und Verpackungen (Mischkunststoff)

Bei der Holsammlung von Hohlkörpern und Verpackungen (Mischkunststoff) werden die separat gesammelten Kunststoffabfälle in Säcken oder Containern vor dem Haus bereitgestellt und durch Kehrichtsammelfahrzeuge abgeholt.

Die Sammlung sollte mindestens monatlich stattfinden. Problematisch kann die Sammelqualität sein, da gemischte Kunststoffe keine sortenreine Fraktion sind wie die übrigen Wertstoffe. Dadurch können bewusste oder unbewusste Fehlwürfe häufiger sein als bei den sortenreinen Wertstoffen. Entsprechend müssen Massnahmen getroffen werden, um eine gute Sammelqualität zu erreichen.

Für die Tür-zu-Tür-Sammlung von gemischten Kunststoffen aus Haushalten gibt es in der Schweiz aktuell kein Praxisbeispiel. Aus dem Ausland sind Beispiele von

ähnlichen Sammlungen (gelbe Tonne in Deutschland) vorhanden, allerdings unter anderen Randbedingungen wie z.B. keine Mengengebühr für den Kehrriech.

Die Einführung müsste sorgfältig geplant und begleitet werden. Es wäre zu überlegen, ob nur spezielle Sammelsäcke eingesetzt werden dürften, um bewussten oder unbewussten Fehlwürfen entgegen zu wirken. Da kaum Erfahrungen vorliegen, wäre ein etappiertes Vorgehen angezeigt, mit einer Testregion.

d Bringsammlung von Hohlkörpern

Die separat gesammelten Hohlkörper werden von den Konsumenten zu Fuss, mit dem Velo, mit dem Auto oder dem öffentlichen Verkehr zu den bedienten, kommunalen Sammelstellen oder in die Filialen des Detailhandels gebracht, die Hohlkörper annehmen. Dafür braucht es keinen speziell für die Hohlkörper konzipierten Sammelsack, da die Hohlkörper zusammen mit den anderen Sammelfraktionen wie Glas, PET, Alu oder Glühbirnen zur Sammelstelle gebracht werden können.

Sammlung bei
Grossverteilern

Die Grossverteiler Migros und Coop bauen zurzeit ein Sammelsystem für weitere Hohlkörper nebst den Sammlungen für Getränke-PET und Milchflaschen auf. Bei der Migros ist dieses teilweise bereits in Betrieb. Die Konsumenten können so die leeren Kunststoffflaschen beim Einkauf wieder mitnehmen und entsorgen.

Der Fehlwurfanteil liegt gemäss den bisherigen Erfahrungen der Migros in einem akzeptablen Rahmen.

e Bringsammlung von Hohlkörpern und Verpackungen (Mischkunststoff)

Bei der Bringsammlung von Hohlkörpern und Verpackungen (Mischkunststoff) wird das Sammelgut von den Konsumenten selber zu Fuss, mit dem Velo, mit dem Auto oder dem öffentlichen Verkehr zu den bedienten, kommunalen Sammelstellen gebracht.

Auf den Sammelstellen müsste die Sammelqualität zumindest zeitweise überwacht werden, um Fehlwürfen entgegen zu wirken.

f Fazit Sammelsysteme

Grundsätzlich sind bei Bringsammlungen die separat gesammelten Mengen wesentlich geringer als bei Holsammlungen. Bei einer Abgabe in einem (betreuten) Ökohof kann das Sammelgut jedoch besser kontrolliert werden und weist daher eine höhere Qualität auf. Das Bringsystem des Detailhandels bleibt bestehen. Eine Abgabe bei unbedienten Sammelstellen steht nicht zur Diskussion, da der Anteil der Fehlwürfe zu gross wäre (vgl. Kapitel 4.1.6).

Erfahrungen der Kunststoffverwertung aus dem Kanton Zug haben gezeigt, dass durch eine Separatsammlung von Kunststoffen der Mehraufwand für die Kontrolle und die Beratung an der Sammelstelle unverhältnismässig ansteigt, um Fehlwürfe zu vermeiden (Edelmann, et al., 2004). Die aktuelle Annahme von Kunststoffabfäll-

len auf dem Ökihof in Zug ist relativ aufwendig und teuer, da das Sammelgut nur unter Aufsicht und unter Kontrolle abgegeben werden kann.

Um eine hohe Sammelqualität zu erreichen, sind bei der Festlegung des Sammel-systems, bei der Einführung und auch in den Folgejahren Massnahmen zu treffen, wie beispielsweise Informationskampagnen, PR-Aktionen, Massnahmen zur Über-wachung und Kontrolle de Sammelguts (Abfallpolizei) und weitere.

4.1.2 Verwertungspfade

Für die vorliegende Studie werden folgende Verwertungspfade berücksichtigt (siehe auch Beschreibung der Verwertungstechnologien in Kapitel 2.4 und Anhang 2):

Tabelle 8: Mögliche Verwertungspfade

energetische Verwertung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ in einer energieeffizienten KVA (66% Gesamtenergienutzungsgrad) ▪ in einer durchschnittlichen KVA (36% Gesamtenergienutzungsgrad)
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ersatzbrennstoff (EBS) Einsatz in der Zementindustrie
Sortierung → werkstoffliche Verwertung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reinigung, technische Sortierung nach Art der Kunststoffe ▪ Herstellung von Regranulat, Einsatz als Werkstoff ▪ Restfraktion thermisch verwerten
Sortierung → rohstoffliche Verwertung (Verölung)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Technische Verölung der nicht stofflich verwertbaren Restfraktion

4.1.3 Behandlungs- und Verwertungsorte

Je nach Verfahren und Entwicklung des Marktes müssen für bestimmte Verwertungsarten grosse Transportdistanzen in Kauf genommen werden.

Betreffend Sortierung und Verwertung der Kunststoffabfälle wird entsprechend dem Zeithorizont 2020 und der bis dann zu erwartenden Entwicklung davon ausgegangen, dass eine oder mehrere Anlagen in der Schweiz vorhanden sein werden.

4.1.4 Zu sammelnde Fraktionen

Kunststoffabfälle aus Haushalten bestehen aus einer Vielzahl von Produkten (Form, Grösse, Dichte), Kunststoffarten und Gemischen (Verbundstoffe), die unterschiedlich mit Fremd- und Schmutzstoffen befrachtet sein können.

In der vorliegenden Studie sind die folgenden Varianten für die zu sammelnden Kunststofffraktionen aus Haushaltungen berücksichtigt:

Verpackungs-Hohlkörper (Flaschen mit Deckel ohne PET)
Alle Haushalts-Verpackungen aus Kunststoff, inklusive Folien

→Detaillierte Informationen zu den möglichen Kunststoffabfällen aus Haushalten: siehe Kapitel 2.3.

4.1.5 Variable Elemente

Bei der Festlegung der Varianten können folgende Elemente variiert werden:

Tabelle 9: Variable Elemente

(1)	Art der Sammlung: Holsammlung / Bringsammlung öffentlich oder beim Detailhandel
(2)	Zu sammelnde Fraktionen: Verpackungen / nur Hohlkörper / alle Kunststoffe, und Kombinationen davon
(3)	Hauptsächlicher Verwertungspfad: werkstofflich Verwertung / KVA / Ersatzbrennstoff / Verölung
(4)	Verwertungspfad der Restfraktion nach Sortierung: KVA oder Ersatzbrennstoff

Die Variablen (1) und (2) bestimmen massgeblich die Sammelmengen und die Mengen pro Verwertungspfad.

4.1.6 Grundsätze und Randbedingungen für die Variantenauswahl

Bei der Festlegung der Varianten wurden folgende Grundsätze / Randbedingungen beachtet:

- Es wird davon ausgegangen, dass im Jahr 2020 die Aufbauphase der Sammlung abgeschlossen ist und die Sortierung und Verwertung der Kunststoffe vollständig in der Schweiz erfolgt.
- Die Varianten sind auf die Verhältnisse im Einzugsgebiet Zentralschweiz bezogen, die Verwertungswege werden möglichst konkret festgelegt.
- Es sind auch Varianten zulässig, die zurzeit nicht dem allgemeinen Trend oder der Vorgabe des BAFU (siehe Kapitel 1.2 Gesetzliche Grundlagen und Politik) entsprechen.
- Bei der Festlegung der Varianten soll ein "Downcycling" möglichst vermieden werden, d.h. die werkstoffliche Verwertung ist prioritär. Eine Ausnahme ist die Verwertung als Ersatzbrennstoff, bei welcher die energetische Verwertung im Vordergrund steht.
- Wenn die energetische Verwertung nicht in der KVA Renergia stattfindet, werden durchschnittliche Schweizer KVA-Daten verwendet.
- Nicht untersucht werden gemäss Festlegung durch den Fachbeirat Varianten mit vorgezogener Entsorgungsgebühr oder gebührenpflichtiger Separatsammlung

- Es wird keine Variante mit Sammlung an unbedienten Sammelstellen betrachtet, da sich gezeigt hat, dass der Fremdstoffanteil zu gross ist und auch andere negative Erfahrungen wie Lärm, Verkehr, übermässige Fehlwürfe oder das Benutzen zu Unzeiten gemacht wurden (Stadt Bern, Direktion für Tiefbau, Verkehr und Stadtgrün, 2012).
- Die Sammel- und Verwertungsquoten einer zusätzlichen, separaten Sammlung von Getränkeverbundkartons (GVK) werden in dieser Studie zwar kurz angesprochen, aber nicht in die Varianten mit einbezogen oder modelliert.
- Das Sammelangebot (Bringsammlung PET und Hohlkörper) des Detailhandels bleibt in jedem Fall bestehen.

4.2 Beschrieb der betrachteten Varianten

4.2.1 Übersicht der Varianten

Tabelle 10: Kurzbeschrieb der Varianten

Variante	Sammlung		Hauptsächlicher Verwertungsweg
	was	wie	
0a	Kunststoffe, im Kehrichtsack	Holsammlung	Energetische Verwertung in der KVA Renergia
0b	Kunststoffe, im Kehrichtsack	Holsammlung	Energetische Verwertung in einer durchschnittlichen KVA (CH)
1a	nur Hohlkörper	Holsammlung	Werkstoffliche Verwertung; weitere Kunststoffe ► Kehricht, energetisch
1b	nur Hohlkörper	<i>Bringsammlung</i>	Werkstoffliche Verwertung; weitere Kunststoffe ► Kehricht, energetisch
2	alle Kunststoffverpackungen	Holsammlung	Verwertung als Ersatzbrennstoff (Zementwerk)
3a	alle Kunststoffverpackungen	Holsammlung	Werkstoffliche Verwertung
3b	alle Kunststoffverpackungen	<i>Bringsammlung</i>	Werkstoffliche Verwertung
4	alle Kunststoffverpackungen	<i>Bringsammlung</i>	Werkstoffliche Verwertung und Verölung

Festlegungen / Kommentar:

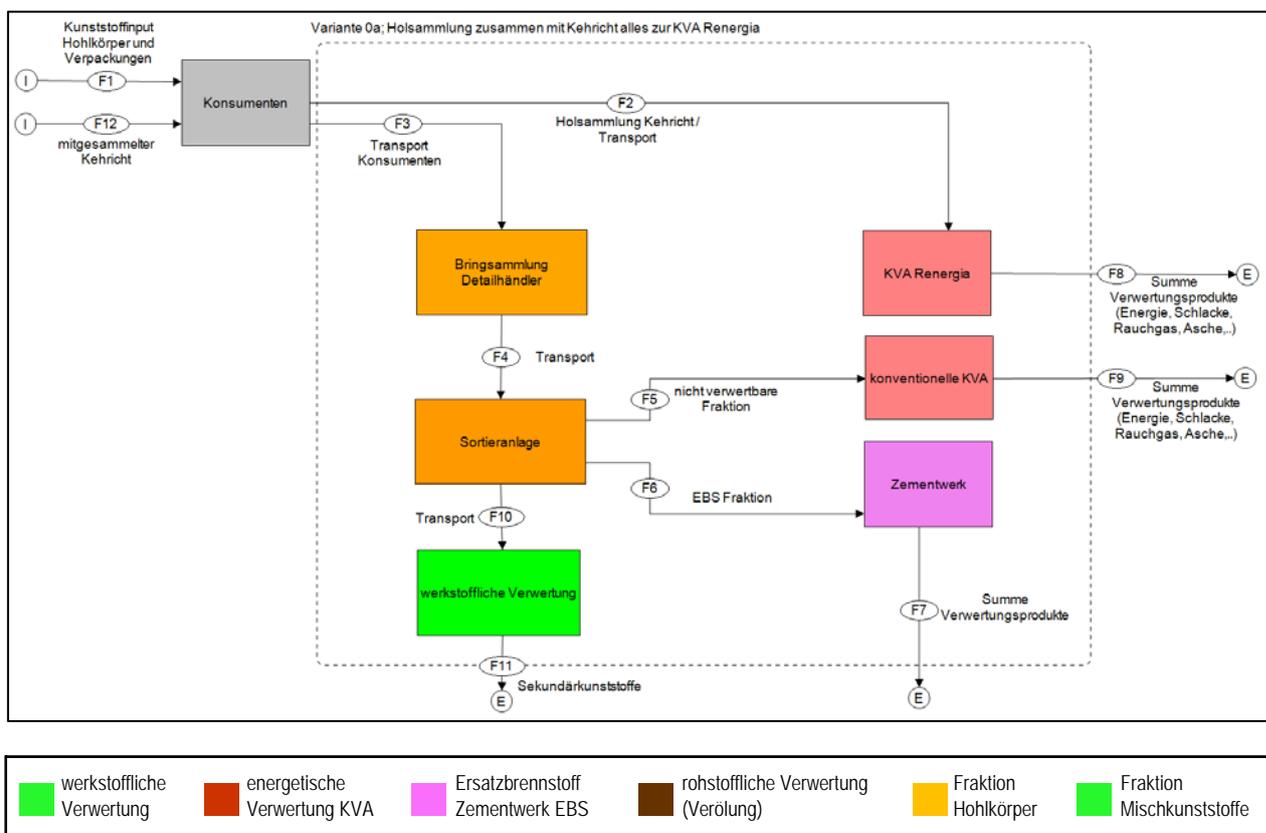
- Die Auswahl der Varianten wurde in Absprache mit dem Fachbeirat getroffen.
- Variante 0b dient nur zu Vergleichszwecken.
- Bei den Varianten 1a und 1b werden nebst der Separatsammlung grosse Anteile der gesamten Kunststoffmenge in der KVA Renergia verwertet. Dies fließt entsprechend in die Bewertung dieser Varianten ein.
- Bei der Variante 2 wurde der Grundsatz "maximale Verwertung als Ersatzbrennstoff gewählt".
- Die Variante 4 wurde gewählt, weil im Kanton Zug eine Pilotanlage für Verölung besteht, und in der Stadt Zug entsprechend gesammelt wird.

Die Verwertungspfade sind aus Abbildung 20 auf Seite 64 ersichtlich. Es zeigt sich, dass bei jeder Variante erhebliche Mengen an Kunststoffabfällen bei der KVA verbleiben. Siehe auch Kapitel 5.1.2 Sammelquoten und 5.1.4 Verwertungsquoten.

4.2.2 Variante 0a: "Renergia"

Kurzbeschrieb	Sammlung zusammen mit dem Kehricht, energetische Verwertung in der KVA Renergia in Perlen
Sammelsystem	Sämtliche Kunststoffe werden gemeinsam mit dem Kehricht im gebührenpflichtigen Kehrichtsack gesammelt und vor dem Haus der Konsumenten abgeholt.
Sammelfrequenz	Die Sammlung findet einmal pro Woche mit konventionellen Sammelpressfahrzeugen statt.
Transporte	Sämtliche Transporte mittels Kehrichtfahrzeug, Lastkraftwagen wie auch der Privatverkehr (PKW, Tram, Bus etc.) werden berücksichtigt, namentlich Sammeltour, Überfahrt zur Anlage, Transport der Hohlkörper zum Detailhandel, Überfahrt zur Sortier- und Recyclinganlage, der Transport der Abfälle/Reststoffe aus der Sortierung ins Zementwerk oder in die KVA.
Verwertung / Bemerkungen	Durch den Wärmeverbund der KVA Renergia in Perlen mit der Papierfabrik in Perlen wird ein Energienutzungsgrad von etwa 66% und somit eine hohe energetische Verwertungsquote der Verpackungsmaterialien erreicht. Hohlkörper werden im Detailhandel separat gesammelt, verbleiben aber trotzdem zu einem grossen Teil im Kehrichtsack.

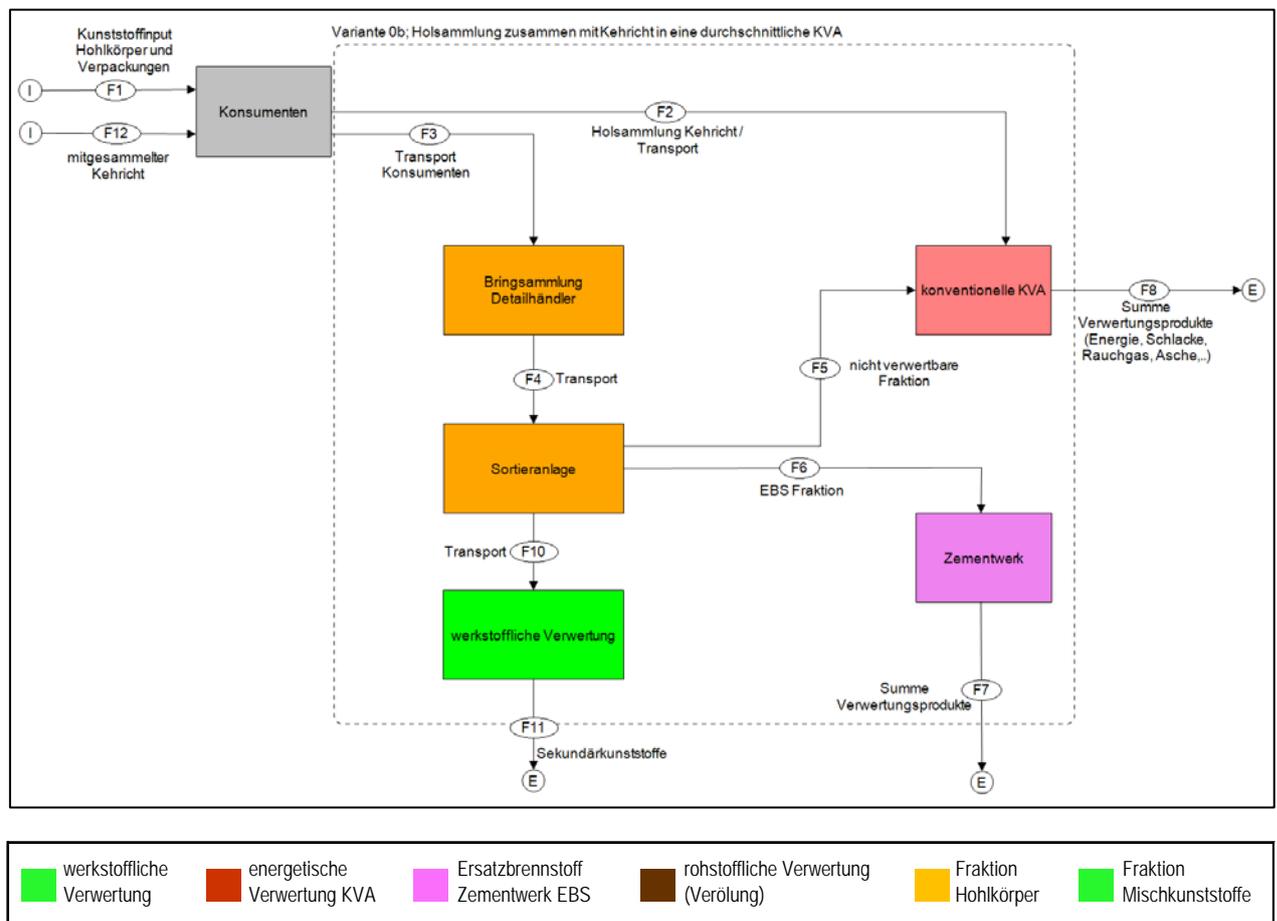
Abbildung 9: Fließbild Variante 0a



4.2.3 Variante 0b: "Konventionelle KVA"

Kurzbeschrieb	Sammlung zusammen mit dem Kehricht, energetische Verwertung in einer konventionellen KVA
Sammelsystem	Sämtliche Kunststoffe werden gemeinsam mit dem Kehricht im gebührenpflichtigen Kehrichtsack gesammelt und vor dem Haus der Konsumenten abgeholt.
Sammelfrequenz	Die Sammlung findet einmal pro Woche mit konventionellen Sammelpressfahrzeugen statt.
Transporte	Sämtliche Transporte mittels Kehrichtfahrzeug, Lastkraftwagen wie auch der Privatverkehr (PKW, Tram, Bus etc.) werden berücksichtigt, namentlich Sammeltour, Überfahrt zur Anlage, Transport der Hohlkörper zum Detailhandel, Überfahrt zur Sortier- und Recyclinganlage, der Transport der Abfälle/Reststoffe aus der Sortierung ins Zementwerk oder in die KVA.
Verwertung / Bemerkungen	Die energetische Nutzung ist aufgrund des geringeren Energienutzungsgrades der konventionellen, schweizerischen KVA mit 36% geringer als die der KVA Renergia. Hohlkörper werden im Detailhandel separat gesammelt, verbleiben aber trotzdem zu einem grossen Teil im Kehrichtsack.

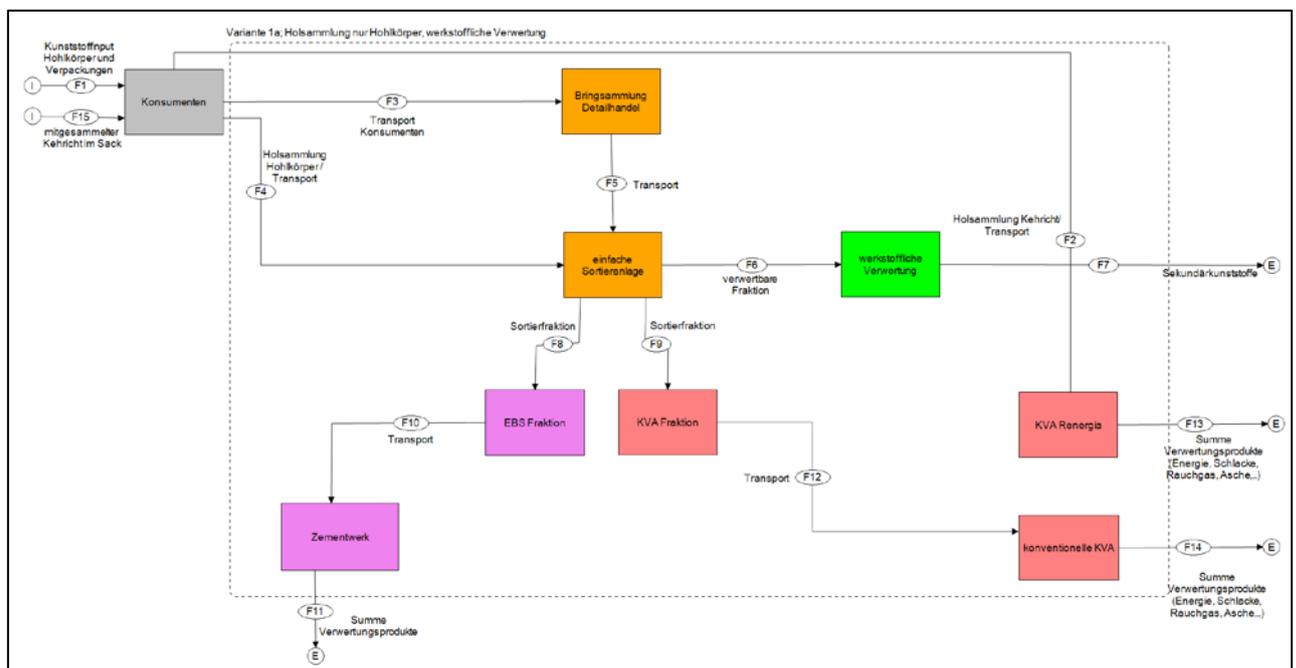
Abbildung 10: Fließbild Variante 0b



4.2.4 Variante 1a: Holsammlung Hohlkörper, werkstoffliche Verwertung

Kurzbeschrieb	Holsammlung von Hohlkörpern (Flaschen mit Deckel), prioritär werkstoffliche Verwertung zu Sekundärkunststoff, nicht separat gesammelter Kunststoff geht in die KVA Renergia
Sammelsystem	Das Sammelgut (Hohlkörper) wird in speziellen, transparenten Sammelsäcken von den Konsumenten separiert gesammelt. Diese Säcke werden vor den Haushalten mit Pressfahrzeugen abgeholt, zentral umgeladen, gepresst und der Sortierung/Verwertung zugeführt. Die Verpackungen verbleiben im Kehricht und werden mit den gebührenpflichtigen Säcken gesammelt und vor dem Haus der Konsumenten abgeholt.
Sammelfrequenz	Die Sammlung findet etwa vierwöchentlich mit konventionellen Sammelpressfahrzeugen statt.
Transporte	Sämtliche Transporte mittels Kehrichtfahrzeug, Lastkraftwagen wie auch der Privatverkehr (PKW, Tram, Bus etc.) werden berücksichtigt, namentlich Sammeltour, Überfahrt zur Umladestation, Transport der Hohlkörper vom Detailhandel, Überfahrt zur Sortier- und Recyclinganlage, der Transport der Abfälle/Reststoffe aus der Sortierung ins Zementwerk oder in die KVA.
Verwertung / Bemerkungen	Für die Hohlkörper wird eine hohe stoffliche Verwertungsquote erreicht, für die Kunststoffe insgesamt resultiert aber eine geringe Quote. Bei dieser Variante wird das Sammelgut bei den Haushaltungen abgeholt (Holsammlung).

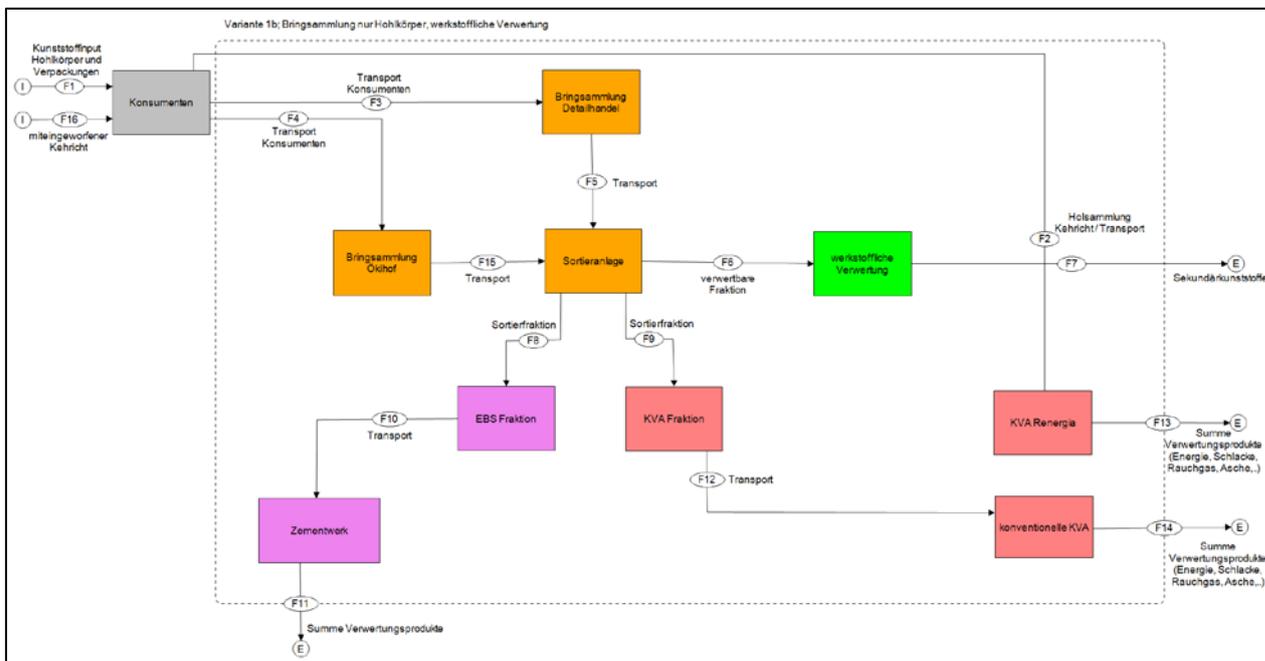
Abbildung 11: Fließbild Variante 1a



4.2.5 Variante 1b: Bringsammlung Hohlkörper, werkstoffliche Verwertung

Kurzbeschrieb	Bringsammlung von Hohlkörpern (Flaschen mit Deckel), prioritär werkstoffliche Verwertung zu Sekundärkunststoff, nicht separat gesammelter Kunststoff geht in die KVA Renergia
Sammelsystem	Das Sammelgut wird durch die Konsumenten zu den Sammelstellen gebracht. Es können spezielle Sammelsäcke eingesetzt werden. Das Sammelgut wird zentral umgeladen, gepresst und der Sortierung/ Verwertung zugeführt. Die Verpackungen werden gemeinsam mit dem Kehricht im gebührenpflichtigen Kehrichtsack gesammelt und vor dem Haus der Konsumenten abgeholt.
Sammelfrequenz	Die Konsumenten können zu den ordentlichen Öffnungszeiten der Sammelhöfe die Sammelgüter anliefern.
Transporte	Sämtliche Transporte mittels Kehrichtfahrzeug, Lastkraftwagen wie auch der Privatverkehr (PKW, Tram, Bus etc.) werden berücksichtigt, namentlich Sammeltour, Überfahrt zur Anlage, Transport der Hohlkörper vom Detailhandel, Überfahrt zur Sortier- und Recyclinganlage, der Transport der Abfälle/Reststoffe aus der Sortierung ins Zementwerk oder in die KVA.
Verwertung / Bemerkungen	Für die Hohlkörper wird eine recht hohe stoffliche Verwertungsquote erreicht, für die Kunststoffe insgesamt resultiert aber eine geringe Quote. Bei dieser Variante wird das Sammelgut bei den Haushaltungen abgeholt (Holsammlung).

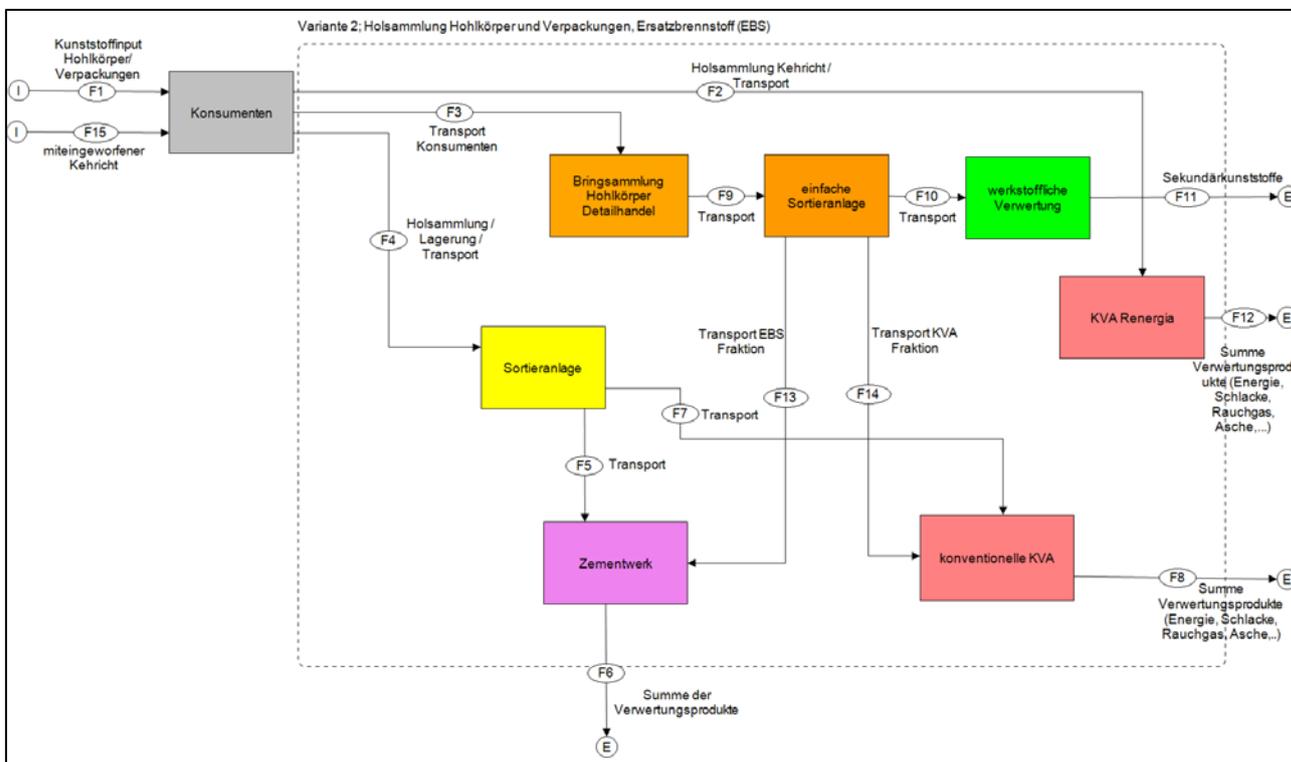
Abbildung 12: Fließbild Variante 1b



4.2.6 Variante 2: Holsammlung alle Kunststoffe, EBS

Kurzbeschrieb	Holsammlung von gemischtem Kunststoff (Hohlkörper und Verpackungen), prioritäre Verwertung als Ersatzbrennstoff im Zementwerk, nicht separat gesammelter Kunststoff geht in die KVA Renergia
Sammelsystem	Das Sammelgut (Hohlkörper und Verpackungen) wird in speziellen, transparenten Sammelsäcken von den Konsumenten separiert gesammelt. Diese Säcke werden vor den Haushalten mit Pressfahrzeugen abgeholt, zentral umgeladen, gepresst und der Sortierung/Verwertung zugeführt. Nicht separierter Kunststoff wird gemeinsam mit dem Kehricht im gebührenpflichtigen Kehrichtsack gesammelt und vor dem Haus abgeholt
Sammelfrequenz	Die Separatsammlung findet zwei- bis vierwöchentlich mit konventionellen Sammelpressfahrzeugen statt.
Transporte	Sämtliche Transporte mittels Kehrichtfahrzeug, Lastkraftwagen wie auch der Privatverkehr (PKW, Tram, Bus etc.) werden berücksichtigt, namentlich Sammeltour, Überfahrt zur Anlage, Transport der Hohlkörper zum Detailhandel, Überfahrt zur Sortier- und Recyclinganlage, der Transport der Abfälle/Reststoffe aus der Sortierung ins Zementwerk oder in die KVA.
Verwertung / Bemerkungen	Der Anteil an EBS-fähigem Material wird für die Modellierungen auf maximale 90% gesetzt. Die restlichen 10% werden nach der Sortierung in einer KVA entsorgt (siehe auch Kapitel 5.1.4).

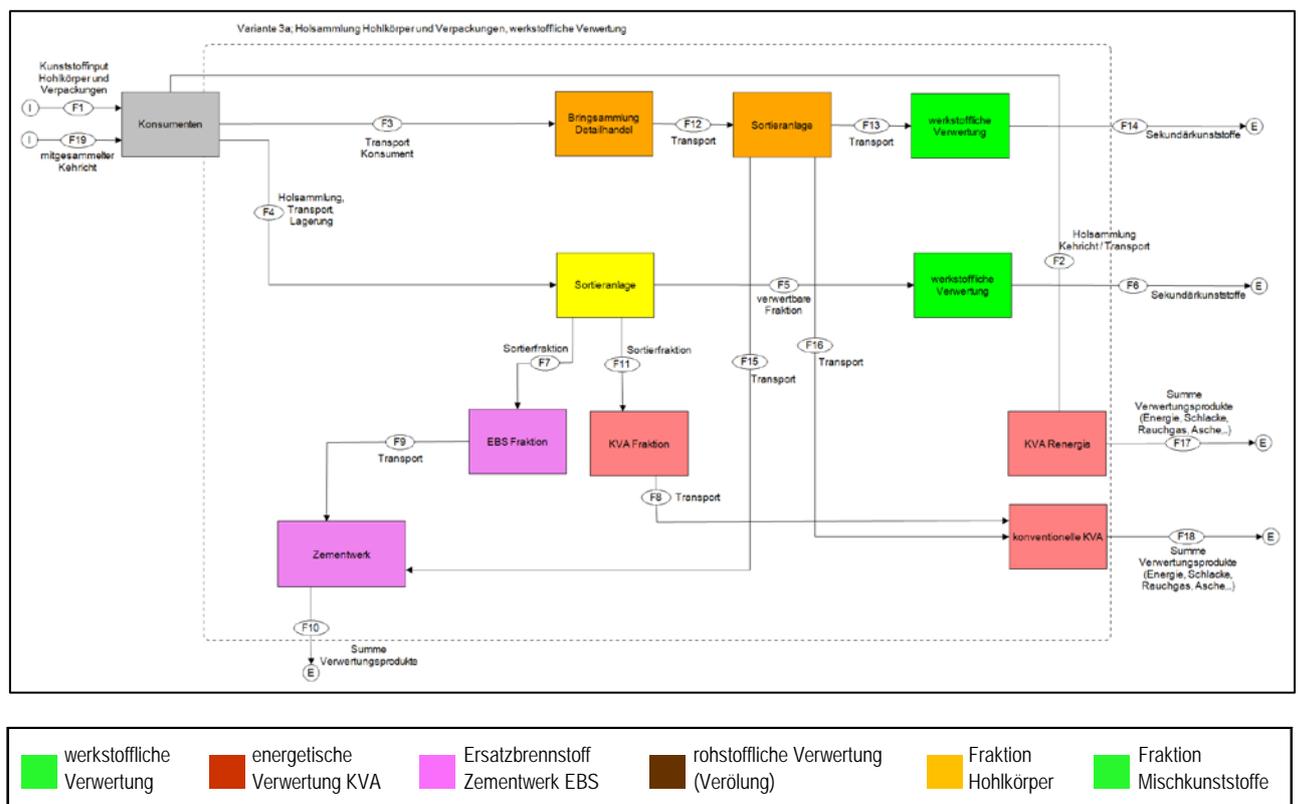
Abbildung 13: Fließbild Variante 2



4.2.7 Variante 3a: Holsammlung alle Kunststoffe, werkstoffliche Verwertung

Kurzbeschrieb	Holsammlung von gemischtem Kunststoff (Hohlkörper und Verpackungen), prioritär werkstoffliche Verwertung zu Sekundärkunststoff, nicht separat gesammelter Kunststoff geht in die KVA Renergia
Sammelsystem	Das Sammelgut (Hohlkörper und Verpackungen) wird in speziellen, transparenten Sammelsäcken von den Konsumenten separiert gesammelt. Diese Säcke werden vor den Haushalten mit Pressfahrzeugen abgeholt, zentral umgeladen, gepresst und der Sortierung/Verwertung zugeführt. Nicht separierter Kunststoff wird gemeinsam mit dem Kehrriech im gebührenpflichtigen Kehrriechtsack gesammelt und vor dem Haus der Konsumenten abgeholt
Sammelfrequenz	Die Sammlung findet zwei- bis vierwöchentlich mit konventionellen Sammelpressfahrzeugen statt.
Transporte	Sämtliche Transporte mittels Kehrriechfahrzeug, Lastkraftwagen wie auch der Privatverkehr (PKW, Tram, Bus etc.) werden berücksichtigt, namentlich Sammeltour, Überfahrt zur Anlage, Transport der Hohlkörper vom Detailhandel, Überfahrt zur Sortier- und Recyclinganlage, der Transport der Abfälle/Reststoffe aus der Sortierung ins Zementwerk oder in die KVA.
Verwertung / Bemerkungen	Vom gesammelten Kunststoffmix kann rund 50% werkstofflich verwertet werden, der Rest wird energetisch verwertet (vgl. Kapitel 5.1.4).

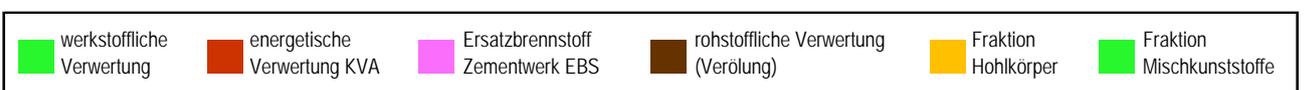
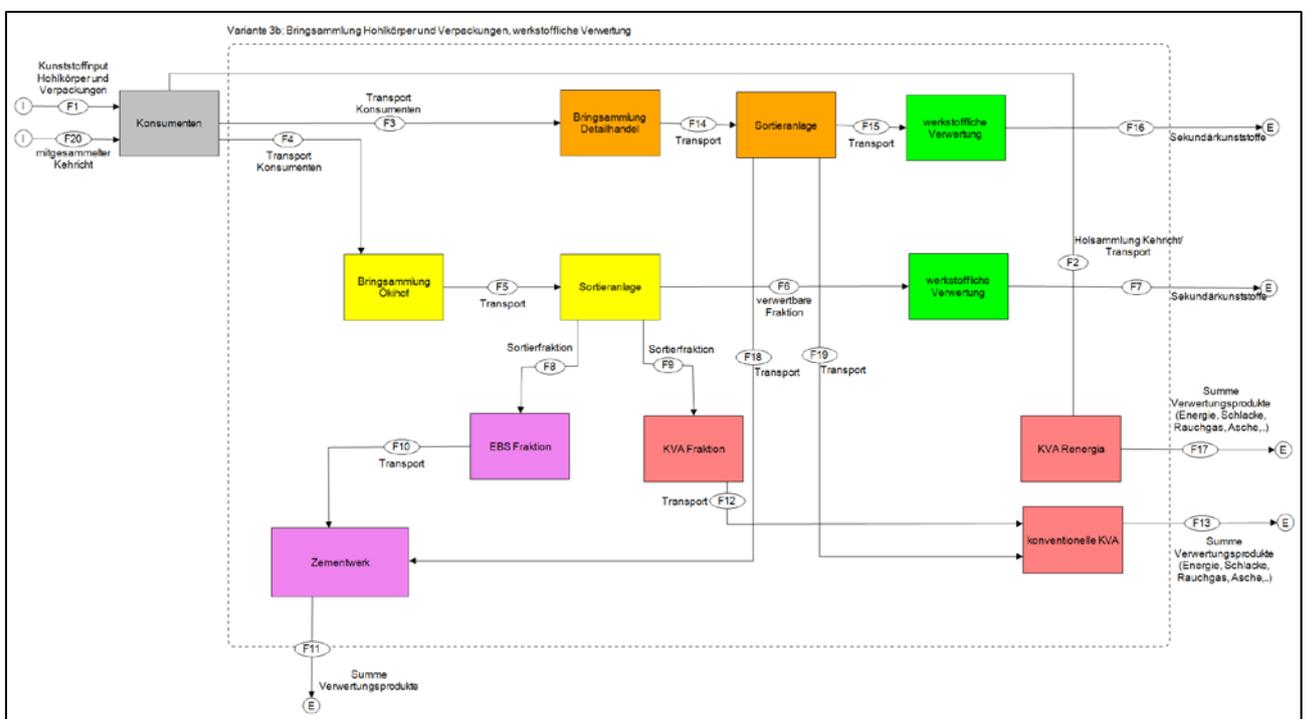
Abbildung 14: Fließbild Variante 3a



4.2.8 Variante 3b: Bringsammlung alle Kunststoffe, werkstoffliche Verwertung

Kurzbeschrieb	Bringsammlung von gemischtem Kunststoff (Hohlkörper und Verpackungen), prioritär werkstoffliche Verwertung zu Sekundärkunststoff, nicht separat gesammelter Kunststoff geht in die KVA Renergia
Sammelsystem	Das Sammelgut wird durch die Konsumenten zuhause separiert und dann zu den Sammelstellen gebracht. Es können spezielle Sammelsäcke eingesetzt werden. Das Sammelgut wird zentral umgeladen, gepresst und der Sortierung/ Verwertung zugeführt. Nicht separierter Kunststoff wird gemeinsam mit dem Kehricht im gebührenpflichtigen Kehrichtsack gesammelt und vor dem Haus der Konsumenten abgeholt.
Sammelfrequenz	Die Konsumenten können zu den ordentlichen Öffnungszeiten der Sammelhöfe die Sammelgüter anliefern.
Transporte	Sämtliche Transporte mittels Kehrichtfahrzeug, Lastkraftwagen wie auch der Privatverkehr (PKW, Tram, Bus etc.) werden berücksichtigt, namentlich Sameltour, Überfahrt zur Anlage, Transport der Hohlkörper vom Detailhandel, Überfahrt zur Sortier- und Recyclinganlage, der Transport der Abfälle/Reststoffe aus der Sortierung ins Zementwerk oder in die KVA.
Verwertung / Bemerkungen	Vom gesammelten Kunststoffmix kann rund 50% werkstofflich verwertet werden, der Rest wird energetisch verwertet (vgl. Kapitel 5.1.4).

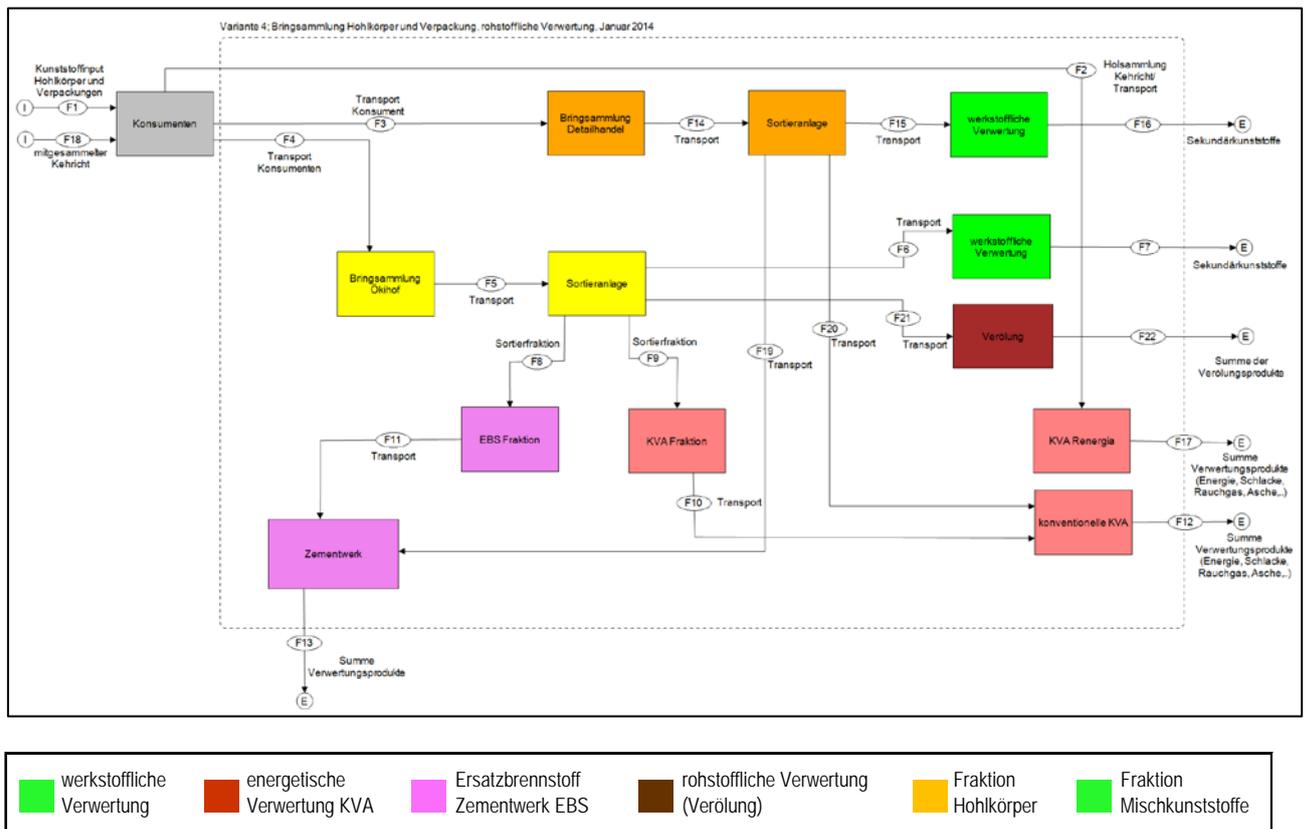
Abbildung 15: Fließbild Variante 3b



4.2.9 Variante 4: Bringsammlung alle Kunststoffe, Verölung

Kurzbeschrieb	Bringsammlung von gemischtem Kunststoff (Hohlkörper und Verpackungen), prioritäre werkstoffliche Verwertung zu Sekundärkunststoff und sekundäre rohstoffliche Verwertung zu Ölprodukten, nicht separat gesammelter Kunststoff geht in die KVA Renergia
Sammelsystem	Das Sammelgut wird durch die Konsumenten zuhause separiert und dann zu den Sammelstellen gebracht. Es können Sammelsäcke eingesetzt werden. Das Sammelgut wird zentral umgeladen, gepresst und der Sortierung/ Verwertung zugeführt. Nicht separierter Kunststoff wird gemeinsam mit dem Kehrriech im gebührenpflichtigen Kehrriechtsack gesammelt und vor dem Haus der Konsumenten abgeholt.
Sammelfrequenz	Die Konsumenten können zu den ordentlichen Öffnungszeiten der Sammelhöfe die Sammelgüter anliefern.
Transporte	Sämtliche Transporte mittels Kehrriechfahrzeug, Lastkraftwagen wie auch der Privatverkehr (PKW, Tram, Bus etc.) werden berücksichtigt, namentlich Sameltour, Überfahrt zur Anlage, Transport der Hohlkörper vom Detailhandel, Überfahrt zur Sortier- und Recyclinganlage, der Transport der Abfälle/Reststoffe aus der Sortierung ins Zementwerk oder in die KVA.
Verwertung / Bemerkungen	Verwertungsanteile gemäss Angaben aus (Kilga & Wick, 2011) : werkstofflich verwertet werden rund 30%, der Anteil der „verölbaren“ Fraktion wird mit 23% beziffert.

Abbildung 16: Fließbild Variante 4



5 MENGENANGABEN UND KOSTENBETRACHTUNGEN

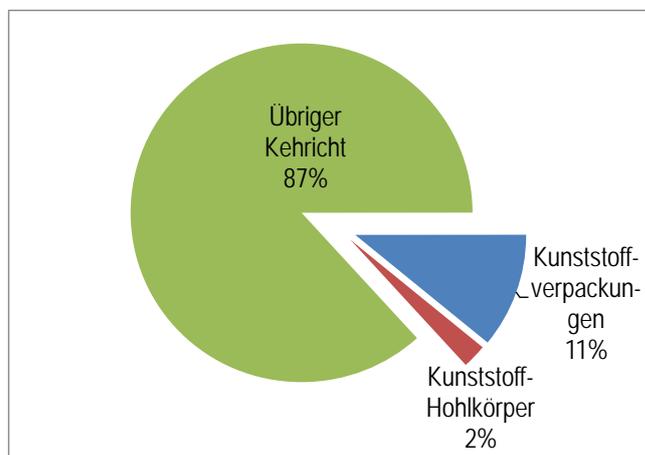
5.1 Mengenangaben zu den Kunststoffabfällen

5.1.1 Anteil Kunststoff im Kehricht aus Haushalten

Grundmenge
Kunststoffe
Zentralschweiz

Für die Ermittlung der Kunststoffabfälle aus Haushaltungen in der Zentralschweiz wurde der Anteil der Kunststoffe im Kehricht von 12.9% aus einer BAFU-Studie (BAFU, 2014) verwendet. Von diesen 12.9% bestehen 2.2% aus Kunststoffbehältern (Hohlkörper). Verbundwaren und –verpackungen mit Anteilen von 12.5%, respektive 5.5% (z.B. Getränkeverbundkartons) werden nicht in die Grundlagenmengen integriert, sie gelten in dieser Studie als Fehlwürfe.

Abbildung 17:
Anteile Kehricht -
Kunststoffabfälle



Der Anteil Kunststoff, bzw. die durchschnittliche Grundmenge Hohlkörper und Verpackungen im Kehricht pro Kopf und Jahr, wurde mit der Anzahl Einwohner aller Zentralschweizer Kantone multipliziert. Die resultierende Menge dient als Grundgesamtheit für alle Varianten und ist bei allen Varianten gleich hoch, nämlich 18'252 t pro Jahr.

Zusätzlich werden auch die Anteile Fehlwürfe oder Fremdstoffe, die mit Separatsammlungen mitgenommen werden, berücksichtigt.

5.1.2 Sammelquoten

Grundgesamtheit

Die Sammelquoten beziehen sich vorliegend auf die Grundgesamtheit der Kunststoffabfälle, wie sie aktuell im Kehrichtsack vorhanden sind, gemäss (BAFU, 2014). Die Fehlwürfe (Abfälle, die nicht in die Separatsammlung gehören) werden in der vorliegenden Studie bei den Grundlagedaten durchwegs separat geführt, um eine Verfälschung der Resultate zu vermeiden. Erläuterungen betreffend Fehlwürfe: siehe Kapitel 5.1.4.

Datengrundlagen

Der Anteil des separat gesammelten Kunststoffs hängt mit der Art der Sammlung und der Zusammensetzung des Sammelgutes zusammen. Genaue Zahlen zu Sammelquoten von Kunststoff-Separatsammlung liegen nicht vor, da derartige

Sammlungen in der Schweiz noch nicht etabliert sind. Auch die beschafften Zahlen aus dem Ausland (Österreich, Deutschland) können nicht direkt übernommen werden, da die Sammel- und Gebührensensysteme von den Schweizer Verhältnissen abweichen. Für die Bestimmung der Sammelquote werden in der vorliegenden Studie daher Abschätzungen gemacht auf der Basis aller verfügbaren und beschafften Vergleichswerte.

Angaben zu den verwendeten Sammelquoten

Annahme Sammlung etabliert	Die verwendeten Sammelquoten werden im Folgenden erläutert und beziehen sich auf eine etablierte, flächendeckende Sammlung.
Sammelquoten Varianten 0	Bei den Varianten 0 sammelt nur der Detailhandel die Kunststoff-Hohlkörper. Es lagen uns Angaben der Migros Zentralschweiz vor, die bereits seit einigen Jahren eine derartige Sammlung durchführt. Auf der Basis dieser Angaben ergibt sich, bezogen auf die Kunststoff-Hohlkörper, eine Sammelquote von rund 30%. Betreffend PE-Flaschen liegen Angaben von Coop vor (Sammelquote 60 bis 70%). In der vorliegenden Studie wurde betreffend Separatsammlung von Hohlkörpern bei den Grossverteilern eine Sammelquote von 50% verwendet. Dies vor dem Hintergrund, dass die Sammlung zum gegebenen Zeithorizont 2020 (vgl. Kapitel 1.4.2) bei allen Grossverteilern etabliert ist. Der Sammelanteil an der gesamten Kunststoffmenge bleibt mit rund 9% trotzdem gering, da die Kunststoffabfälle mehrheitlich aus Verpackungen bestehen.
Sammelquoten Varianten 1a und 1b	<p>Für die Varianten 1a und 1b wird angenommen, dass die Sammelquote der Hohlkörper zwischen 70% (Bringsammlung) und 80% (Holsammlung) zu liegen kommt, zumal das Sammelsystem und das Sammelgut mit demjenigen von PET in etwa vergleichbar sind. Bei der PET-Bringsammlung betrug die Sammelquote im Jahr 2012 81% (PET-Recycling Schweiz, 2013).</p> <p>Bei der Bringsammlung wird die Sammelquote etwas tiefer angesetzt, da das Sammelgut, im Gegensatz zu PET-Getränkeflaschen, weniger homogen ist und darum tendenziell eher in den Kehrichtsack geworfen wird als PET-Getränkeflaschen.</p> <p>Bezogen auf die Grundgesamtheit aller Kunststoffabfälle sind die Sammelquoten gering, da die Hohlkörper nur rund 15% der Kunststoffabfälle ausmachen.</p>
Sammelquoten Varianten 2 und 3a	Bei den Varianten 2 und 3a werden Hohlkörper und Verpackungen bei den Haushalten abgeholt (Abfuhr). Die Sammelquoten der Holsammlung der Mischkunststoffe werden durch den Einfluss der gesellschaftlich individuellen Faktoren herabgesetzt, wie etwa der zusätzliche Sammelsack zu Hause; Platzmangel oder Geruchsentwicklung nach einer gewissen Lagerungszeit. Der Einbezug der gesellschaftlichen Treiber wie das Sparen der Sackgebühren durch eine weitere Separatsammlung oder ökologische Gedanken des Sammlers hebt die Quote wieder leicht an. Die Quote liegt somit bei mehr als 50%, jedoch nicht so hoch wie eine Holsammlung für Hohlkörper oder PET von rund 80%, also konservativ gesehen bei 65%, es bleiben 35% im Kehrichtsack. Diese Werte werden für die Berechnungen verwendet.

Sammelquoten
Varianten 3b und 4

Betreffend Sammelquoten der Varianten 3b und 4 (Bringsammlung Hohlkörper und Verpackungen) gibt es keine empirische Datengrundlage, weil eine analoge, flächendeckende Bringsammlung von Mischkunststoff nicht existiert. Die Sammelquote der Kunststoffsammlung des Ökihofes der Stadt Zug liegt bei etwa 50%, jedoch ist diese auf die Bevölkerungszahl der Stadt Zug bezogen. Gemäss Aussage vom ZEBA benutzen diesen Ökihof aber auch Personen aus anderen Zuger Gemeinden, womit die effektive Sammelquote somit tiefer liegt. In Anlehnung an die Zahlen einer Bevölkerungsbefragung (allerdings von 1998) in der ZEBA-Studie (Edelmann, et al., 2004) wird davon ausgegangen, dass rund 70% der Kunststoffabfälle im Kehricht verbleiben, wenn die voluminösen Mischkunststoffe zu den Ökihöfen gebracht werden müssen. In der vorliegenden Studie wird eine Sammelquote von 38% verwendet.

5.1.3 Fehlwürfe bei der Kunststoffsammlungen

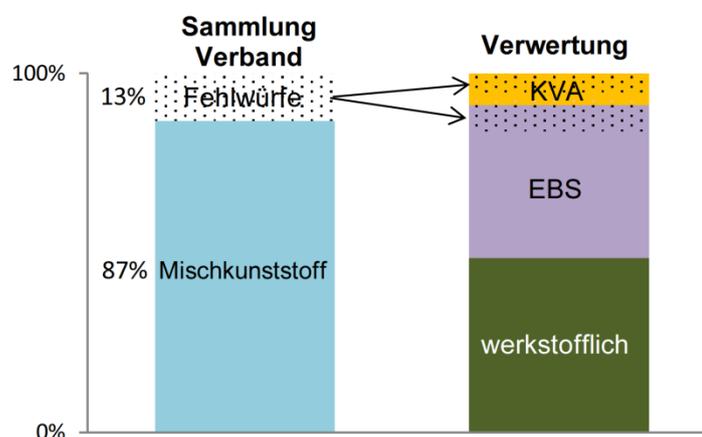
Definition	Als Fehlwürfe gelten zum Beispiel Leder, Gummi, Windeln oder Holz, aber auch Getränkeverbundkartons. Solche Fehlwürfe müssen ebenfalls transportiert und sortiert werden. Die zusätzlichen Kosten und Emissionen bei der Sammlung und Verwertung werden in der vorliegenden Studie berücksichtigt.
verwertbare Fehlwürfe	Je nach Variante ist ein "Fehlwurf" aber trotzdem verwertbar, so beispielsweise eine Kunststoffverpackung in der Hohlkörpersammlung, die als EBS verwertet wird. Über den prozentualen Anteil der Fehlwürfe, der als EBS verwendet werden kann, liegen keine Zahlen vor. Für die Berechnungen wird angenommen, dass 60% der Fehlwürfe als EBS verwendet werden können und 40% in der KVA verwertet werden. Die Anteilsangaben im vorliegenden Kapitel stützen sich auf Zahlen aus Studien, Fachartikel und vor allem auch auf Angaben von Personen aus der Praxis.

Verwendete Fehlwurfquoten

Bringsammlung Hohlkörper	Für die Bringsammlung Hohlkörper liegen Angaben aus der Bringsammlung der AVAG vor (AVAG AG, 2013) mit einem Verunreinigungsgrad von 6%, und jenen des Detailhandels (Migros Luzern) mit rund 20%, aber inklusive Anteil Restflüssigkeit. Bei der PET-Getränkeflaschensammlung liegt der Fehlwurfanteil bei rund 5% (BAFU, 2013). Für die vorliegende Studie wird der Anteil der Fehlwürfe für alle Bringsammlungen Hohlkörper auf 10% festgelegt.
Holsammlung Hohlkörper	Für die Holsammlung Hohlkörper liegen keine Erfahrungswerte vor. Aufgrund des anderen Sammelsystems wird der Fehlwurfanteil etwas höher angesetzt als bei den (ebenfalls nicht direkt überwachten) Bringsammlungen, und zwar bei 12%.
Bringsammlung Mischkunststoffe	Bei der Bringsammlung Mischkunststoffe wird der Anteil der Fehlwürfe analog zur Bringsammlung Hohlkörper festgelegt. Dies unter der Annahme, dass jene Personen die den Aufwand auf sich nehmen, ihre Kunststoffabfälle zu separieren, dies mehr oder weniger korrekt tun.
Holsammlung Mischkunststoffe	Bei der Holsammlung von Mischkunststoffen ist es schwierig, eine Fehlwurfquote festzulegen. Es gibt keine Grundlagezahlen, da eine solche Sammlung in der

Schweiz nicht existiert (vgl. Kapitel 5.1.2). Rückschlüsse können gemacht werden aus den Ergebnissen der vorliegenden Sortiersversuche (vgl. Kapitel 5.1.4). Auf dieser Basis und unter der Vorgabe, dass eine Holsammlung für Mischkunststoffe nur erfolgreich sein kann, wenn die Fehlwürfe minimiert werden, wird eine eher tiefe Fehlwurfquote von 15% verwendet. Dieser Prozentsatz ist für die Ergebnisse der Multikriterienanalyse aber nicht entscheidend, wie die entsprechende Sensitivitätsanalyse zeigt (siehe Kapitel 7.7). Dies liegt unter anderem auch daran, dass ein wesentlicher Teil der Fehlwürfe (d.h. z.B. ein Getränkekarton in der Kunststoffsammlung) trotzdem einer energetischen Verwertung zugeführt werden kann. PET-Flaschen in der gemischten Kunststoffsammlung würden sogar werkstofflich verwertet. Voraussetzung ist eine hoch entwickelte Sortierung, die aber Stand der Technik ist.

Abbildung 18:
Fehlwurfanteile bei
Sammlung und Verwertung



5.1.4 Verwertungsquoten

Bei den Separatsammlungen werden die Kunststoffe sortiert, und in folgende Fraktionen aufgeteilt: werkstoffliche Verwertung, Verwertung als Ersatzbrennstoff und nicht verwertbare Fraktion.

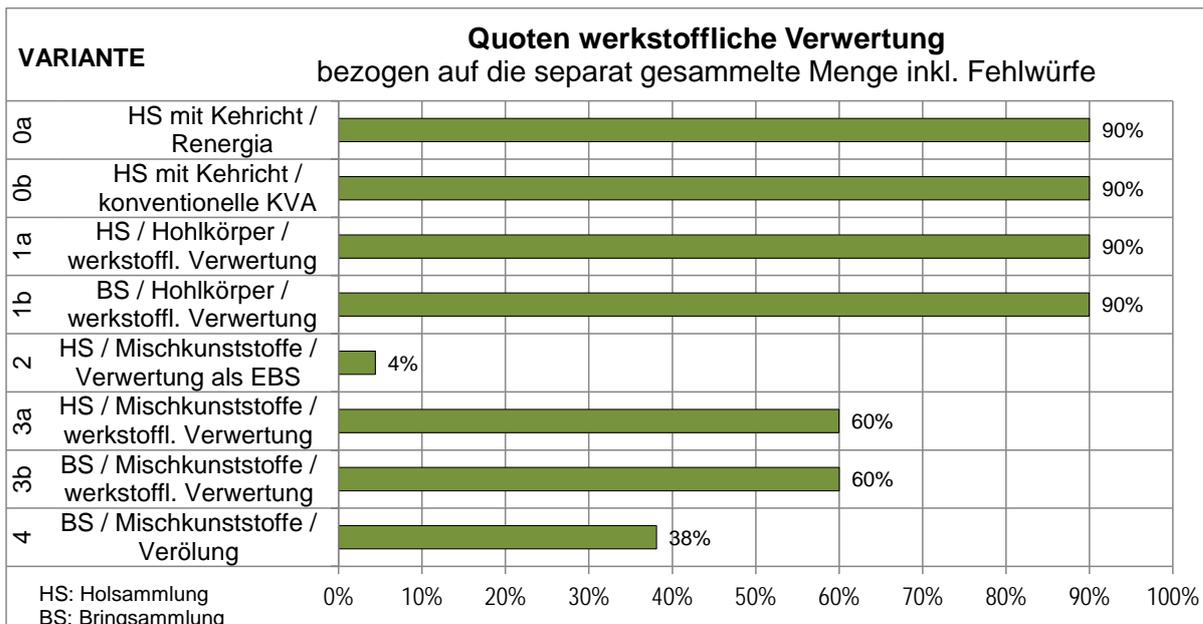
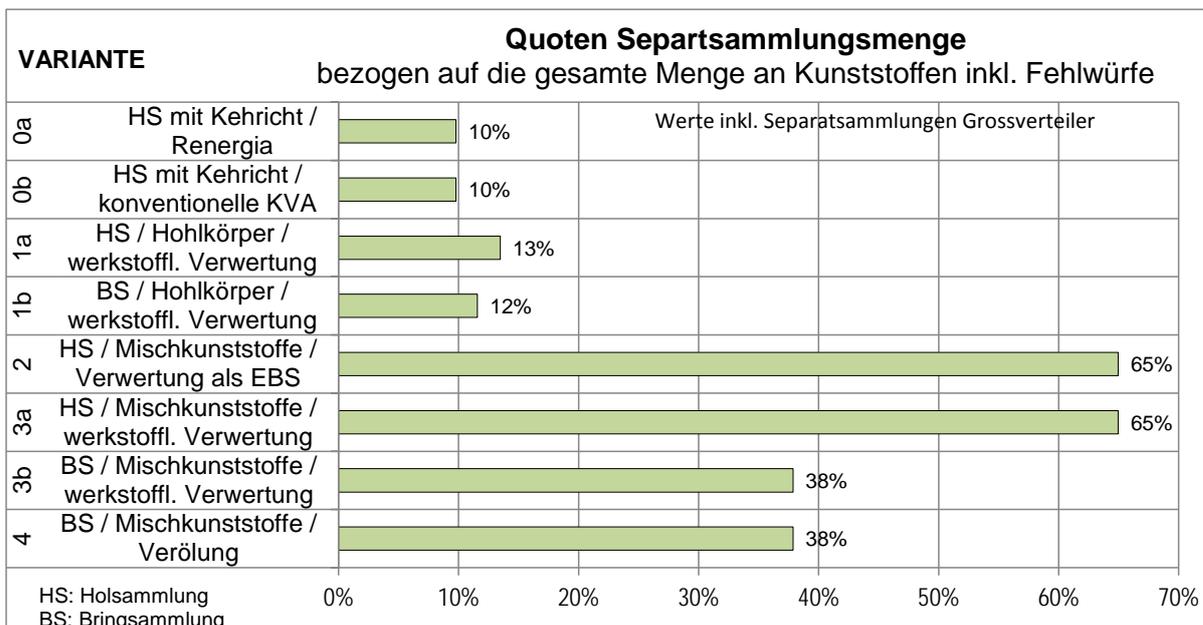
Hohlkörper Die stoffliche Verwertungsquote für gesammelte Hohlkörper liegt bei rund 90% (ohne Fehlwürfe). Dieser Wert stützt sich auf eine Studie aus dem Jahr 2013 (Dinkel, 2013) und mündlich erhaltene Erfahrungswerte aus der Branche. Die 10% Fehlwürfe können zu einem grossen Teil als Ersatzbrennstoff genutzt werden. Schwierig ist der zahlenmässige Umgang mit der Menge an Restflüssigkeiten in den Hohlkörpern, für die keine Angaben vorliegen. In der vorliegenden Studie wird nicht näher darauf eingegangen, da die Menge zu gering ist, um einen wesentlichen Einfluss auf das Resultat zu haben.

Hohlkörper und Verpackungen Die mögliche stoffliche Verwertungsquote von Mischkunststoffen basiert auf Angaben aus zwei Sortiersversuchen der Firma Häusle AG in ihrem Werk in A-Lustenau, die 2013 durchgeführt wurden. Es wurden Mischkunststoffe aus Separatsammlungen von Haushalten in der Schweiz verwendet. Bei der Grundmenge sind die Fehlwürfe (d.h. Abfälle die nicht in die Separatsammlung gehören) mit enthalten. Die Sortiersversuche ergaben, dass rund 60% der werkstofflichen Verwertung zugeführt

werden kann, zur Herstellung von Regranulat. Der nicht werkstofflich verwertbare Anteil der Mischkunststoffe kann fast vollständig als EBS genutzt werden, d.h. beträgt gerundet 40%. Für die Variante 4 wird der Anteil EBS auf 30% reduziert, da ein Teil davon wahrscheinlich verölt wird².

Nachfolgend die pro Variante resultierenden Quoten für die Separatsammlungen und die Anteile werkstoffliche Verwertung bezüglich der separat gesammelten Menge im Überblick:

Abbildung 19: Quoten Separatsammlung und werkstoffliche Verwertung pro Variante

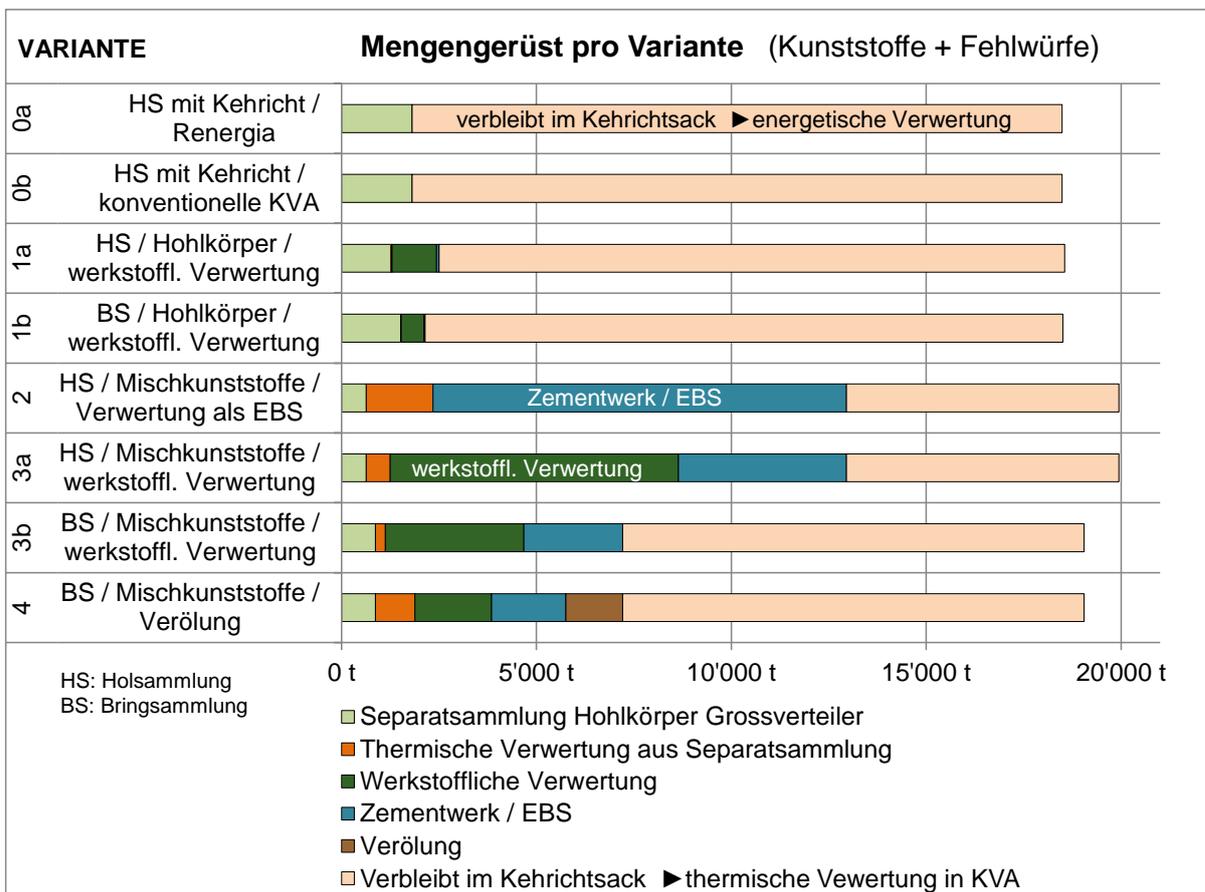


². Der Anteil für die Verölung stützt sich auf die Zahlen der Variante "Material Zug optimiert" innerhalb der Ökobilanz plastOil aus dem Jahr 2011 (Kilga & Wick, 2011) und beträgt 23%. Bei der Variante 4 werden 31% werkstofflich verwertet (ohne Fehlwürfe).

5.1.5 Mengengerüst für die vorliegende Studie

Auf der Basis der vorangehend erläuterten Grundlagen ergibt sich folgendes Mengengerüst, das für die vorliegende Studie verwendet wird:

Abbildung 20: Mengengerüst pro Variante inkl. Fehlwürfe



unterschiedliche Gesamtmengen: auf Fehlwürfe zurückzuführen

Bei den Varianten 0a und 0b wird nur im Detailhandel Kunststoff separat gesammelt. Bei den Varianten 2 und 3a werden die grössten Mengen an Kunststoffen separat gesammelt und den entsprechenden Verwertungswegen zugeführt. Bei den Varianten 3b und 4 sind die Sammelmengen geringer als bei den Holsammlungen, da es sich um eine Bringsammlung handelt.

Wie der Abbildung 20 zu entnehmen ist, variieren die Anteile der Fehlwürfe (siehe auch Kapitel 5.1.1), was sich in den totalen Sammelmengen widerspiegelt. Diese Differenzen werden bei der Berechnung der Nutzwerte diverser Kriterien mit einberechnet, da diese Abfälle auch gesammelt, transportiert und weiterverarbeitet werden müssen.

5.2 Kosten

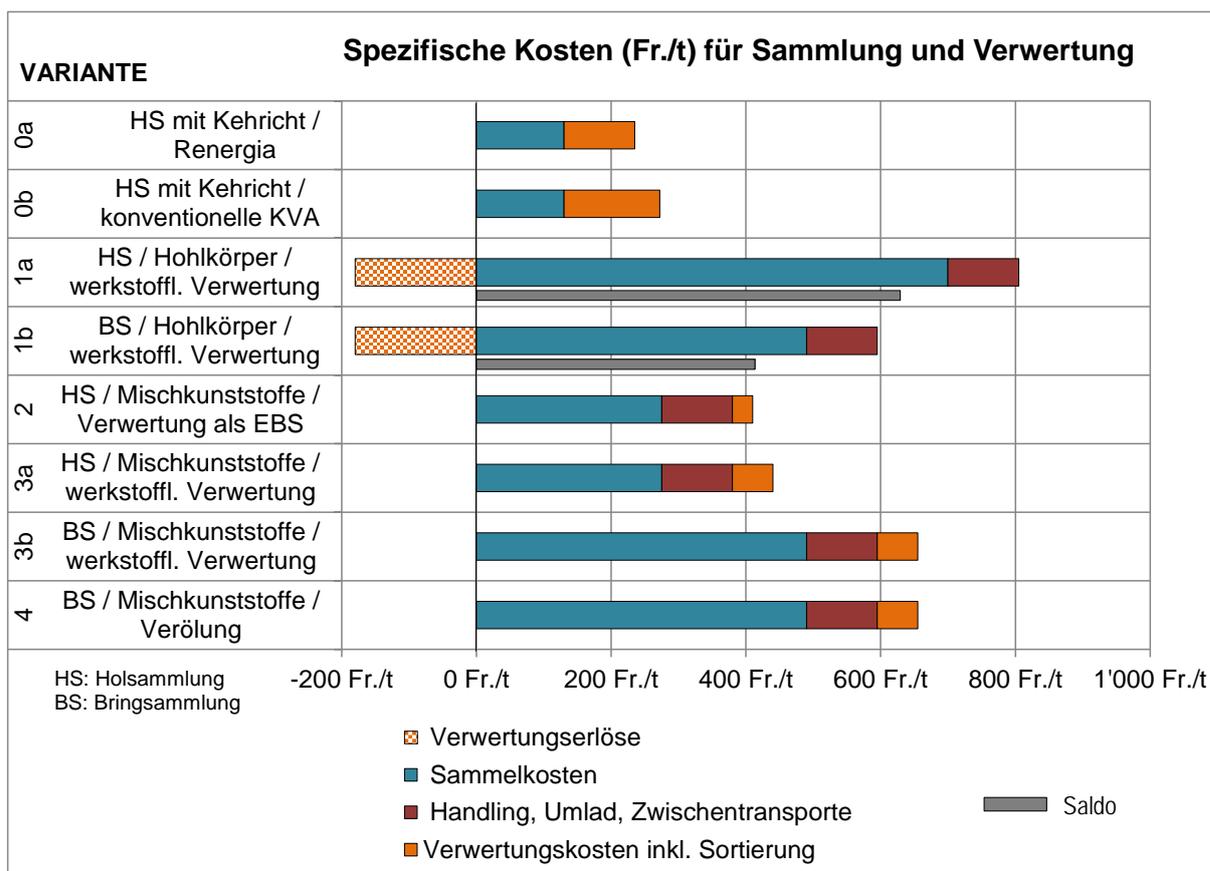
Die Kosten der Kunststoff-Separatsammlung sind Basis für die Bewertungskriterien O1 "Entsorgungskosten" sowie O2 "Minimierung des wirtschaftlichen Risikos", mit dem Indikator "Erwartete Preis-Volatilität der Produkte" (vgl. Kapitel 3.4.2).

Gemäss Vorgaben wird davon ausgegangen, dass für die Kunststoff-Separatsammlung keine separate Mengengebühr erhoben wird. Grundsätzlich wird die Veränderung der Kosten zu Lasten der heutigen Verbandsgebühren gegenüber dem aktuellen Zustand betrachtet (vgl. Erläuterungen im Kapitel 3.4.2a).

Als Grundlagen für die Kostenberechnungen wurden, soweit verfügbar, aktuelle Zahlen aus dem Entsorgungsmarkt verwendet. Für die Abfahren wurden Vergleichs- und Schätzwerte verwendet, da in der Schweiz noch keine Holsammlung von Kunststoffabfällen existiert.

Es wurden folgende spezifischen Kosten pro Tonne Kunststoffabfälle bestimmt:

Abbildung 21: aufgeschlüsselte spezifische Kosten pro t Kunststoffabfälle



wegfallende Kosten und Einnahmen

Bei der Einführung einer Kunststoffseparatsammlung fallen Einnahmen weg, die kompensiert werden müssen. Es sind dies die Mengengebühren, welche für die Kunststoffabfälle im Kehricht geleistet werden. Bei den Sackgebühren fallen die Einnahmen überproportional zum fehlenden Gewicht weg, weil Kunststoffabfälle leicht und voluminös sind, und damit "sackfüllend".

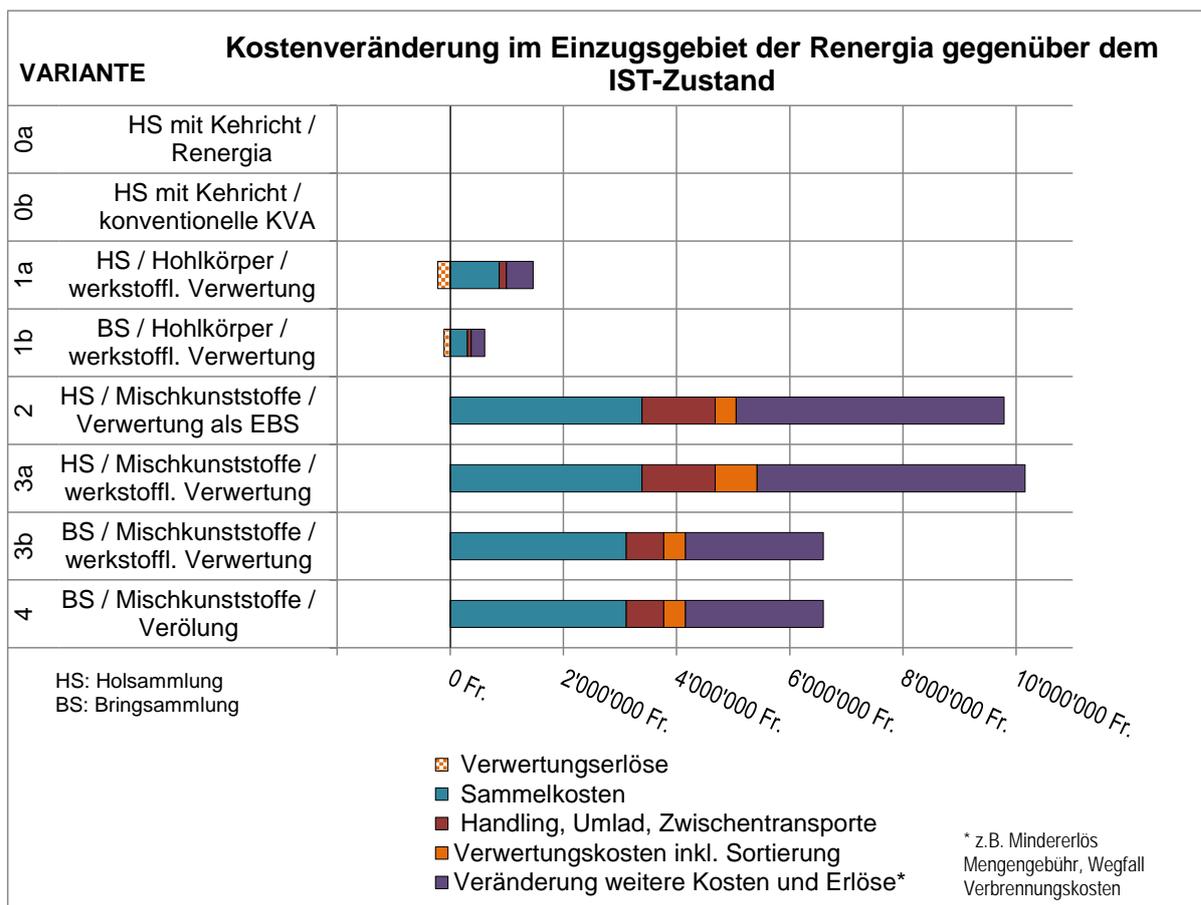
Tabelle 11: Berechnung Mindererlös pro t Kunststoffabfälle

	Wegfall Kosten	Wegfall Einnahmen
	Fr./t Kunststoff	
Kehricht-Mengengebühr		300
Andockgebühr Kehricht		10
Verbrennungskosten Kehricht	105	
Logistikkosten Kehricht (Effizienzgewinn)	30	
Mindereinnahmen wegen grösserem spezifischen Gewicht der Kehrichtsäcke		209
Summen	135	519
Saldo = Mindererlös CHF/t Kunststoff		384

Die wegfallenden Einnahmen werden durch die wegfallenden Kosten bei weitem nicht kompensiert.

Es ergibt sich folgendes Gesamtbild der Kostenveränderung gegenüber dem Ist-Zustand aus Sicht Abfallverband bzw. Gemeinde

Abbildung 22: Kostenveränderung gegenüber dem IST-Zustand



Die Einführung einer Kunststoffseparatsammlung mit grossen Sammelmengen führt für die Abfallverbände bzw. Gemeinden zu Mehrkosten bei der Entsorgung der Siedlungsabfälle in der Grössenordnung von gegen 20%. Für die Zentralschweiz sind dies rund Fr. 10 Millionen jährlich oder rund Fr. 15.- pro Kopf der Bevölkerung und Jahr. Bei einer Finanzierung über die Kehricht-Mengengebühr müssten die Ansätze um 20 bis 30% angehoben werden, was pro 35-Liter-

Kehrriechtsack etwa Fr. 0.40 bis Fr. 0.60 ausmacht, oder auf den Tonnenpreis bezogen rund Fr. 60.- bis Fr. 90.-

5.3 Datenqualität

5.3.1 Bereich Umwelt

Die Datenqualität hängt grossenteils von den verfügbaren Datenquellen ab. Für das werkstoffliche Recycling konnte auf primäre Daten aus der Industrie (Recycling von PE Folien) zurückgegriffen werden, welche als Grundlage für die Modellierung des Recyclings von vorsortierten Kunststofffraktionen dienen. Für die KVA und das Zementwerk stehen umfassende Modelle zur Verfügung. Ein Schwachpunkt bezüglich Datenverfügbarkeit stellt die Verölung dar. Tabelle 12 zeigt eine Zusammenstellung der Datenquellen und eine eigene Einschätzung der Datenqualität.

Tabelle 12: Übersicht Datenquellen zur Modellierung der einzelnen Verfahren

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

Neben der Datenquelle sind aber auch der unterschiedliche Grad an technischer Reife und die Vollkommenheit der Verfahren zu beachten. Dementsprechend ist auch die Datenqualität unterschiedlich und ein direkter Vergleich benötigt eine angemessene Berücksichtigung der unterschiedlichen Entwicklungen.

Die folgende Einschätzung erfolgt aufgrund des Wissenstandes der Autoren und hat einen gewissen subjektiven Charakter.

Tabelle 13:Übersicht des technischen Reifegrads der verschiedenen Verwertungswege

Verwertungsweg	Technische Reife
Konventionelle KVA Schweiz	ausgereifte Technik
KVA Renergia	ausgereifte Technik, State-of-the Art-Technologien
werkstoffliches Recycling	breitere Erprobung, funktionstüchtige kommerzielle Anlagen
Zementwerk	ausgereifte Technik
Verölung	erste Pilotanlagen

5.3.2 Bereich Ökonomie

Entsorgungskosten (O1) und Volatilität (O2)

Die Kriterien Entsorgungskosten (O1) und Volatilität (O2) werden monetär berechnet. Die verwendeten Grundlagedaten weisen unterschiedliche Qualität auf. Beim Kriterium O1 wurde mit verlässlichen Datenangaben und zuverlässigen Zahlen gerechnet. Die Grundlagedaten der Produktkosten- und Erlöse des Kriteriums O2 basieren auf Datenreihen der letzten fünf Jahre und sind den verfügbaren Quellen (Angaben InnoRecycling, EUWID (Europäischer Wirtschaftsdienst) und Rohstoffbörse und –preise von plasticker.de) entnommen.

Ausfallrisiko (O3.1) und Ausweichmöglichkeit (O3.2)

Die Kriterien Ausfallrisiko (O3.1) und Ausweichmöglichkeit (O3.2) wurden mittels einer durch die Autoren erstellten, ordinalen Skala bewertet. Die Bewertung weist eine geringe Unsicherheit auf. Da das Ausfallrisiko mit Ausnahme der Verölung bei allen Verwertungswegen gering bis sehr gering ist und sich der Aufwand für eine Ausweichung auf analoge, alternative Anlagen mit Ausnahme der Verölung in Grenzen hält, kann diese Einschätzung als robust bezeichnet werden.

5.3.3 Bereich Gesellschaft

Geruchsemissionen (G1.1) und Sammelkomfort (G3)

Die Kriterien Geruchsemissionen (G1.1) und Sammelkomfort (G3) wurden mittels einer ordinalen Skala von den Autoren bewertet. Beim Kriterium G1.1 wurden nur die beiden Nutzwertpunkte 0.33 und 1 vergeben, da die Separatsammlungen verglichen mit den KVA-Varianten mehr Geruchsemissionen verursachen. Das Kriterium G3 wurde zusätzlich mit den Experten des Fachbeirates diskutiert. Mittels Sensitivitätsanalysen wird der Einfluss der Variation dieser Kriterien auf das Ergebnis analysiert (siehe Kapitel 7.3). Es zeigt sich, dass auch ohne Berücksichtigung dieser Kriterien die Gesamtbewertung ähnlich bleibt.

Gesellschaftliche Akzeptanz (G2)

Das Kriterium Gesellschaftliche Akzeptanz (G2) wurde aufgrund der Auswertung der Bedürfnisumfrage REAL (GfK Switzerland AG, 2014) bewertet.

Lärm durch Schwerverkehr (G1.2)

Die Bewertung des Kriteriums Lärm durch Schwerverkehr (G1.2) basiert auf der Berechnung der Anzahl Lastwagenkilometer pro Variante. Die dafür verwendeten Distanzangaben gründen auf denselben wie die der Ökobilanzierung (siehe An-

hang 5). Die Distanzangaben für eine energetische, werkstoffliche und rohstoffliche Verwertung beziehen sich auf die Transporte zu aktuell vorhandenen Anlagen in der Schweiz, sind somit eher konservativ gewählt. Wenn entsprechende Anlagen im Falle einer flächendeckenden Sammlung gebaut würden, so würden sich die Distanzen allenfalls verringern. Insgesamt kann die Datenqualität für das Kriterium G1.2 als gut eingeschätzt werden. Folglich wird auf eine diesbezügliche Sensitivitätsanalyse verzichtet.

6 RESULTATE

6.1 Gesamtergebnis der Multikriterienanalyse

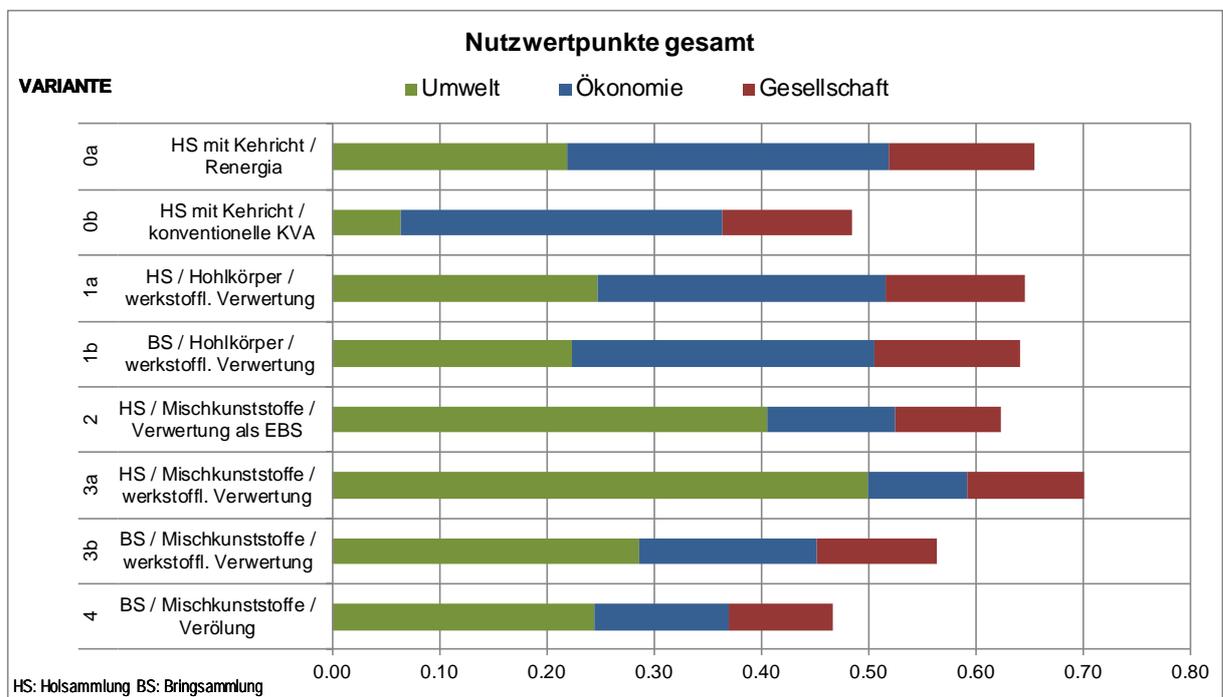
Das Gesamtergebnis der vorliegenden Multikriterienanalyse ist in Tabelle 14 und in Abbildung 23 aufgeführt.

Tabelle 14: Bewertungsergebnis der Multikriterienanalyse

VARIANTE	NUTZWERTPUNKTE / GEWICHTUNG			
	GESAMT	Umwelt	Ökonomie	Gesellschaft
		50%	30%	20%
<i>Sammelsystem / Sammelgut / Verwertungsweg</i>				
0a HS mit Kehricht / Renergia	0.65	0.22	0.30	0.14
0b HS mit Kehricht / konv. KVA	0.48	0.06	0.30	0.12
1a HS / Hohlkörper / werkstoffl. Verwertung	0.65	0.25	0.27	0.13
1b BS / Hohlkörper / werkstoffl. Verwertung	0.64	0.22	0.28	0.13
2 HS / Mischkunststoffe / Verwertung als EBS	0.62	0.41	0.12	0.10
3a HS / Mischkunststoffe / werkstoffl. Verwertung	0.70	0.50	0.09	0.11
3b BS / Mischkunststoffe / werkstoffl. Verwertung	0.56	0.29	0.17	0.11
4 BS / Mischkunststoffe / Verölung	0.47	0.24	0.13	0.10

HS: Holsammlung BS: Bringsammlung

Abbildung 23: Bewertungsergebnis der Multikriterienanalyse



Es zeigt sich, dass die Anzahl Nutzwertpunkte in den Bereichen Umwelt und Ökonomie meist gegensätzlich ausfallen. Je höher die Menge separat gesammelter Kunststoffe, desto höher fällt der Umweltnutzen aus, desto höher sind jedoch auch die Kosten. Haben die Varianten einen hohen Nutzwert im Bereich Umwelt, reduziert sich der Nutzwert im Bereich Ökonomie und umgekehrt. Es resultiert keine Variante, welche in beiden Bereichen einen hohen Nutzwert erzielt. Davon unabhängig ist der Nutzwert im Bereich Gesellschaft. Im Bereich Gesellschaft fallen die Unterschiede zwischen den Varianten generell sehr gering aus.

Der Gewichtung zwischen den Bereichen Ökonomie und Umwelt kommt deshalb für das Ergebnis eine grosse Bedeutung zu. Die entsprechende Sensitivitätsanalyse zeigt, dass die Bewertung auf eine Veränderung dieser Gewichtung sensitiv reagiert. Weitere Ausführungen hierzu: siehe Kapitel 7.2 und Kapitel 8.3.

Nachfolgend werden die Varianten in der Reihenfolge ihrer Nutzwertpunkte gemäss Bewertungsergebnis der Multikriterienanalyse aufgeführt.

Detaillierte Erläuterungen zu den Ergebnissen der einzelnen Varianten in den drei Bereichen sind in Kapitel 6.2 bis 6.4 zu finden.

Variante 3a: Holsammlung Mischkunststoffe, werkstoffliche Verwertung

Die Variante 3a erreicht in der Gesamtbewertung mit 0.70 die höchste Anzahl Nutzwertpunkte. Bemerkenswert ist, dass sie im Bereich Umwelt die höchste und im Bereich Ökonomie die geringste Punktzahl aufweist. Der Nutzwert im Bereich Gesellschaft ist vergleichsweise eher tief, bei aber nur geringen Abständen.

Variante 0a: Sammlung zusammen mit dem Kehricht, energetische Verwertung in der KVA Renergia

Die Variante 0a "Renergia" liegt mit 0.65 Nutzwertpunkten auf Rang zwei und erzielt 0.045 Nutzwertpunkte (rund 7 %) weniger als die erstplatzierte Variante 3a. Im Bereich Ökonomie und Gesellschaft weist diese Variante die höchste Punktzahl auf und im Bereich Umwelt liegt sie im unteren Mittelfeld..

Varianten 1a: Holsammlung Hohlkörper, werkstoffliche Verwertung

Die Variante 1a erreicht mit 0.65 Nutzwertpunkten den dritten Platz in der Bewertung. Der Abstand zur erstplatzierten Variante beträgt 0.05 Punkte (rund 7%). In den Bereichen Ökonomie und Gesellschaft werden vergleichsweise hohe Nutzwerte und im Bereich Umwelt ein mittlerer Nutzwert erzielt.

Variante 1b: Bringsammlung Hohlkörper, werkstoffliche Verwertung

Die Variante 1b erreicht 0.64 Nutzwertpunkte und liegt auf vierter Position. Im Bereich Umwelt liegt der erzielte Nutzwert im unteren Mittelfeld und in den Bereichen Ökonomie und Gesellschaft im oberen Bereich.

Variante 2: Holsammlung Mischkunststoffe, Verwertung als Ersatzbrennstoff in einem Zementwerk

Die Variante 2 erreicht 0.62 Nutzwertpunkte. Im Bereich Umwelt liegt sie mit einer hohen Punktzahl an zweiter Stelle, im Bereich Ökonomie erzielt sie einen tiefen und im Bereich Gesellschaft einen tiefen Nutzwert..

Variante 3b: Bringsammlung Mischkunststoffe, werkstoffliche Verwertung

Die Variante 3b weist mit 0.56 Nutzwertpunkten einen grösseren Abstand zu den voranliegenden Varianten auf. Im Bereich Umwelt liegt die Variante im oberen Mittelfeld in den Bereichen Ökonomie und Gesellschaft erzielt die Variante vergleichsweise tiefe Nutzwerte.

Variante 0b: Sammlung zusammen mit dem Kehricht, energetische Verwertung in einer konventionelle KVA

Die Variante 0b weist die zweitgeringste Punktzahl auf. Sie unterscheidet sich von der Varianten 0a in der wesentlich geringeren Umweltperformance sowie der geringeren gesellschaftlichen Akzeptanz. Im Bereich Ökonomie erzielt sie allerdings analog Variante 0a einen hohen Nutzwert.

Variante 4: Bringsammlung Mischkunststoffe, Verölung

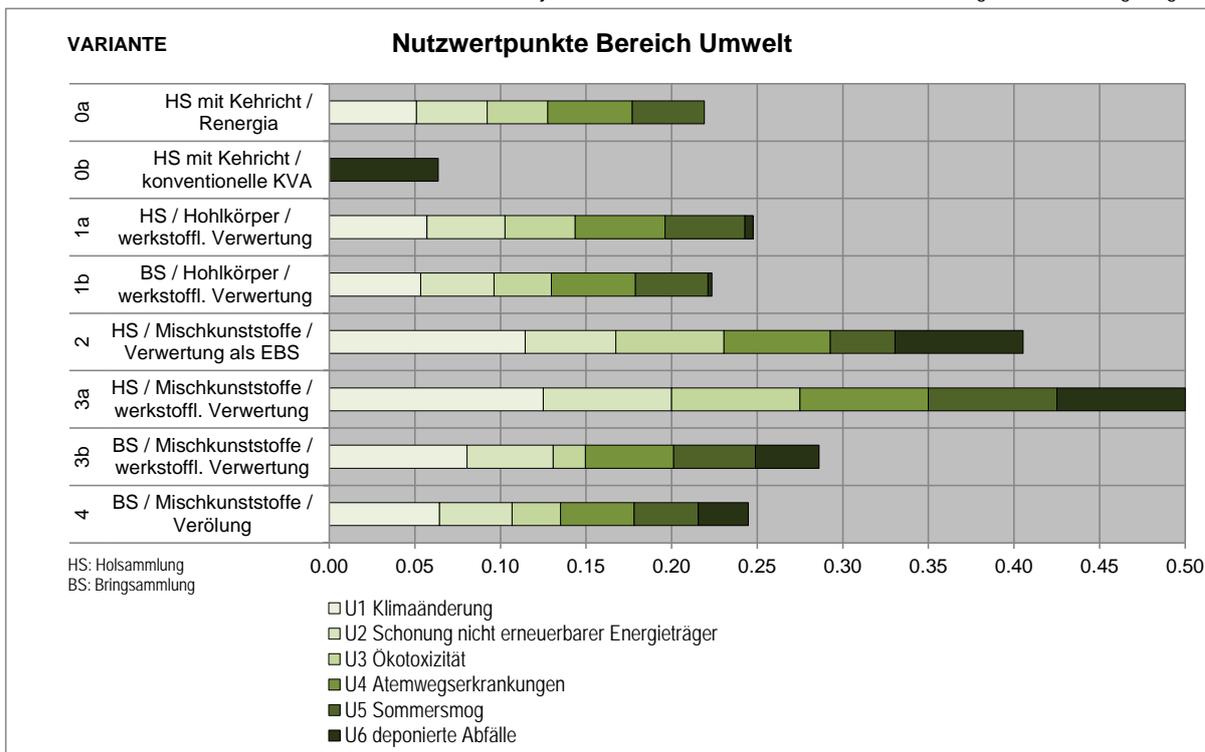
Die Variante 4 belegt den letzten Platz. Im Bereich Umwelt wird nur eine mittlere und in den Bereichen Ökonomie und Gesellschaft eine tiefe Punktzahl erreicht.

6.2 Ergebnisse im Bereich Umwelt

6.2.1 Übersicht Ergebnisse

Abbildung 24 zeigt die Nutzwerte des Bereichs Umwelt, aufgeteilt in die einzelnen Umweltindikatoren U1 bis U6. Je grösser der Nutzwert desto besser ist die Bewertung des Verwertungsweges.

Abbildung 24: Ergebnisse des Bereichs Umwelt je höher der Nutzwert, desto besser die Bewertung des Verwertungsweges



Die Variante 3a (Holsammlung Hohlkörper und Verpackungen, werkstoffliche Verwertung) erzielt den höchsten Nutzwert, nicht nur gesamthaft, sondern auch innerhalb aller Umweltindikatoren. Aus Sicht der Umweltbelastung ist die Variante 3a, bei welcher etwa die Hälfte des separat gesammelten Kunststoffes zu Regranulat aufbereitet wird und ein grosser Teil der Reststoffe im Zementwerk als EBS verwertet werden kann, die vorteilhafteste Lösung.

Variante 2 (Holsammlung Hohlkörper und Verpackungen, Zementwerk) erzielt ebenfalls einen relativ hohen Nutzwert, welcher deutlich höher ist als derjenige der folgenden Varianten. Auf der anderen Seite erhält Variante 0b (Sammlung zusammen mit dem Kehricht, konventionelle KVA) für alle Indikatoren, mit Ausnahme der deponierten Abfälle (U6), den Nutzwert 0 und somit auch gesamthaft den tiefsten Nutzwert.

Verwertung im Zementwerk

Grundsätzlich erzielt die Verwertung von Kunststoff im Zementwerk zur Klinkerherstellung einen relativ hohen Nutzen. Tabelle 15 zeigt, wie viel konventionelle Brennstoffe 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. Der gesamte Energieinhalt von Kunststoff wird vollständig ausgenutzt, d.h. er ersetzt einen anderen Energieträger im Verhältnis 1:1. Der Energieinhalt von Kunststoff wird benötigt um die entsprechende Wärme im Zementofen zu erbringen damit Klinker produziert werden kann. Durch den hohen Heizwert von Kunststoff kann 1 kg Kunststoff im Zementwerk ca. 1.5 kg konventionelle Brennstoffe, dabei hauptsächlich Kohle, ersetzen. Belastungsseitig wird die Mitverbrennung von Kunststoff im Zementwerk gerechnet (Spalte 4 in Tabelle 15). Die Gutschrift widerspiegelt die Herstellung von Klinker mit konventionellen Brennstoffen (Spalte 3 in Tabelle 15). Kohle hat einen hohen C-Gehalt, so dass bei der Verbrennung von Kohle höhere CO₂-Emissionen pro kg entstehen als bei der Verbrennung von Kunststoff. Aber auch andere Schadstoffe wie Emissionen von Schwefeldioxid, Partikel und Stickoxide werden durch den Ersatz von Kohle mit Kunststoff eingespart. Kunststoff ersetzt im Zementwerk „belastungsintensive“ Brennstoffe, wodurch ein hoher Nutzen entsteht. Dies betrifft hauptsächlich die Varianten 2 und 3a, in welchen die höchsten Mengen Kunststoff im Zementwerk verwendet werden (siehe auch Kapitel 5.1.5 Mengengerüst).

Tabelle 15: 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	-

Wärme- und Stromproduktion KVA

Produziert eine KVA Wärme und Strom, so wird ihr die Wärme- und Stromproduktion eines Erdgaskraftwerkes gutgeschrieben (siehe auch Kapitel 3.1). Dabei beeinflusst die Wahl der Technologie zur Stromproduktion die Gutschrift massgeblich. Wie sich die Resultate verhalten, falls anstatt Strom aus Erdgaskraftwerken Strom aus Braunkohlekraftwerken gutgeschrieben wird, wird in einer Sensitivitätsanalyse untersucht und ist in Kapitel 7.5 beschrieben.

Varianten 0a und 0b

Im Vergleich zu Variante 0a fällt Variante 0b deshalb zurück, weil sie die tieferen Gutschriften erzielt, d.h. die Wärme- und Stromproduktion nicht so hoch ausfallen wie beispielsweise bei der KVA Renergia. Dieses Beispiel zeigt, dass die Standortwahl einer KVA von hoher Bedeutung ist. Die KVA Renergia hat mit der Papierfabrik Perlen einen konstanten Wärmeabnehmer über das ganze Jahr, wodurch ein hoher Gesamtenergienutzungsgrad von 66% erreicht werden kann. Im Vergleich dazu wird für die konventionelle KVA ein Gesamtenergienutzungsgrad von rund 36% angenommen (siehe auch Kapitel 2.4.3).

Varianten 1a und 1b ähnlich wie 0a

Der Unterschied von Variante 0a (Sammlung zusammen mit dem Kehricht, KVA Renergia) zu den Varianten 1a/1b (Hol- bzw. Bringsammlung Hohlkörpern und werkstoffliche Verwertung) besteht in der Separatsammlung der Hohlkörper. Mit

einer Sammlung der Hohlkörper wird eine relativ geringe Menge Kunststoff separat gesammelt und werkstofflich verwertet, wodurch sich der Nutzwert für die Varianten 1a und 1b erhöht.

- Variante 2 In Variante 2 wird ein Grossteil des gesammelten Kunststoffs als Ersatzbrennstoff in einem Zementwerk verwertet. Wie weiter oben schon erwähnt erzielt die Verwertung im Zementwerk durch den Ersatz fossiler Brennstoffe wie Kohle relativ hohe Nutzwerte.
- Varianten 3a und 3b In Variante 3a wird der grösste Anteil des Kunststoffs rezykliert, aber immer noch ein namhafter Anteil als EBS im Zementwerk verbrannt (siehe auch Kapitel 5.1.5). Das Rezyklieren des verwertbaren Kunststoffanteils in Kombination mit der Verbrennung der anfallenden Restfraktion im Zementwerk erzielt einen höheren Nutzwert als die Verbrennung der gesamten Fraktion im Zementwerk (Variante 2). Der Ersatz von Primärkunststoff erzielt ebenfalls hohe Nutzwerte, einerseits ist Primärkunststoff fossilen Ursprungs und andererseits ist dessen Herstellung vergleichsweise aufwändig. Im Weiteren ist der relativ grosse Unterschied zwischen Variante 3a (Holsammlung Hohlkörper und Verpackungen, werkstoffliche Verwertung) und Variante 3b (dasselbe, aber Bringsammlung) interessant. Grund dafür ist das Sammelsystem. Einerseits wird durch die Bringsammlung deutlich weniger Kunststoff separat gesammelt als mit einer Holsammlung und andererseits wird der gesamte separat gesammelte Kunststoff individuell von jedem Konsumenten zum Ökohof gebracht. Durch die geringere separat gesammelte Menge wird ein grösserer Anteil der Kunststoffe zusammen mit dem Kehricht in einer KVA verbrannt, dies führt v.a. bezüglich Treibhausgas-Emissionen zu höheren Aufwendungen im Vergleich zu Variante 3a. Hinzu kommt, dass der grösste Anteil der Konsumenten die Kunststoffe per PKW zum Ökohof fahren wird. Dieser Mehraufwand an privaten Transporten und der damit verbundene Verbrauch an Benzin und Diesel führen zu höheren Belastungen im Vergleich zu Variante 3a bezüglich aller Indikatoren.
- Variante 4 Variante 4 (Verölung und werkstoffliche Verwertung, Hohlkörper und Verpackungen, Bringsammlung) ist grundsätzlich bezüglich Massenströme mit Variante 3b vergleichbar. Die Verölung führt nur zu leicht höheren Belastungen. Die aus der Verölung resultierenden Produkte (Heizöl extraleicht und Naphtha) führen jedoch in den meisten Indikatoren zu geringeren Gutschriften als die Gutschrift für Primärkunststoff, dadurch erzielt Variante 3b den höheren Nutzwert als Variante 4.

6.2.2 Betrachtung pro Kriterium U1 bis U6

Das grösste Gewicht kommt dem Kriterium U1 (Klimaänderung) zu, die anderen Kriterien sind untereinander gleichbedeutend (siehe auch Kapitel 3.3.2).

- Klimaänderung (U1) Der grösste Nutzen betreffend dem Kriterium Klimaänderung (U1) wird von Variante 3a erzielt, gefolgt von Variante 2, siehe Abbildung 25. Variante 3a erzielt hohe Gutschriften für die Vermeidung der Herstellung von Primärkunststoff und Variante 2 erzielt hohe Gutschriften für den Ersatz konventioneller Brennstoffe durch Kunststoffe im Zementwerk. Varianten 3a, 3b und 4 profitieren ebenfalls von diesem Effekt, da auch in diesen Varianten eine relativ hohe Menge Kunststoff im Zementwerk verwertet wird. In den Varianten 0 und 1 wird der Kunststoff haupt-

sächlich in KVAs verbrannt, wodurch bezüglich Klimaänderung ein tieferer Nutzwert entsteht als in Varianten 2, 3 und 4. Neben den bereits weiter oben beschriebenen Einflussfaktoren in der Klinkerproduktion (Ersatz von Kohle, höherer C-Gehalt der Kohle, etc.) muss beachtet werden, dass in einem Zementwerk der Energieinhalt von Kunststoff zu 100% ausgenutzt werden kann, im Gegensatz zur KVA Renergia, in welcher der energetische Wirkungsgrad 66% beträgt. Die Ergebnisse dieses Indikators werden im Detail in Kapitel 6.2.3 diskutiert.

Schonung nicht erneuerbarer Energieträger (U2)	Beim Kriterium "Schonung nicht erneuerbarer Energieträger" (U2) erzielt Variante 3a den höchsten und Variante 0b den tiefsten Nutzwert. Dieser Indikator wird sehr stark von den Gutschriften dominiert, da alle Gutschriften als nicht erneuerbare (fossile) Energieträger definiert wurden.
Ökotoxizität (U3)	Die Ökotoxizität (U3) 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, dies sind namentlich Transporte, Gutschriften für Wärme ab Schwerölverbrennung, Gutschriften für Kunststoff sowie die Gutschriften für Ölprodukte aus der Verölung. 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 (siehe auch Mengengerüst Kapitel 5.1.5). Der Privatverkehr erklärt die tiefen Nutzwerte der Varianten 3b und 4, beide beinhalten eine Bringsammlung. Variante 4 erzielt einen höheren Nutzwert als Variante 3b, da für die Produktöle aus der Verölung hohe Gutschriften erzielt werden.
Atemwegserkrankungen (U4)	Bei den Atemwegserkrankungen (U4) sind die Emissionen an NO _x , SO ₂ und Partikel von grösster Bedeutung. Der höchste Nutzwert wird wiederum von Variante 3a, gefolgt von Variante 2 erzielt. Varianten 2 und 3a erzielen sowohl auf Seite der Belastungen wie auch auf Seite der Gutschriften die höchsten Emissionen (siehe Kapitel 6.2.3). Der tiefste Nutzwert wird Variante 0b zugewiesen, wiederum aufgrund der geringen Gutschriften. Die Ergebnisse dieses Indikators werden im Detail in Kapitel 6.2.3 diskutiert.
Sommersmog (U5)	Im Bereich Sommersmog (U5) werden die Ergebnisse von NO _x und NMVOC Emissionen dominiert. Bei diesem Indikator erzielt die Variante 3a mit Abstand den höchsten Nutzwert, aufgrund der hohen Gutschriften für den Ersatz von Primärkunststoff. Auffällig ist, dass Variante 2 bei diesem Indikator ebenfalls stark abfällt und nur den zweitletzten Platz einnimmt. Dies ist u.a. auf die hohen NO _x Emissionen der Zementwerke zurückzuführen, die grösstenteils über keine DENOX Anlage verfügen.
Volumen deponierter Abfälle (UTD & EL) (U6)	Mit Blick auf den letzten Umweltindikator U6 (deponierte Abfälle UTD & EL) erzielen Varianten 3a und 2 den höchsten und Variante 0a den tiefsten Nutzwert. Die Ergebnisse dieses Indikators hängen stark mit den Annahmen für die Entsorgung der KVA Rückstände zusammen (siehe Kapitel 2.4.3), wobei der Anteil der Rückstände welche auf einer Untertagedeponie (UTD) entsorgt werden massgeblich ist.

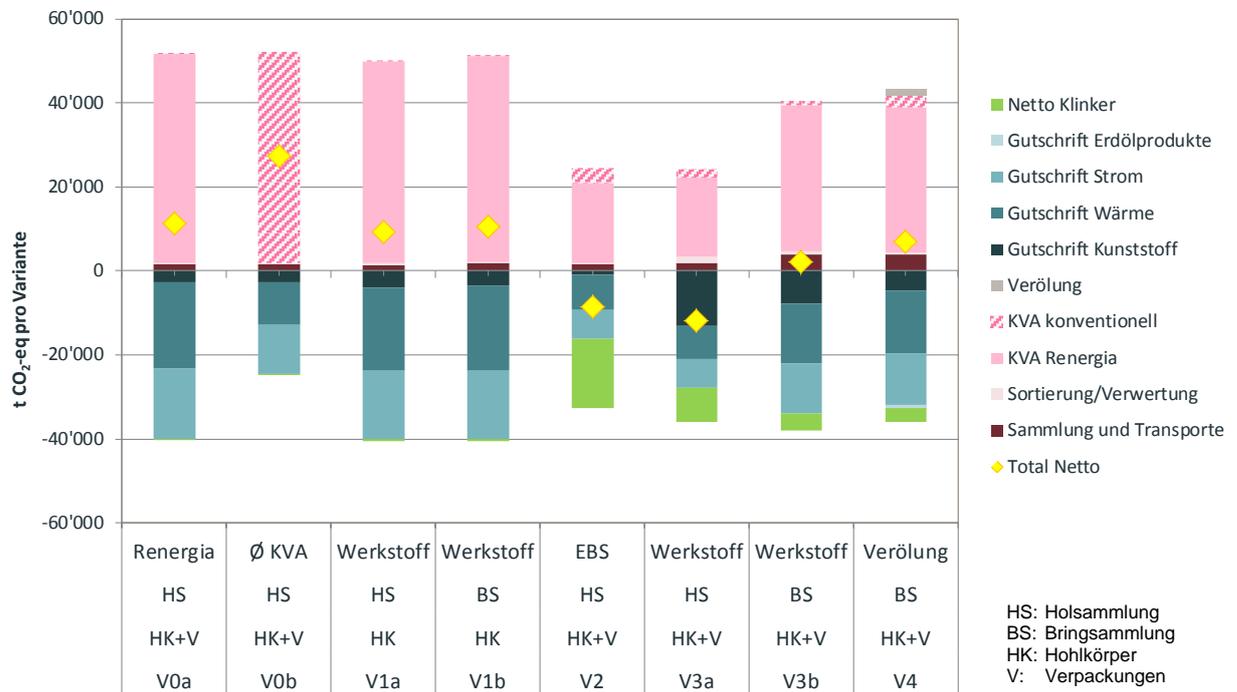
Die Entsorgungssituation für die KVA Rückstände wird sich aufgrund der neuen TVA (TVA, 2015) bis ins Jahr 2020 verändern. Aus diesem Grund wurde für die konventionelle KVA und die KVA Renergia dieselbe Entsorgungssituation der Flugasche angenommen. Bei einer konventionellen KVA fällt im weiteren Filterkuchen aus der KVA-internen Abwasserreinigungsanlage und bei der KVA Renergia fallen feste Rückstände aus der trockenen Rauchgasreinigung an, beide Rückstände werden ebenfalls teilweise in einer Untertagedeponie entsorgt. Mit diesen Annahmen verursacht die KVA Renergia die grösste Menge an Rückständen welche auf einer UTD deponiert werden und somit den geringsten Nutzwert innerhalb von U6. In Varianten 3a und 2 wird die geringste Menge Kunststoff in einer KVA verwertet weshalb sie bei diesem Indikator den höchsten Nutzwert erzielen.

6.2.3 Direkte Umweltwirkungen vs. Gutschriften

Im vorliegenden Kapitel werden die Varianten bezüglich Treibhausgas-Emissionen und Atemwegserkrankungen im Detail diskutiert. Resultate weiterer Indikatoren sind im Anhang 2 aufgeführt. Dabei werden die Auswirkungen der Verfahren (= direkte Umweltwirkungen) den Einsparungen von Standardprozessen durch die erzeugten Produkte (= Gutschriften) gegenübergestellt. Die Zusammensetzung der Gutschriften ist in Kapitel 3.1 dargestellt. Die Umwelteinwirkungen verursachen Umweltbelastungen, welche durch die Gutschriften reduziert werden. Die Umwelteinwirkungen verursachen positive, die Gutschriften hingegen negative Umweltbelastungen. Das Nettoergebnis (Umwelteinwirkung minus Gutschriften) wird mit Dreiecken dargestellt (Abbildung 25 und Abbildung 26). Diese können sowohl positive Werte (Umwelteinwirkungen sind höher als Gutschriften) wie auch negative Werte (Gutschriften sind höher als Umwelteinwirkungen) ergeben.

Zementwerk	In der Produktion von 1000 kg Klinker wird 10 kg Kunststoff eingesetzt (siehe Kapitel 2.4). Eine Verwertung von 10 kg Kunststoff im Zementwerk bildet demnach die Herstellung von 1000 kg Klinker ab, inklusive der Verbrennung von Kohle, Petrolkoks, Erdöl, Kalkstein, Mergel und anderen Brenn- und Rohstoffen. Dies hat hohe Ressourcen- und Energieverbräuche auf Seite der Belastungen wie auch auf Seite der Gutschriften zur Folge. Die Gutschrift widerspiegelt die Klinkerproduktion mit konventionellen Energieträgern, belastungsseitig wird die Herstellung unter der Mitverbrennung von Kunststoff (vergleiche auch Kapitel 6.2.1, Tabelle 15) gerechnet. In den Abbildungen werden die Belastungen und Gutschriften, die durch die Klinkerherstellung verursacht werden, nur als Nettoergebnis (grün) dargestellt, da sie ansonsten die Skala sprengen würden. Die Gutschriften für die Klinkerproduktion mit konventionellen Energieträgern fallen höher aus als die Belastungen der Klinkerproduktion unter Mitverbrennung der Kunststoffe. Gründe dazu werden bereits in Kapitel 6.2.1 aufgeführt (hauptsächlich Ersatz von Kohle, 100%-ige Ausnutzung des Energieinhaltes, Einsparungen von CO ₂ , NO _x , SO _x , etc.). Dies führt dazu, dass für alle Indikatoren eine Nettogutschrift für Klinker resultiert.
Verölung	Die Umwelteinwirkung der Verölung wird aufgrund der schlechten Datenqualität in grau dargestellt. Für dieses Verfahren konnte aufgrund der beschränkten Verfügbarkeit von Informationen keine fundierte Sachbilanz erstellt werden. Das Ergebnis beruht auf einer groben Abschätzung über die Ergebnisse einer bestehenden Ökobilanz (siehe Kapitel 2.4).

Abbildung 25: Treibhausgas-Emissionen in t CO₂-eq pro Variante



Die Umwelteinwirkungen sind rot und die Gutschriften grün dargestellt. Für die Klinkerproduktion wird das Nettoergebnis dargestellt. Das totale Nettoergebnis (Umwelteinwirkung – Gutschriften) wird mit Dreiecken dargestellt.

Abbildung 25 zeigt die Treibhausgas-Emissionen der untersuchten Varianten. Für Varianten 0, 1, 3b und 4 sind die Belastungen höher als die Gutschriften, im Gegensatz resultieren für Varianten 2 und 3a höhere Gutschriften als Belastungen.

Auf Seite der Umweltauswirkungen verursacht eine Verbrennung der Kunststoffe in einer KVA hohe Emissionen. Kunststoff ist ein fossiler Energieträger und verursacht bei dessen Verbrennung entsprechende CO₂-Emissionen. Dabei ist es von geringer Bedeutung, in welcher KVA der Kunststoff verbrannt wird. Je höher die Menge Kunststoff, welche in einer Variante in der KVA verbrannt wird, desto höher sind die entsprechenden Belastungen.

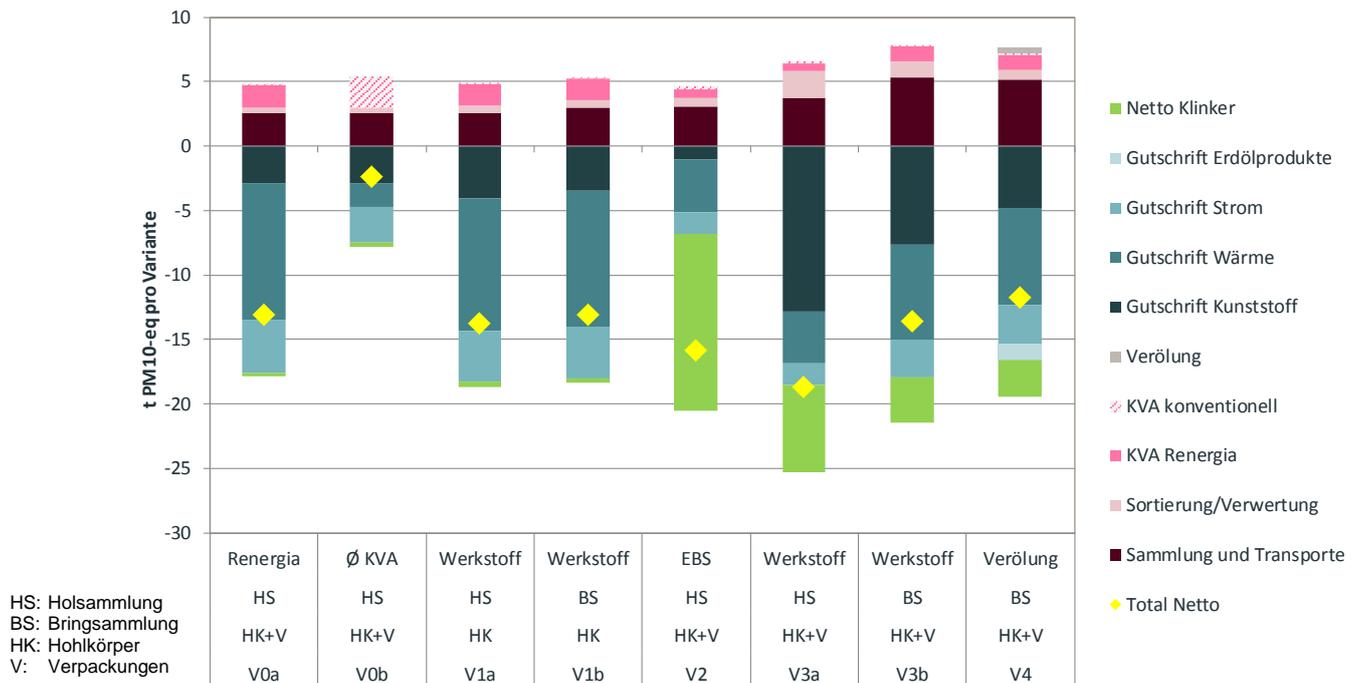
Auf Seite der Gutschriften zeigt sich, dass eine vordergründige Verbrennung der Kunststoffe in der KVA Renergia (Varianten 0, 1a und 1b) zu den insgesamt höchsten Gutschriften führt.

In Variante 0b zeigt sich zudem die Auswirkung der in Kapitel 6.2.1 erwähnten „geringen“ Gutschriften. Die tiefere Energieeffizienz einer durchschnittlichen KVA führt zu geringeren Wärme- und Stromgutschriften im Vergleich zu Variante 0a (KVA Renergia) und somit zu den höchsten Nettobelastungen und zum tiefsten Nutzwert.

Die Umweltauswirkungen der Varianten 2 und 3a sind vergleichbar. In beiden Varianten wird dieselbe Menge Kunststoff in der KVA Renergia verbrannt (siehe Kapitel 5.1.5 Mengengerüst). Aus Abbildung 25 ist ersichtlich, dass Variante 3a höhere

Gutschriften erzielt als Variante 2. Die Gutschriften für Wärme und Strom sind ungefähr gleich hoch für beide Varianten. Die hohe Gutschrift für die Klinkerproduktion in Variante 2 vermag jedoch die Gutschriften für die Vermeidung der Herstellung von Primärkunststoff der Variante 3a in Kombination mit den Klinkergutschriften nicht zu kompensieren.

Abbildung 26: Atemwegserkrankungen in t PM10-eq pro Variante.



Die Umwelteinwirkungen sind rot und die Gutschriften grün dargestellt. Für die Klinkerproduktion wird das Nettoergebnis dargestellt. Das totale Nettoergebnis (Umwelteinwirkung – Gutschriften) wird mit Dreiecken dargestellt.

Abbildung 26 zeigt die Ergebnisse des Indikators Atemwegserkrankungen. Innerhalb der Atemwegserkrankungen sind die Emissionen von Stickoxiden (NO_x), Schwefeldioxid (SO_x) und Partikel von grösster Bedeutung. Variante 1b verursacht die höchsten und Variante 3a die geringsten Belastungen. Die Gutschriften fallen durchwegs höher aus als die Belastungen.

Auf Seite der Umweltauswirkung ist die Sammlung für einen beträchtlichen Anteil der Belastungen verantwortlich. Dieser ist in den Varianten 3b und 4 aufgrund der Bringsammlung und der damit verbundenen privaten PKW Transporte zum Ökihof höher als in anderen Varianten. Die Bringsammlung in Variante 1b kommt nicht so stark zum Tragen, da in dieser Variante nur Hohlkörper und somit nur eine geringe Menge Kunststoffe separat gesammelt wird. Durch die Sammeltransporte aber auch durch die Transporte zwischen den Anlagen (z.B. von der Sortieranlage zum Zementwerk oder in die KVA, etc.) entstehen Stickoxid- aber auch Partikelemissionen, welche diesen Indikator beeinflussen.

Neben den Transportaufwendungen verursachen die Verbrennung des Kunststoffs in der KVA sowie die Sortierung/Verwertung atemwegsrelevante Umweltbelastungen.

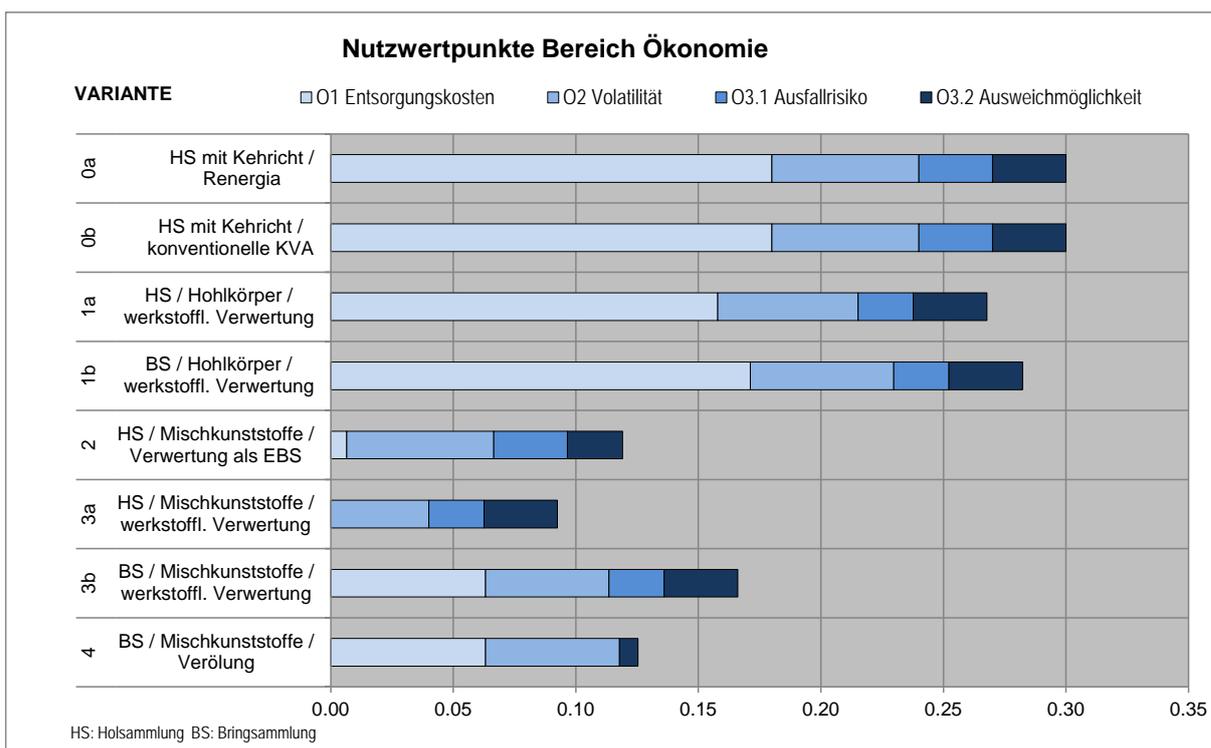
gen. Diese sind jedoch deutlich geringer als die durch die Standardprozesse erzielten Gutschriften. Vor allem die Gutschrift für die Wärme ab der KVA Renergia resultiert in hohen Werten. Neben der Erdgasfeuerung wird auch eine Schwerölverbrennung gutgeschrieben (vergleiche auch Kapitel 3.1) womit auch die damit verbundenen Emissionen gutgeschrieben werden. Die Bereitstellung von Kunststoff-Regranulat führt ebenfalls zu beträchtlichen Gutschriften. In der Klinkerherstellung führen der Ersatz von Kohle durch Kunststoff zu Gutschriften bezüglich SO_x, Ammoniak, NO_x und Partikelemissionen.

6.3 Ergebnisse Bereich Ökonomie

6.3.1 Übersicht Ergebnisse

Die gewichteten Bewertungen im Bereich Ökonomie sind in Abbildung 27 aufgezeigt.

Abbildung 27: Gesamtnutzwertpunkte des Bereichs Ökonomie, Standardgewichtung



Wie die Abbildung 27 zeigt, erhalten im Bereich Ökonomie die beiden Varianten 0a (Sammlung zusammen mit dem Kehricht, Renergia) und 0b (konventionelle KVA), am meisten Nutzwertpunkte. Nachfolgend die beiden Varianten 1b und 1a, bei denen nur Hohlkörper gesammelt werden. Die Varianten 2 und 3a erhalten am wenigsten Nutzwertpunkte.

Grundlagen zu den Kriterien: siehe Kapitel 3.4.1
 Berechnung: siehe Anhang 3.

6.3.2 Kriterium O1 "Entsorgungskosten"

Die Entsorgungskosten (Kriterium O1) weisen innerhalb der untersuchten Varianten eine hohe Variation auf. Da sie innerhalb des Bereichs Ökonomie mit der Gewichtung von 60% versehen sind, bilden die Entsorgungskosten den Schwerpunkt des Kriteriums "Ökonomie".

Innerhalb der Entsorgungskosten spielt die Kostenveränderung (Mehrkosten) bezogen auf die Menge separat gesammelten Kunststoff die Hauptrolle. Je mehr Kunststoffe separat gesammelt, transportiert, sortiert und verwertet werden, desto höher werden die Kosten, die dem Verband zusätzlich zum heutigen System anfallen. Dazu kommen die nicht eingenommenen Mengengebühren und zusätzliche Mindereinnahmen bei den Sackgebühren (aufgrund des grösseren, spezifischen Gewichts der Kehrriechsäcke), die dem Verband bei zunehmenden, separat gesammelten Kunststoffmengen ausbleiben. Die wegfallenden Verbrennungskosten und die nur geringfügig kleineren Logistikkosten (Kehrriechabfuhr) vermögen die Mindereinnahmen nicht zu kompensieren, was die Separatsammlung verteuert (vgl. Angaben im Kapitel 5.2).

Die Varianten 0a und 0b weisen keine Mehrkosten und keine Ertragsausfälle aus, weil die Kunststoffe nicht separat gesammelt werden müssen, was diesen Varianten am meisten Nutzwertpunkte einbringt.

Der Nutzen der Varianten 0 und 1 ist bezüglich Entsorgungskosten vergleichbar. Dies hängt mit den geringen Mengen an Hohlkörpern zusammen, die vom Verband separat gesammelt werden.

Die Varianten 3b und 4 fallen bezüglich Mehrkosten bereits deutlich zurück, weil auch die Verpackungsmaterialien separat gesammelt und weiterverarbeitet werden.

Die Varianten 2 und 3a, wo am meisten Kunststoffe separat im Holsystem gesammelt werden, bekommen aufgrund der höchsten Entsorgungskosten am wenigsten Nutzwertpunkte. Gründe sind die für die höheren Kosten für die Sammlung der recht grossen Mengen, sowie die Mindereinnahmen aufgrund wegfallender Mengengebühren Kehrriech (vgl. Kapitel 5.2).

6.3.3 Kriterium O2 "Minimierung des wirtschaftlichen Risikos"

Das Kriterium O2 "Minimierung des wirtschaftlichen Risikos" wird bei denjenigen Varianten, wo aus Kunststoffabfällen Mahlgut oder Regranulat hergestellt wird, relevant (Varianten 1, 3 und 4). Die Preise für Sekundärkunststoffe sind den Schwankungen des Marktes unterworfen. Je mehr Sekundärkunststoffe pro Variante hergestellt werden, d.h. je grösser der Anteil, der werkstofflich verwertet wird, desto höher ist die Abhängigkeit von den Marktschwankungen für diese Produkte und desto höher das wirtschaftliche Risiko für den Verband.

Primäres Ziel einer KVA ist die Entsorgung der Abfälle und nicht die Energieproduktion, weshalb die Varianten 0 von Schwankungen der Strompreise weniger betroffen sind. Ähnliches gilt für Zementwerke (Variante 2). Die Varianten 0 und 2 er-

zielen aus diesem Grund die höchsten Nutzwertpunkte (1 Punkt). Die Variante 3a (Holsammlung Mischkunststoffe, werkstoffliche Verwertung) hingegen erhält mit 0.67 Punkten die geringste Nutzwerte, weil bei dieser Variante am meisten Kunststoff zu Sekundärkunststoff verarbeitet wird. Durch diese kleine Spanne von 33%-Punkten und die geringe Gewichtung von 20% innerhalb des Bereichs Ökonomie fallen diese Unterschiede bei der Bewertung jedoch eher gering aus.

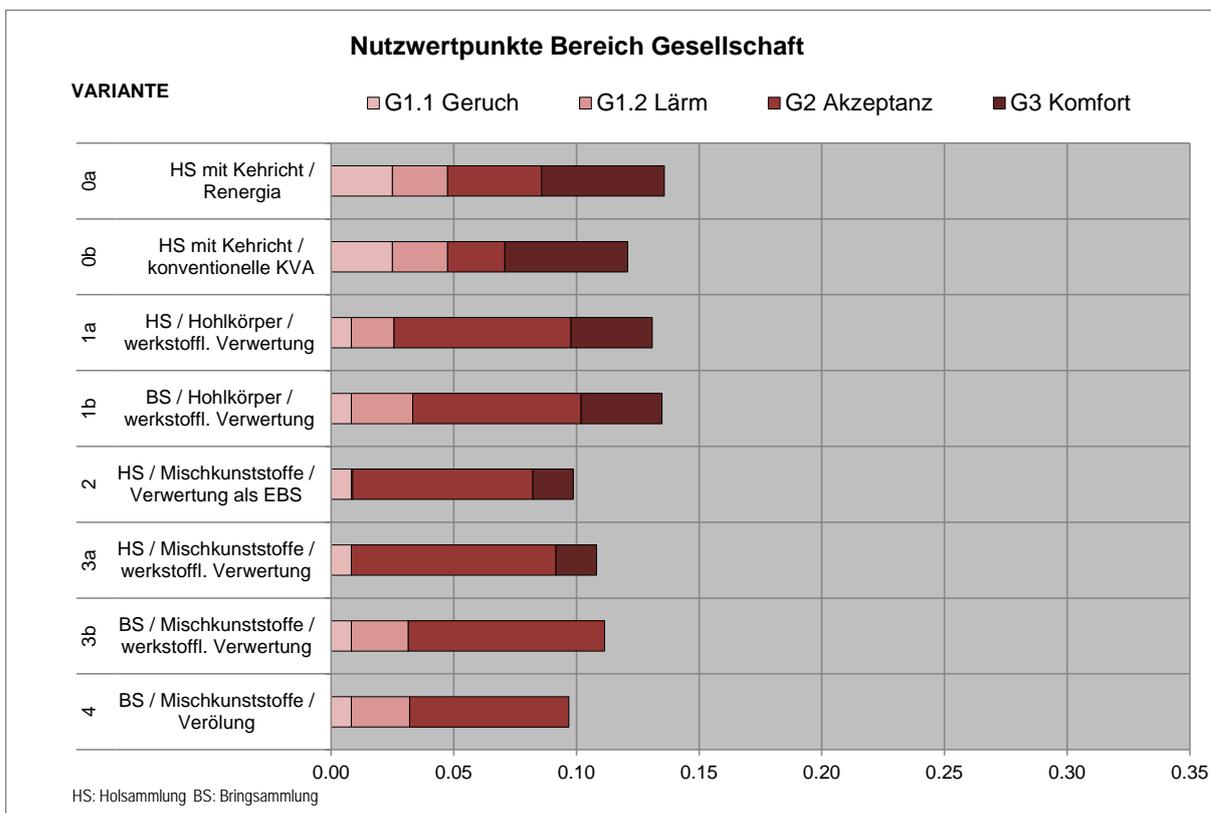
6.3.4 Kriterium O3 "Entsorgungssicherheit"

Kriterium O3.1 Ausfallrisiko	Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Entsorgungsweg ausfällt, ist bei diesem Kriterium bei der Variante 4 Verölung am höchsten, weil diese Technologie noch nicht lange erprobt und ausgereift ist. Dieser Umstand beschert dieser Variante 0 Nutzwertpunkte. Bei den Varianten 1 (KVA-Varianten) und Variante 2 ist das Risiko eines Ausfalls sehr gering, weshalb diesen Varianten jeweils 1 Punkt zugesprochen wurde. Sortier- und Verwertungsanlagen, welche für die Verwertung der Kunststoffabfälle benötigt werden, sind heutzutage auf einem technisch gut erprobten und etablierten Stand, weshalb die Varianten 1 und 3 mit 0.75 Nutzwertpunkten nur geringfügig hinter den Varianten 1 und 2 liegen.
Kriterium O3.2 Ausweichmöglichkeit	In diesem Kriterium bekommen diejenigen Varianten am meisten Nutzwertpunkte, bei denen auf analoge Anlagen ohne grossen Mehraufwand ausgewichen werden kann. Es darf jedoch nicht auf andere Technologien ausgewichen werden (siehe Kapitel 3.4.2c). Der Aufwand ist bei der Variante 4 Verölung am höchsten, was dieser Variante mit 0.25 Nutzwertpunkten am wenigsten Punkte einbringt. Bei sämtlichen anderen Varianten wird der Aufwand gering bis sehr gering ausfallen (0.75 bis 1 Nutzwertpunkte).

6.4 Ergebnisse Bereich Gesellschaft

Die gewichteten Bewertungen im Bereich Gesellschaft sind in Abbildung 28 aufgezeigt.

Abbildung 28: Gesamtnutzwertpunkte des Bereichs Gesellschaft, Standardgewichtung



Im Bereich Gesellschaft sind die Unterschiede zwischen den Varianten in der Summe relativ gering. Um den geringen Einfluss auf die Gesamtbewertung zu verdeutlichen wurde in der obenstehenden Grafik derselbe Skalenbereich der Nutzwertpunkte gewählt wie im Bereich Ökonomie.

Kriterium G1.1 Geruch Beim Kriterium Geruch erzielen Varianten mit Separatsammlung einen tieferen Nutzwert als die KVA-Varianten, da eine Kunststoff-Separatsammlung Geruchsemissionen verursacht.

Kriterium G1.2 Lärm Beim Indikator „Lärm durch Verkehr“ erhalten die Varianten 2 und 3a, welche eine umfangreiche zusätzliche Sammellogistik für die Kunststoffsammlung benötigen, am wenigsten Nutzwertpunkte. Die weiteren Varianten verursachen einen wesentlich geringeren Logistikaufwand und daher weniger Lärmemissionen, was zu entsprechend mehr Nutzwertpunkten führt. Erläuterungen zu den Kriterien sind in Kapitel 3.4.3 und die Berechnungen im Anhang 4 aufgeführt.

Kriterium G2 gesellschaftliche Akzeptanz Das Kriterium G2 "gesellschaftliche Akzeptanz" beeinflusst mit 50 % Gewichtung innerhalb des Bereichs Gesellschaft diesen Bereich am stärksten. Die Ergebnisse im Kriterium G2 basieren auf einer Bevölkerungsumfrage, die für die vorliegende Fragestellung ausgewertet wurde (siehe Kapitel 3.4.3). Das hauptsächliche Ergebnis war, dass die Bevölkerung zu einem grossen Teil bereit wäre, Kunststoffabfälle

separat zu sammeln, und dass diese möglichst werkstofflich wiederverwertet werden, sie jedoch kaum bereit ist, dafür mehr zu bezahlen. Aus diesem Grund erzielen die Varianten mit Separatsammlung einen höheren Nutzwert als Varianten ohne Separatsammlung von Kunststoffen.

Kriterium G3 Komfort

Die Varianten 0a und 0b erzielen betreffend dem Kriterium G3 "Komfort" den höchsten Nutzwert, da von den Haushalten keine zusätzliche Abfallfraktion bewirtschaftet werden muss. Auf der anderen Seite liegen die Varianten 3b und 4 in welchen hohe Mengen separat gesammelt werden und an Sammelstellen abgegeben werden müssen. In den Varianten 2 und 3a wird eine grössere Menge gesammelt als in den Varianten 3b und 4, die Abfälle werden jedoch vor dem Haus abgeholt, was den Komfort der Separatsammlung steigert.

7 SENSITIVITÄTSBETRACHTUNGEN

7.1 Übersicht

Um die Stabilität der Resultate und den Einfluss der Bewertungen und Gewichtungen auf die Nutzwertpunkte der einzelnen Varianten zu untersuchen oder um allfällige Schwachpunkte des Modells eruieren zu können, wurden folgende Sensitivitätsanalysen durchgeführt:

- Alle Bereiche: Alternative Gewichtungen → Kapitel 7.2
- Bereich Ökonomie und Gesellschaft: Expertenschätzungen auf „Null“ stellen → Kapitel 7.3
- Bereich Umwelt: Methode der ökologischen Knappheit → Kapitel 7.4
- Bereich Umwelt: Ausschluss des Indikators U6 → Kapitel 7.5
- Bereich Umwelt: Berechnung mit Stromgutschrift Kohlekraftwerk anstelle Gas- und-Dampf-Kraftwerk → Kapitel 7.5
- Alle Bereiche: Berechnung mit erhöhten Fehlwurfquoten → Kapitel 7.7

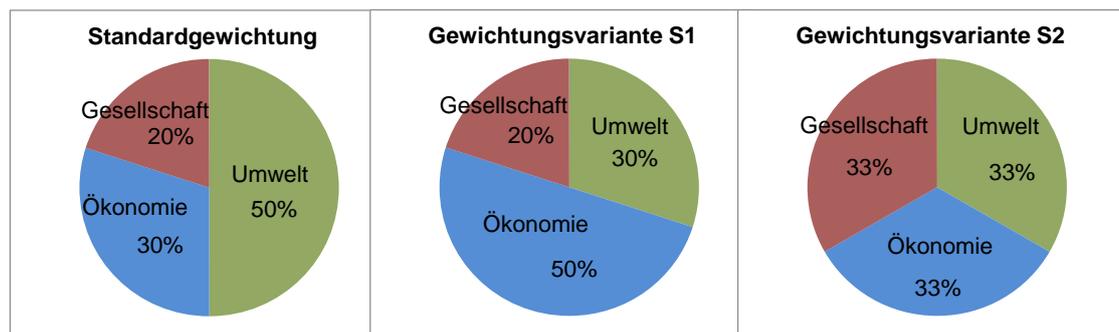
7.2 Alternative Gewichtungen

Es werden folgende weiteren Gewichtungsvarianten untersucht:

Gewichtungsvariante S1:

Gewichte der Bereiche Umwelt und Ökonomie vertauschen

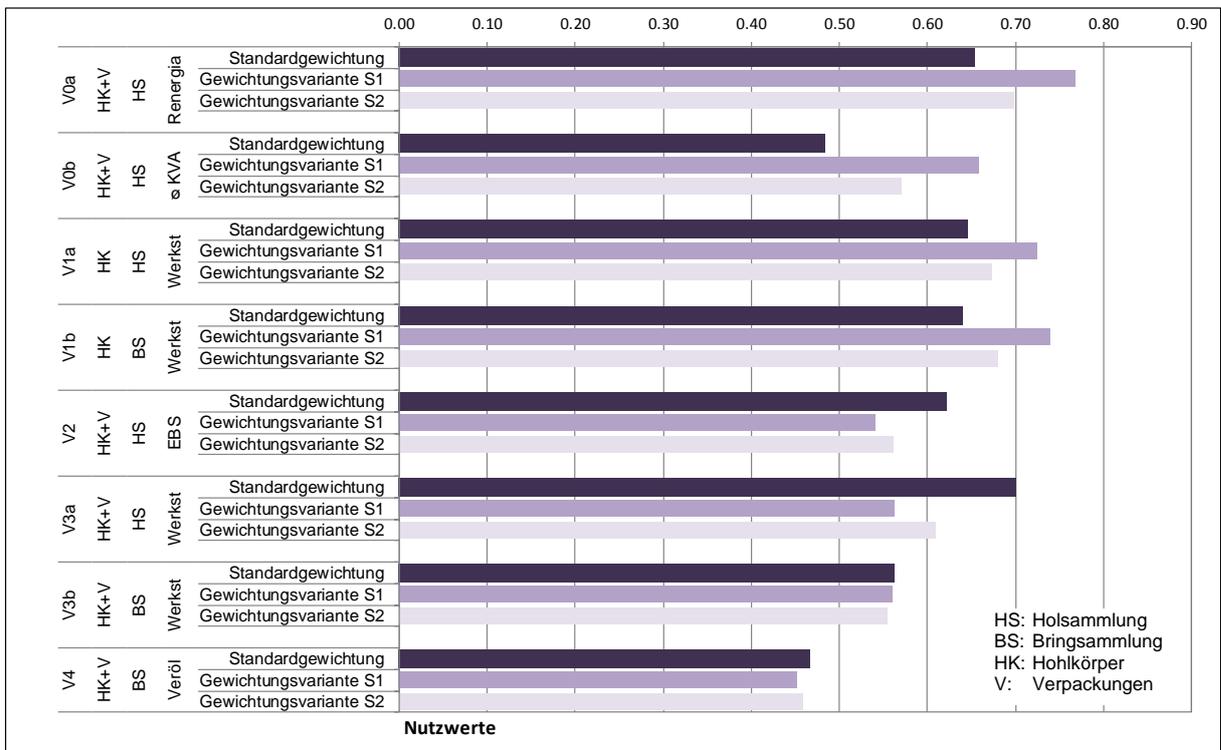
Gewichtungsvariante S2: Alle Bereiche erhalten dasselbe Gewicht



Die Gewichtungen innerhalb der einzelnen Bereiche können der Nutzwerttabelle im Anhang 6 entnommen werden.

In der folgenden Abbildung 29 werden die Ergebnisse der Gesamtnutzwerte der beiden Gewichtungsvarianten S1 und S2 mit der Standardgewichtung SG verglichen.

Abbildung 29: Nutzwerte pro Variante, Vergleich der Gewichtungsvarianten S1 und S2 mit der Standardgewichtung



Gewichtungsvariante S1: grosse Sensitivität

Der Vergleich der Standardgewichtung SG (U 50%, Ö 30%, G 20%) und der Gewichtungsvariante S1 (U 30%, Ö 50%, G 20%) zeigt, dass die Bewertung auf diese Änderung sensitiv reagiert:

- Je stärker der Bereich Ökonomie gewichtet wird, desto weiter nach vorne rutschen diejenigen Varianten, wo kein oder nur wenig Kunststoff separat gesammelt wird (Varianten 0 und 1).
- Je stärker der Bereich Umwelt gewichtet wird, desto weiter vorne in der Rangliste befinden sich diejenigen Varianten, bei denen am meisten Kunststoffe separat gesammelt und verwertet werden.

Gewichtungsvariante S2

Der Vergleich der Standardgewichtung SG und der Gewichtungsvariante S2 zeigt, dass sich die Bewertung auch recht stark verändert, aber in geringerem Umfang als bei Gewichtungsvariante S1.

grosse Sensitivität

Als Fazit aus der Sensitivitätsbetrachtung "Alternative Gewichtung" ergibt sich, dass die Bewertung auf eine Änderung des Gewichtungsverhältnisses zwischen den Bereichen Umwelt und Ökonomie sensitiv reagiert.

7.3 Expertenschätzung weglassen

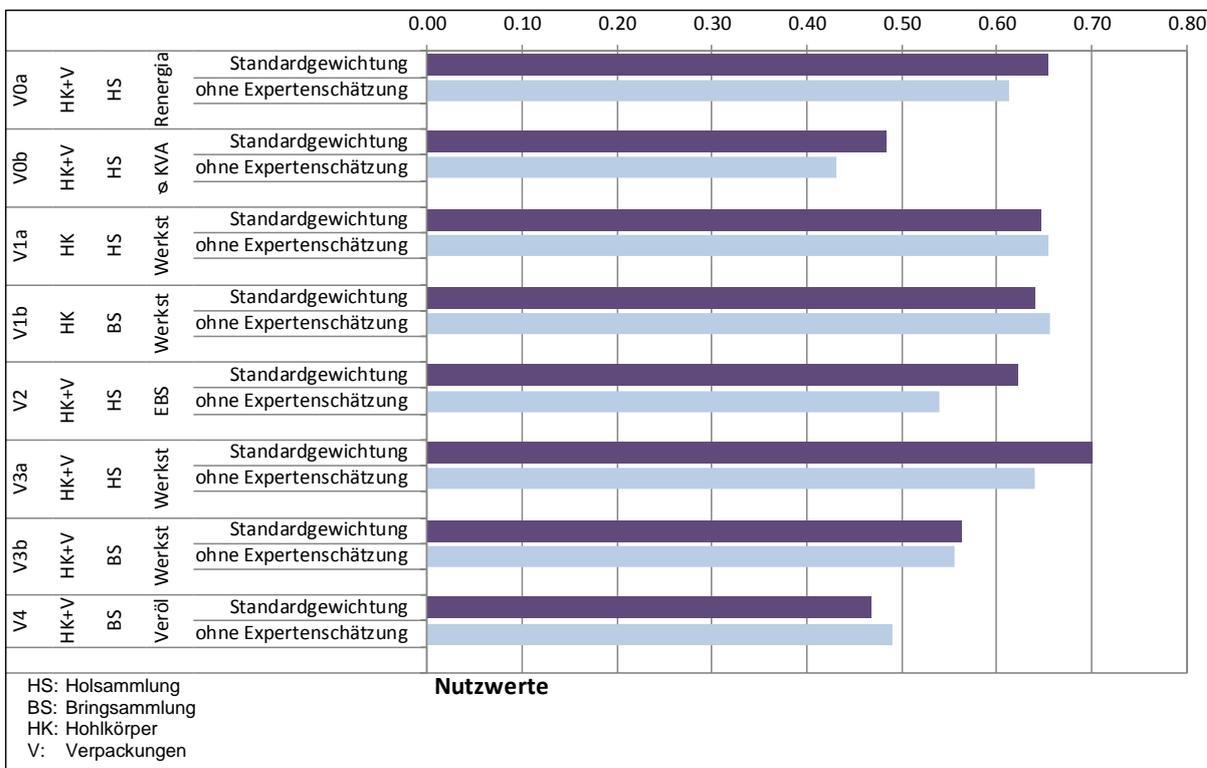
Folgende Kriterien basieren auf Experten-Schätzungen:

- Bereich Ökonomie: Minimierung des wirtschaftlichen Risikos (O2), Ausfallrisiko (O3.1) und Ausweichmöglichkeit (O3.2); es verbleibt nur noch Kriterium O1 "Entsorgungskosten"
- Bereich Gesellschaft: Geruchsemissionen (G1.1) und Sammelkomfort (G3)

Diese Kriterien werden in der vorliegenden Sensitivitätsanalyse weggelassen, d.h. auf null gestellt.

Die Bewertung ergibt folgendes Ergebnis (siehe Abbildung 30).

Abbildung 30: Nutzwerte Sensitivitätsanalyse „ohne Expertenschätzung“



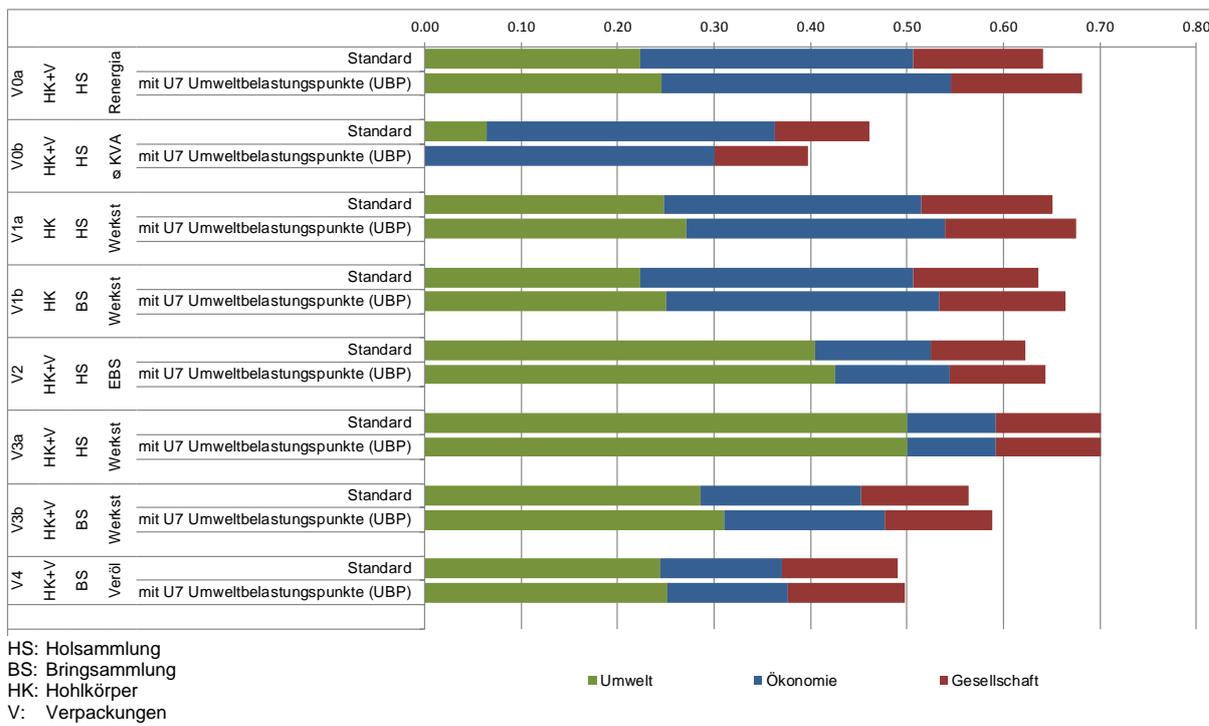
geringe Sensitivität Der Vergleich zeigt, dass sich durch das Weglassen der Expertenschätzungen die Rangliste der Varianten nur wenig ändert. Vor allem die Varianten V2 und 3a erhalten weniger Nutzwertpunkte, und rücken dadurch nach hinten. Die 4 Varianten an der Spitze der Rangliste sind näher beieinander als im Standardfall.

7.4 Bewertung mit Methode der ökologischen Knappheit

Anstelle der Einzelkriterien wird das Kriterium U7 (Methode der ökologischen Knappheit 2013, UBP 2013) verwendet, um die Dimension Umwelt zu bewerten. Die Ergebnisse werden in Abbildung 31 gezeigt.

Diese Sensitivität beeinflusst nur den Bereich Umwelt. Die Resultate der Bereiche Ökonomie und Gesellschaft entsprechen dem Standardfall. Durch die Abbildung der gesamten Dimension Umwelt mit einem Indikator umfassen die Nutzwerte nun den gesamten Bereich von 0 bis 0.5.

Abbildung 31: Nutzwerte gesamt und gewichtet mit Kriterium U7 (Methode der ökologischen Knappheit)



geringe Sensitivität Die Ergebnisse ändern durch den Einbezug eines vollaggregierenden Indikators nicht wesentlich, was in diesem Ausmass nicht unbedingt zu erwarten ist. Sogar die relativen Unterschiede innerhalb der Varianten sind mit dem Standardfall vergleichbar. Eine Ausnahme ist Variante 0b weil sie in dieser Sensitivitätsanalyse im Bereich Umwelt den Nutzwert 0 erzielt.

Da sich die Methode der ökologischen Knappheit an gesetzlich oder politisch festgelegten Umweltzielen orientiert, lässt das Ergebnis darauf schliessen, dass die von der Expertengruppe gewählten Indikatoren und Gewichtungen gut mit der politischen Zielsetzung übereinstimmen.

Das Ergebnis der vorliegenden Multikriterienanalyse wird somit auch bei Anwendung einer alternativen Methode für die Bewertung der Umweltauswirkungen bestätigt.

7.5 Ausschluss des Indikators U6 (deponierte Abfälle Untertagedeponie und Endlager)

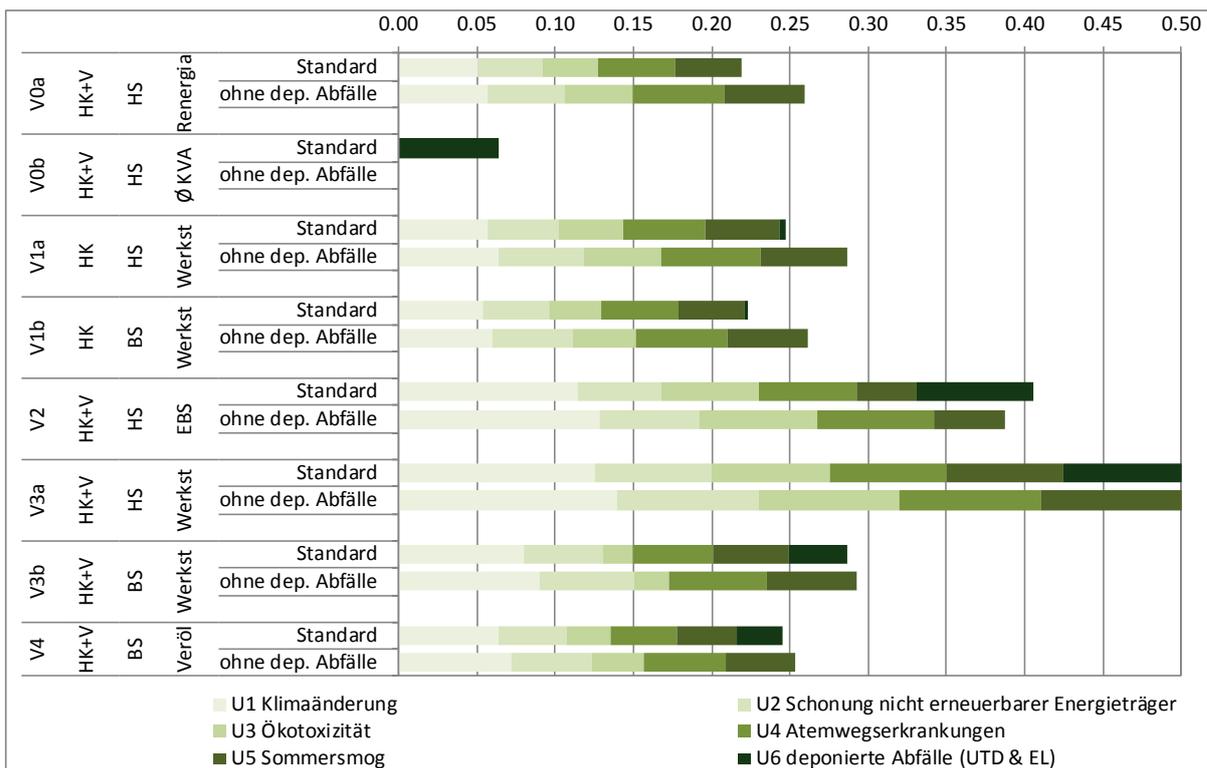
Im Bereich Umwelt werden die Ergebnisse für 6 Indikatoren berechnet und gewichtet. Der Indikator U6, deponierte Abfälle in Untertagedeponie und Endlager, ist einerseits kein klassischer Ökobilanzindikator und andererseits ist aufgrund der ändernden Gesetzeslage (Revision TVA) die Entsorgungssituation der KVA Rück-

stände für das Jahr 2020 schwierig abzuschätzen und unsicher. Um den Einfluss dieses Indikators auf die Ergebnisse zu beurteilen wird deshalb U6 in dieser Sensitivität nicht berücksichtigt bzw. erhält die Gewichtung 0%. Daraus ergibt sich folgende neue Gewichtung für den Bereich Umwelt (Tabelle 16).

Tabelle 16: Gewichtungen Standard und ohne U6

Bereich Umwelt		Gewichtung Standard	Gewichtung Sensitivität	Gewichtung Bereich Umwelt
U1	Klimaänderung	25%	28%	50%
U2	Schonung nicht erneuerbarer Primärenergieträger	15%	18%	
U3	Ökotoxizität	15%	18%	
U4	Atemwegserkrankungen	15%	18%	
U5	Sommersmog	15%	18%	
U6	Deponierte Abfälle (UTD & EL)	15%	0%	

Abbildung 32: Nutzwerte Bereich Umwelt Standardfall und Sensitivität U6



HS: Holsammlung
 BS: Bringsammlung
 HK: Hohlkörper
 V: Verpackungen

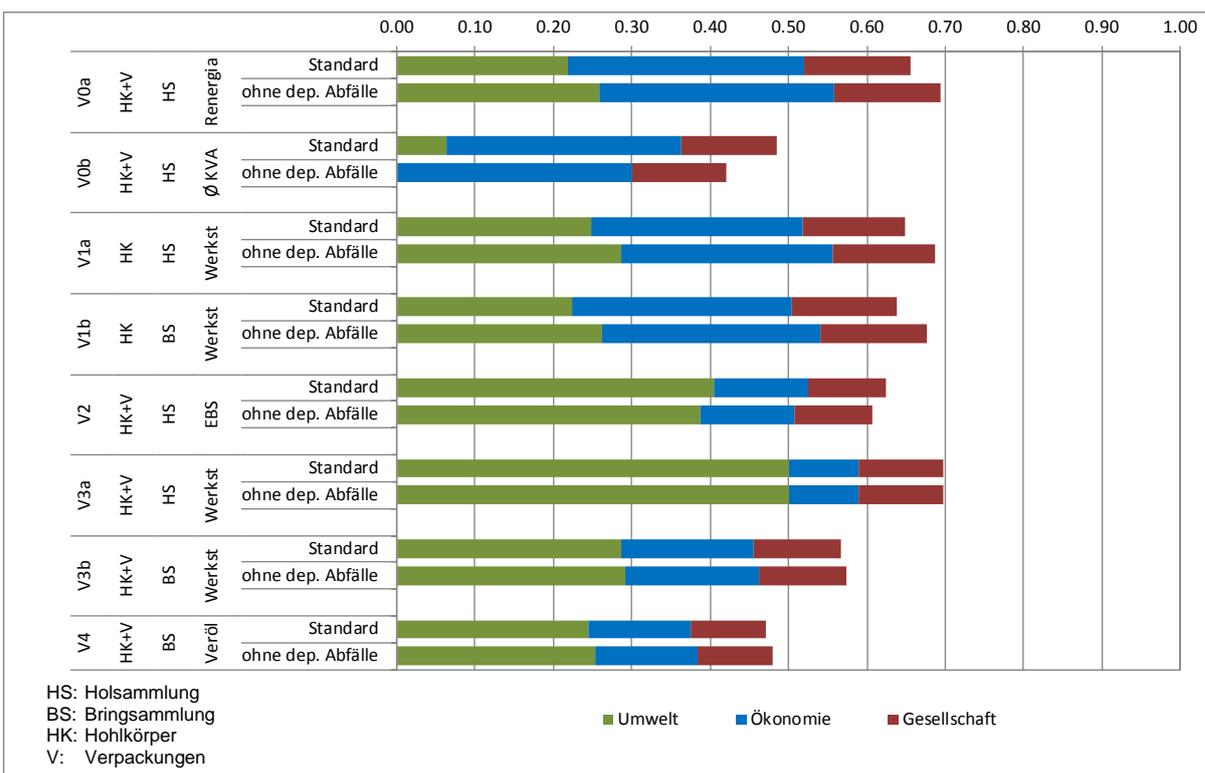
Abbildung 32 zeigt, dass diese Sensitivitätsanalyse vor allem die KVA Varianten beeinflusst. Varianten, in welchen U6 einen tiefen Nutzwert generierte (0a, 1a, 1b) erzielen bei Nichtberücksichtigen von U6 einen deutlich höheren Nutzwert. Je kleiner der Nutzwert des Indikators U6 im Standardfall, desto höher steigt der gesamte Nutzwert in dieser Sensitivitätsanalyse. Variante 0b hat im Standardfall nur beim Indikator U6 einen Nutzwert vorzuweisen gehabt, weshalb diese Variante bei Nichtberücksichtigen von U6 den Nutzwert 0 erzielt. Der Nutzwert von Variante 3a

wird nicht beeinflusst, da diese Variante in allen Bereichen den höchsten Nutzwert erzielt. Neben Variante 0b verringert sich auch der Nutzwert der Variante 2.

Die Varianten 3a und 2 erzielen auch in dieser Sensitivitätsanalyse die höchsten Nutzwerte im Bereich Umwelt, wobei sich der relative Abstand zu den anderen Varianten, mit Ausnahme von 0b, verringert hat im Vergleich zum Standardfall.

Die folgende Abbildung 35 zeigt die total erzielten Nutzwertpunkte aller Bereiche für den Standardfall und die Sensitivitätsanalyse U6 (Ausschluss der deponierten Abfälle UTD und EL). Die Nutzwertpunkte der Bereiche Ökonomie und Gesellschaft ändern sich gegenüber dem Standardfall nicht. Unter Berücksichtigung aller Bereiche zeigt sich, dass in dieser Sensitivitätsanalyse die Varianten 3a, 1a, 1b und 0a die höchsten (zwischen 0.71 und 0.67) und die Varianten 0b und 4 die tiefsten Nutzwerte generieren. Verschiebungen in der Rangierung gibt es zwischen den letzten beiden Varianten 0b und 4.

Abbildung 33: Nutzwerte gesamt und gewichtet mit und ohne das Umweltkriterium U6



Der Vergleich zeigt, dass sich vor allem die beiden Varianten 0b und 2 in Bezug auf den Bereich Umwelt verändern, d.h. weniger Nutzwertpunkte erhalten. Zugleich erhalten die beiden 1-er Varianten und die Variante 0a etwas mehr Umwelt-punkte.

7.6 Für Stromgutschrift Braunkohlekraftwerk anstelle Gas-und-Dampf-Kraftwerk

Im Bereich Umwelt werden Gutschriften für identische Produkte aus konventioneller Produktion, sogenannte Standardprozesse, ermittelt (siehe auch Kapitel 3.1). Die bei der Herstellung dieser konventionellen Produkte verursachte Umweltbelastung wird dem Verwertungsweg gutgeschrieben. Für die Stromproduktion der KVA wird im Standardfall ein mit Erdgas befeuertes, modernes Gas- und Dampfkraftwerk (GuD-Kraftwerk) gutgeschrieben. In der vorliegenden Sensitivitätsanalyse soll gezeigt werden, wie sich die Ergebnisse verhalten, wenn für die Stromproduktion Strom aus Braunkohlekraftwerken gutgeschrieben wird. Aufgrund der heutigen Situation auf dem Europäischen Strommarkt wird dieses Szenario aus folgenden Gründen als realistisch eingestuft:

- **billiger Rohstoff:** Kohlestrom sollte durch die Pflicht zum Ankauf von CO₂-Zertifikaten schrittweise teurer werden, doch der Markt wird überschwemmt mit billigen Zertifikaten. Seit Ende 2012 ist der Preis für die Emissionsberechtigung auf niedrigstem Niveau und hat keine Steuerungswirkung mehr auf den Einsatz fossiler Energieträger (Dröge & Westphal 2013).
- **Regulatorische Massnahmen auf EU Ebene:** Aufgrund der momentan vorherrschenden Preisunterschiede zwischen Kohle und Erdgas braucht es politische und regulatorische Massnahmen, um Erdgas als Alternative zu Kohlestrom als Energieträger attraktiv zu machen (Dröge & Westphal, 2013)
- **Zunahme der Stromproduktion aus Braunkohle in Deutschland seit 2009:** In den letzten 5 Jahren hat die Stromproduktion in Deutschland um 15 TWh auf 161 TWh zugenommen, dies entspricht einer Zunahme von rund 10% gegenüber 2009. Zum Vergleich: im Jahr 1990 betrug die Stromproduktion aus Braunkohle 171 TWh (AG Energiebilanzen, 2014). Deutschland ist innerhalb der EU der Spitzenreiter beim Verbrauch von Braunkohle zur Stromgewinnung. Im Weiteren nimmt auch der weltweite Verbrauch von Kohle seit 2003 konstant zu (International Energy Agency, 2014).

Zunahme
Braunkohlestrom

Die Zunahme der Produktion von Braunkohlestrom ist weitestgehend durch politische Entscheide und Entwicklungen beeinflusst, die eine weit grössere Tragweite haben als die Steigerung der Stromproduktion in einer Kehrlichtverbrennungsanlage in der Schweiz. Neben dem zu gross definierten Kontingent der CO₂-Emissionsberechtigungen in Europa ist hier die Einführung der Fracking-Technologie in den USA zu erwähnen. Dies führte zu einem deutlichen Überangebot an Kohle.

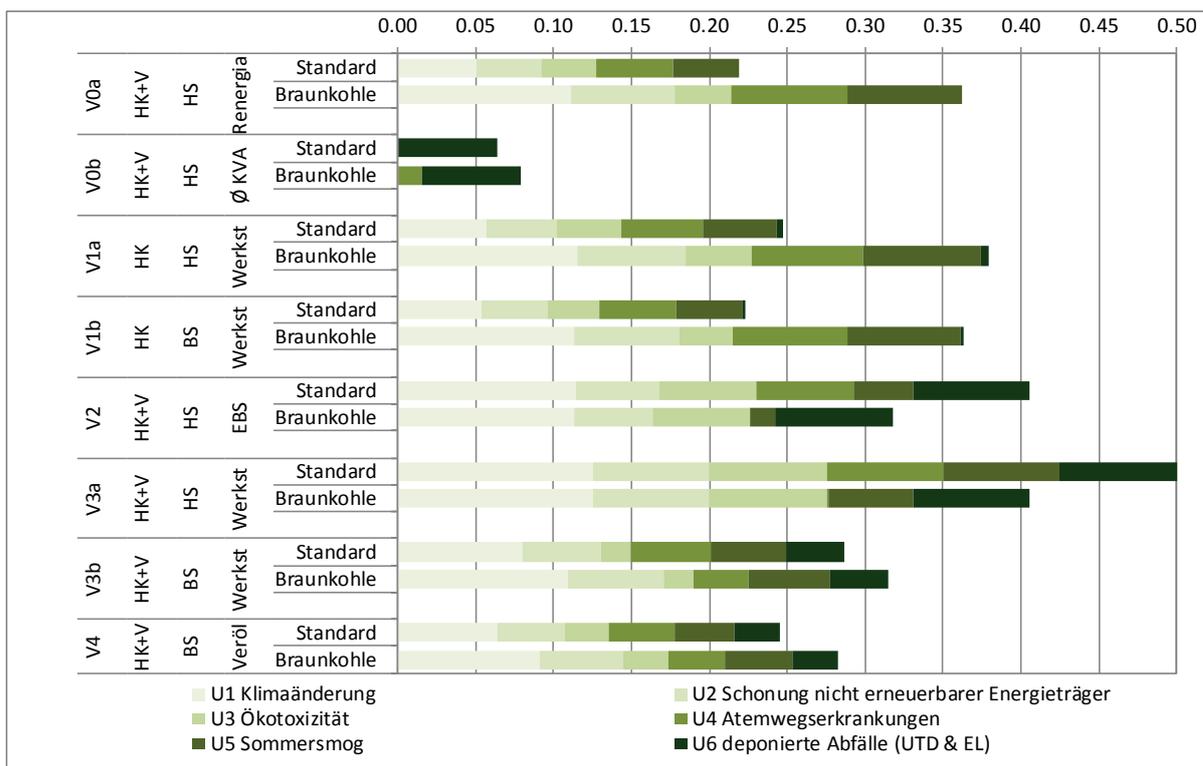
Nutzwertpunkte Bereich
Umwelt

Abbildung 34 zeigt die Veränderung in den Nutzwertpunkten im Bereich Umwelt für alle Umweltindikatoren. Variante 3a erzielt die höchsten Nutzwertpunkte. Geringfügig tiefer sind die Nutzwertpunkte der Varianten 0a und 1b. Die Nutzwertpunkte der weiteren Varianten sind tiefer im Vergleich zu den Varianten 3a, 1a, 0a und 1b.

Insbesondere die Varianten, in denen relativ grosse Mengen an Strom produziert werden, namentlich Varianten 0a, 1a und 1b, erhalten hohe Gutschriften und erzielen dadurch deutlich höhere Nutzwertpunkte als in der Standardvariante. Auf der anderen Seite verringern sich die Nutzwertpunkte der Varianten 2 und 3a. Auch die

Gutschriften dieser beiden Varianten sind höher geworden, jedoch nicht im selben Ausmass wie für die Varianten 0a, 1a und 1b. Da die Varianten 0a, 1a und 1b die höheren Gutschriften erhalten als die Varianten 2 und 3a ist deren Nutzen grösser geworden, obwohl die absolute Umweltbelastung bei allen Varianten gesunken ist. Aufgrund der Umrechnung in Nutzwertpunkte rücken jedoch alle Varianten „näher“ zusammen. Dies führt dazu, dass die Nutzwertpunkte der Varianten 2 und 3a geringer werden im Vergleich zum Standardfall.

Abbildung 34: Nutzwerte Bereich Umwelt Standardfall und Sensitivität Braunkohlestrom für die einzelnen Umweltkriterien U1 bis U6



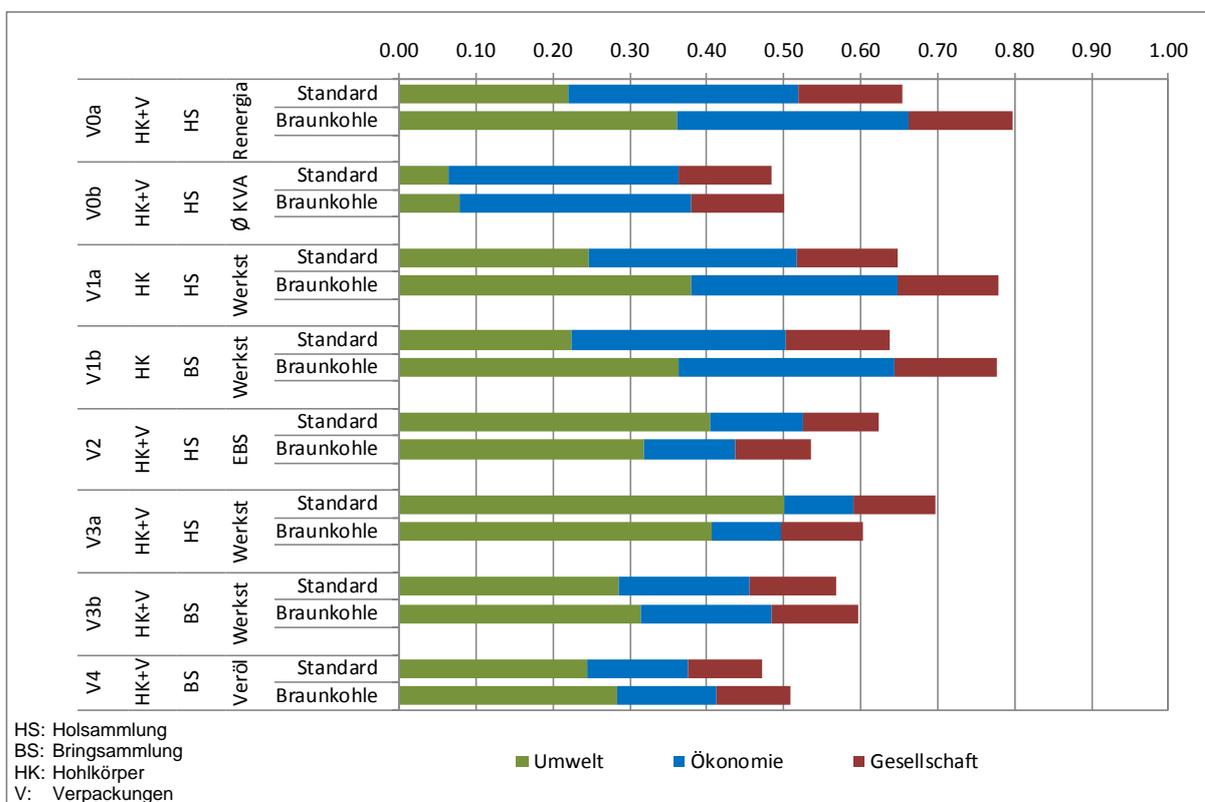
HS: Holsammlung
 BS: Bringsammlung
 HK: Hohlkörper
 V: Verpackungen

Am sensitivsten reagieren die Nutzwertpunkte in den Bereichen Klimaänderung (U1), Atemwegserkrankungen (U4) und Sommersmog (U5). Strom aus Erdgas verursacht deutlich geringere Umweltbelastungen als Strom aus Braunkohle. 1 kWh Strom aus einem Braunkohlekraftwerk verursacht 66 % höhere Treibhausgas-Emissionen, 73 % höhere Belastungen im Bereich Atemwegserkrankungen und 53 % höhere Belastungen im Bereich Sommersmog als 1 kWh Strom aus einem mit Erdgas betriebenen GuD. Dies führt dazu, dass in dieser Sensitivität die Gutschrift für die Stromproduktion mit Braunkohle deutlich höher ausfällt als im Standardfall. Bezüglich U3 (Ökotoxizität) und U6 (deponierte Abfälle) ändern die Ergebnisse nur geringfügig.

Im Weiteren wird in der vorliegenden Studie davon ausgegangen, dass im Zementwerk der Kunststoff den konventionellen Brennstoffmix ersetzt, das heisst v.a. Kohle (siehe auch Kapitel 6.2). Dies führte neben anderen Faktoren im Standardfall dazu, dass die Varianten 2 und 3a relativ hohe Nutzwerte erzielen. Wird nun auch für Strom eine „Kohle-basierte“ Gutschrift erteilt, überholen die „Renergia-Varianten“ (0a, 1a und 1b) die „EBS-Variante“ (2) und erzielen nun ähnlich hohe Nutzwertpunkte wie Variante 3a (werkstoffliche Verwertung).

totale Nutzwertpunkte Die folgende Abbildung 35 zeigt die total erzielten Nutzwertpunkte aller Bereiche für den Standardfall und die Sensitivitätsanalyse Braunkohle. Die Nutzwertpunkte der Bereiche Ökonomie und Gesellschaft ändern sich gegenüber dem Standardfall nicht. Unter Berücksichtigung aller Bereiche zeigt sich, dass die „Renergia-Varianten“ (0a, 1a und 1b) in dieser Sensitivitätsanalyse die höchsten Nutzwerte erzielen, gefolgt von den Varianten 3a, 3b, 2, 4 und 0b. Die KVA Varianten (0a, 0b, 1a, 1b) erzielen vor allem im Bereich Ökonomie einen hohen Nutzwert (siehe auch Kapitel 6.3). Die Variante 3a, welche auch in dieser Sensitivitätsanalyse aus ökologischer Sicht ebenfalls einen hohen Nutzwert erreicht, ist vergleichsweise teuer und erzielt den tiefsten ökonomischen Nutzwert.

Abbildung 35: Nutzwerte im Standardfall und in der Sensitivität Braunkohle, Standardgewichtung



grosse Sensitivität Es zeigt sich, dass die Varianten sensitiv gegenüber der gewählten Stromgutschrift reagieren. Insbesondere Varianten, in denen relativ grosse Mengen an Strom produziert werden, namentlich Varianten 0a, 1a und 1b, erhalten hohe Gutschriften und erzielen dadurch deutlich höhere Nutzwertpunkte als in der Standardvariante. Wird anstelle von Erdgas Braunkohle für die Stromgutschrift gewählt, ändern nicht nur die Ergebnisse im Bereich Umwelt, auch das Endergebnis über alle Bereiche wird massgeblich beeinflusst.

7.7 Berechnung mit erhöhten Fehlwurfquoten

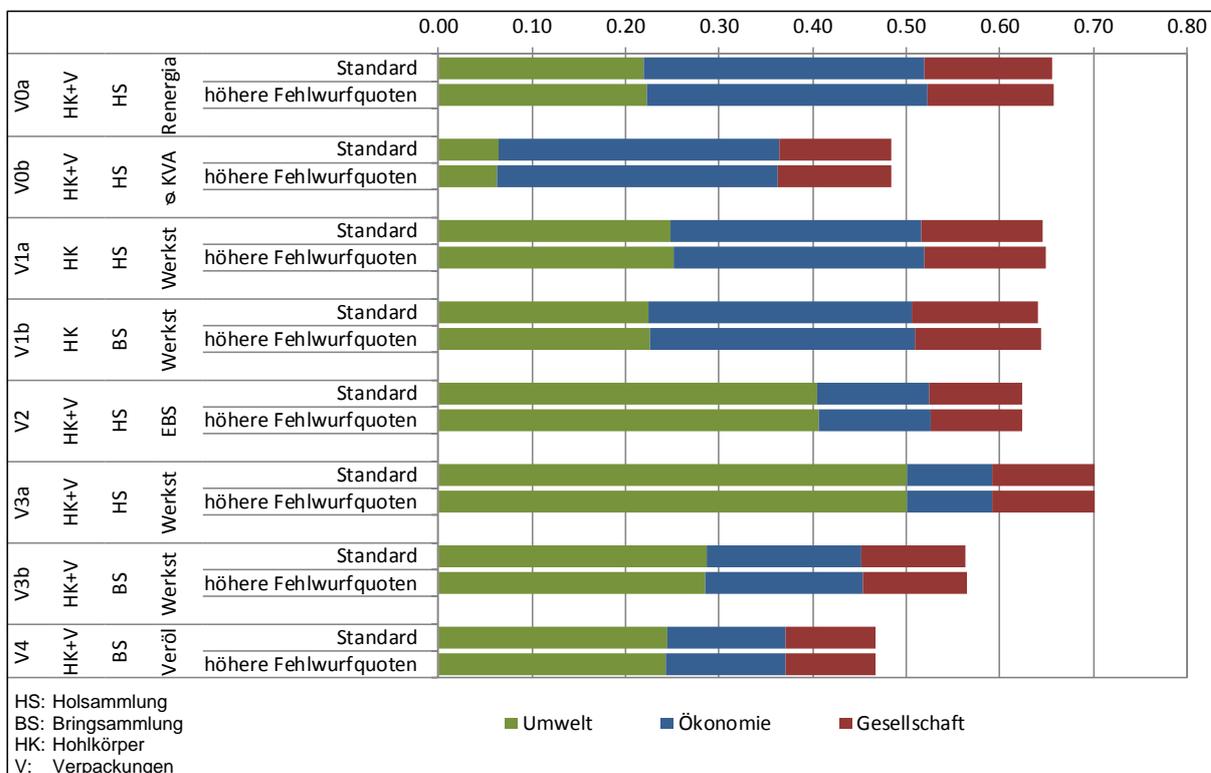
Dieser Sensitivitätsanalyse liegen veränderte Fehlwurfquoten zugrunde. Dabei soll untersucht werden, wie sich die Nutzwertpunkte pro Variante verhalten, wenn die Fehlwurfquoten, mit Ausnahme der Bringsammlung Detailhandel, erhöht werden (vergleiche Tabelle 17: Veränderte Fehlwurfquoten). Eine Erhöhung der Fehlwurfquoten hat Einfluss auf das Mengengerüst, weshalb die betroffenen Indikatoren neu berechnet werden.

Tabelle 17: Veränderte Fehlwurfquoten

Sammlung	bisher	verändert
Bringsammlung Detailhandel	15%	15%
Holsammlung Mischkunststoffe	15%	25%
Holsammlung Hohlkörper	12%	20%
Bringsammlung Mischkunststoffe (Ökihöfe)	12%	20%
Bringsammlung Hohlkörper (Ökihöfe)	10%	15%

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse sind in Abbildung 36 dargestellt. Die Reihenfolge der Varianten bleibt gleich. Die Differenzen sind sehr gering und bewegen sich zwischen 0.002 und 0.01 Nutzwertpunkten.

Abbildung 36: Nutzwerte gesamt und gewichtet mit erhöhten Fehlwurfquoten



Bereich Umwelt	Im Bereich Umwelt sind die Veränderungen gering. Auf der einen Seite wird der Sammelaufwand grösser, andererseits wird durch die grössere Menge an Fremdstoffen auch wieder mehr Energie gewonnen, somit steigen die Gutschriften. Dieses Zusammenspiel führt dazu, dass sich die Nutzwertpunkte nur minim ändern.
Bereich Ökonomie	Das Mengengerüst der gesammelten Güter verändert sich über alle Varianten, mit Ausnahme der Varianten 0a und 0b. Da diese Veränderungen der Mengen aber gering sind, ändern sich die Nutzwertpunkte im Bereich Ökonomie nicht und schlagen sich auch in der Gesamtbewertung nicht nieder.
Bereich Gesellschaft	Im Bereich Gesellschaft beeinflusst die Erhöhung der Fehlwurfquoten nur das Kriterium G1.2 Lärm durch Schwerverkehr, da mehr Fehlwurfmen gen transportiert werden müssen. Die Nutzwerte innerhalb dieses Kriteriums verändern sich dadurch aber nur minim.
geringe Sensitivität	Der Vergleich der Nutzwertpunkte unter erhöhten Fehlwurfquoten zeigt, dass sich die Resultate nur in sehr geringem Mass verändern. Dies hängt vor allem damit zusammen, dass die Menge gesammelter und verwerteter Tonnagen nur relativ wenig höher wird. Gesehen auf die 18'000 Tonnen Kunststoff erhöht sich der Fremdstoffanteil um maximal 1'000 Tonnen (5%).

8 SCHLUSSFOLGERUNGEN

8.1 Fazit aus der Studie

Die vorliegende Multikriterienanalyse soll eine Hilfestellung sein zur Beantwortung der Frage, ob in der Zentralschweiz - das heisst im Einzugsgebiet der Renergia - eine Kunststoff-Separatsammlung einzuführen sei. Im Weiteren soll aufgezeigt werden, ob der aktuelle Verwertungsweg in der neuen, energieeffizienten KVA Renergia sinnvoll und vertretbar ist.

Schlussfolgerung aus der Bewertung

Die Studie zeigt, dass die Anzahl Nutzwertpunkte in den Bereichen Umwelt und Ökonomie meist gegensätzlich ausfallen:

- Je höher die Menge separat gesammelter Kunststoffe, desto höher fällt der Umweltnutzen aus und desto höher sind jedoch die Kosten für die Abfallverbände beziehungsweise die Gemeinden.
- Varianten mit einem hohen Nutzwert im Bereich Umwelt haben in der Tendenz einen eher tiefen Nutzwert im Bereich Ökonomie und umgekehrt.
- Keine Variante erzielt sowohl im Bereich Umwelt als auch im Bereich Ökonomie einen hohen Nutzwert. Bei den Nutzwerten im Bereich Gesellschaft lässt sich keine derartige Abhängigkeit beobachten.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen kann abgeleitet werden, dass folgende Varianten für die Abfallverbände und Gemeinden die interessantesten Verwertungsoptionen für die Kunststoffabfälle aus Haushalten sind:

Variante	Sammlung		Hauptsächlicher Verwertungsweg
	was	wie	
0a	Kunststoffe, im Kehrichtsack	Holsammlung	Energetische Verwertung in der KVA Renergia
1a	nur Hohlkörper	Holsammlung	Werkstoffliche Verwertung; weitere Kunststoffe ► Kehricht, energetisch
1b	nur Hohlkörper	<i>Bringsammlung</i>	Werkstoffliche Verwertung; weitere Kunststoffe ► Kehricht, energetisch
3a	alle Kunststoffverpackungen	Holsammlung	Werkstoffliche Verwertung

Variante 3a zeichnet sich durch den höchsten Anteil an werkstofflicher Verwertung, die Varianten 0a, 1a und 1b durch mehrheitliche oder gänzliche Verwertung in einer KVA mit hohem Energienutzungsgrad (Renergia aus). Bei den Varianten 1a und 1b wird ein Grossteil der Kunststoffabfälle in der KVA Renergia verwertet, die Bewertung basiert damit automatisch zu einem grossen Teil auf der Variante 0a.

Die Bringsammlung von Mischkunststoffen (Variante 3b), die Verwertung in einer durchschnittlichen KVA (Variante 0b) und die Verölung (Variante 4) sind weniger vorteilhaft und stehen somit nicht im Vordergrund.

Die Variante 2 (Verwertung in einem Zementwerk) liegt im Mittelfeld der Bewertungen; dabei stehen sich hoher Umweltnutzen und geringer ökonomischer Nutzen gegenüber.

Vergleich der Varianten

Für den in der Studie betrachteten Standardfall zeigt der Vergleich der Varianten, dass die Separatsammlung von gemischten Kunststoffabfällen (Variante 3a) die höchste Bewertung erfährt. In der Variante 3a werden gemischte Kunststoffabfälle mit einer Holsammlung gesammelt und soweit möglich werkstofflich verwertet, d.h. wieder für neue Produkte aus Kunststoff eingesetzt.

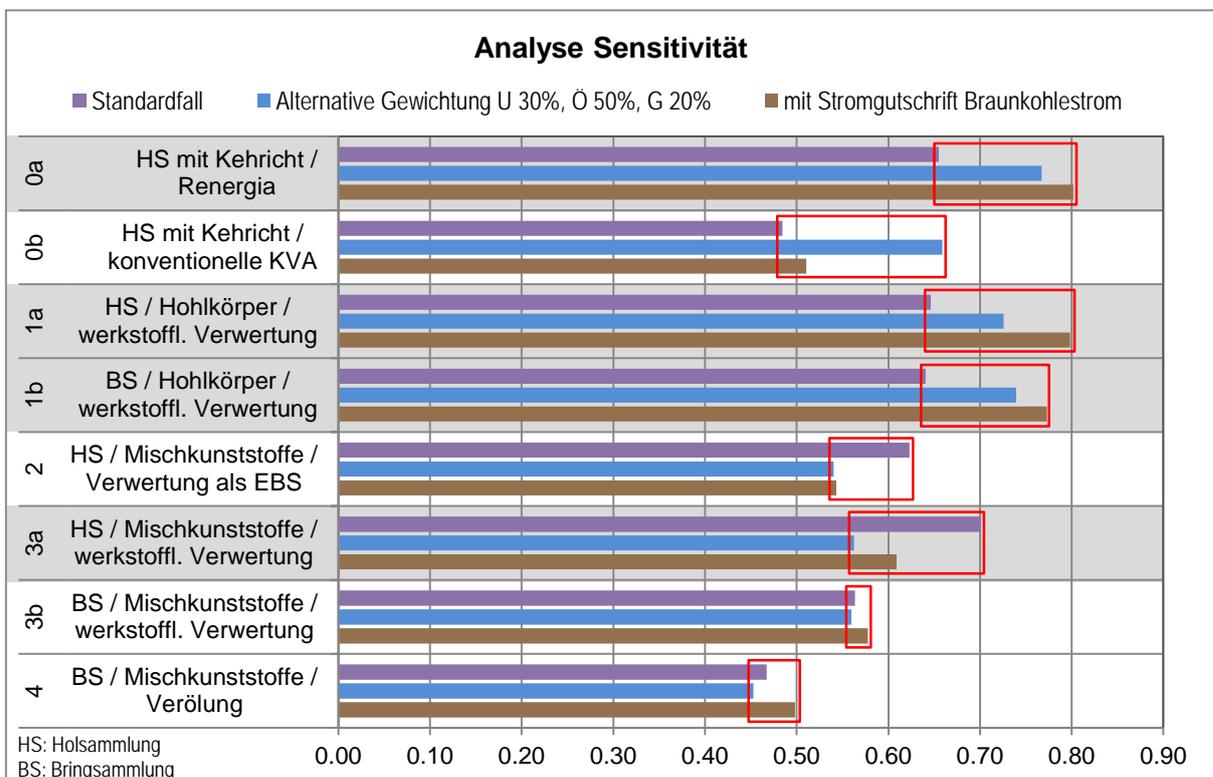
Die Variante 0a mit energetischer Verwertung in der KVA Renergia und die Varianten 1a und 1b, wo ein Teil der Hohlkörper zusätzlich zu der Verbrennung in der KVA Renergia separat gesammelt wird, erhalten auch hohe Nutzwerte. Es hat sich gezeigt, dass der Gesamtenergienutzungsgrad einer KVA eine wesentliche Bedeutung für das Resultat hat.

Auch die Variante 2 (Holsammlung, Verwertung im Zementwerk als Ersatzbrennstoff) erzielt einen recht hohen Nutzwert. Die Varianten 0b (durchschnittliche KVA), 3b (Bringsammlung, werkstoffliche Verwertung) und 4 (Bringsammlung, Verölung) erreichen deutlich tiefere Nutzwerte als die anderen Varianten.

Sensitivität der Bewertung

Die Ergebnisse reagieren sensitiv auf verschiedene Parameter, vor allem betreffend der Gewichtung der drei Bereiche Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft, sowie der Wahl der Stromgutschrift.

Abbildung 37:
Vergleich Standardfall mit Sensitivitätsbetrachtungen



Eine geringere Sensitivität kann für die Analyse „Ausschluss des Indikators U6“ festgestellt werden. Dabei werden die relativen Unterschiede der ersten vier Varianten (0a, 1a, 1b und 3a) geringer. Im Weiteren reagieren einige Varianten sensitiv auf die Parameter „Expertenschätzungen“ und „Methode der ökologischen Knappheit“, wobei diese zwei Analysen das Endergebnis nur minim beeinflussen.

Die Sensitivitätsanalyse zeigt insgesamt, dass die Varianten mit mehrheitlicher oder gänzlicher Verwertung in der KVA Renergia (0a, 1a, 1b) sowie die Variante 3a (Holsammlung, werkstoffliche Verwertung) in allen betrachteten Fällen ausser der Sensitivität „Gewichtung“ Nutzwerte im oberen Bereich erzielen, wobei die Rangierung unterschiedlich ausfällt. Wird die Umwelt höher gewichtet als die Ökonomie (Standardfall), erzielt Variante 3a höhere Nutzwerte als die KVA-Varianten, wird hingegen die Ökonomie höher gewichtet als die Umwelt (Sensitivität Gewichtung) erzielen alle KVA-Varianten (0a, 0b, 1a, 1b) höhere Nutzwerte als die übrigen Varianten.

Da die veränderten Festlegungen gemäss den Sensitivitätsanalysen durchaus auch ihre Berechtigung haben können, sind die Ergebnisse zwingend für die Folgerungen aus der Studie zu berücksichtigen.

weitere
Entscheidungskriterien

Die vorliegende Multikriterienanalyse kann nicht als alleinige Grundlage für einen Entscheid dienen, ob eine Kunststoff-Separatsammlung eingeführt werden soll. Dieser muss auch auf weiteren Überlegungen basieren, wie der Fragestellung betreffend Auslastung der neuen KVA, wenn grosse Mengen an Kunststoffabfällen fehlen würden, oder Abklärungen zur Machbarkeit einer Kunststoff-Separatsammlung, welche grosse Sammelmengen in guter Qualität erbringen soll.

Fazit aus der Studie

Betreffend die Aufgabenstellung der Studie, den Vergleich der verschiedenen Verwertungswege für Kunststoffabfälle aus Haushaltungen der Zentralschweiz, ergibt sich folgendes Fazit:

- Sowohl die energetische Verwertung in der KVA Renergia, als auch die Separatsammlung mit werkstofflicher Verwertung, weisen hohe Nutzwerte auf, auch unter Berücksichtigung der Spannweite gemäss den Sensitivitätsanalysen.
- Der aktuelle Verwertungsweg von Kunststoffabfällen in der neuen KVA Renergia wird als sinnvoll und vertretbar eingestuft.
- Auf der Basis der vorliegenden Studie kann jedoch kein eindeutiger Entscheid getroffen werden, ob es zweckmässig wäre, in der Zentralschweiz eine zusätzliche Kunststoff-Separatsammlung einzuführen.
- Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die KVA Renergia anfangs 2015 ihren Betrieb aufgenommen hat und die vorliegende Studie zeigt, dass die energetische Verwertung von Kunststoffabfällen aus Haushalten in der KVA Renergia sinnvoll und vertretbar ist, kann gefolgert werden, dass eine Separatsammlung von Kunststoffabfällen in der Zentralschweiz nicht im Vordergrund steht.

8.2 Diskussion der einzelnen Varianten

Nachfolgend sind die Varianten in der Reihenfolge ihrer Nummerierung aufgeführt. Vertiefte Betrachtungen der Bereiche Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft werden in Kapitel 6 diskutiert.

Variante 0a: Sammlung zusammen mit dem Kehricht, energetische Verwertung in der KVA Renergia

- | | |
|--------------|--|
| Umwelt | Im Bereich Umwelt wird für Variante 0a ein mittlerer Nutzen erzielt. Kunststoff enthält fossilen Kohlenstoff und verursacht bei dessen Verbrennung entsprechende CO ₂ -Emissionen, die ins Gewicht fallen. Auf Seite der Gutschriften zeigt sich, dass auch eine Verbrennung der Kunststoffe in der KVA Renergia zu hohen Gutschriften führt. Bezüglich Klimawandel erzielt die energetische Verwertung in der KVA Renergia beispielsweise die höchsten Gutschriften. Bezüglich anderer Indikatoren sind die generierten Gutschriften ebenfalls nennenswert. Der Nutzwert dieser Variante ist deutlich höher als derjenige der Variante 0b (durchschnittliche KVA). Dieser Vergleich zeigt, dass die Standortwahl einer KVA von hoher Bedeutung ist. Die KVA Renergia hat mit der Papierfabrik Perlen einen konstanten Wärmeabnehmer über das ganze Jahr, wodurch ein hoher Gesamtenergienutzungsgrad erreicht werden kann. |
| Ökonomie | Die Variante 0a weist für die Abfallverbände beziehungsweise für die Gemeinden die geringsten Kosten auf und erreicht somit die höchste Bewertung im Bereich Ökonomie. |
| Gesellschaft | Im Bereich Gesellschaft resultiert vor allem aufgrund des hohen Komforts ein hoher Nutzen. Im Weiteren wird die energetische Verwertung in der KVA Renergia von der Bevölkerung im Endergebnis neutral beurteilt. Demgegenüber steht die grundsätzliche Bereitschaft, Kunststoffabfälle separat zu sammeln.

Unter Berücksichtigung aller Bereiche ist der Abstand zur Variante mit dem höchsten Nutzwert mit 7 % relativ gering. |
| Sensitivität | Die Variante 0a reagiert sensitiv auf die Gewichtung, die Wahl der Stromgutschrift und auf den Ausschluss des Indikators U6 (vergleiche Kapitel 7.2, 7.5 und 7.6). In allen Sensitivitätsanalysen erhöht sich deren Nutzwert erheblich. Diese Variante generiert im Standardfall zwar nicht den höchsten Nutzen, kann jedoch unter geänderten, ebenfalls plausiblen Bedingungen, einen hohen Nutzwert erzielen. Die Variante rangiert maximal auf Position 1 und minimal auf Position 2. |

Variante 0b: Sammlung zusammen mit dem Kehricht, energetische Verwertung in einer durchschnittlichen KVA

- | | |
|--------|---|
| Umwelt | Die Variante 0b erzielt im Bereich Umwelt die tiefsten Nutzwerte. Der Unterschied zu den anderen Varianten ist markant. In allen untersuchten Umweltindikatoren (mit Ausnahme des Indikators „deponierte Abfälle in UTD & EL“) verursacht diese Variante die grössten Umweltbelastungen und entsprechend die geringsten Nutzwerte. Dies ist hauptsächlich auf die Gesamtenergieausnutzung zurückzuführen, |
|--------|---|

welche mit 36% deutlich geringer ist als bei der KVA Renergia mit 66%. Dementsprechend fallen bei der durchschnittlichen KVA die Gutschriften relativ gering aus.

Ökonomie	Im Bereich Ökonomie wurden zur Variante 0a analoge Nutzwerte verwendet.
Gesellschaft	Im Bereich Gesellschaft erzielt die Variante 0b eine mittlere Bewertung.
Sensitivität	Diese Variante reagiert vor allem sensitiv auf die Gewichtung, die Methode der ökologischen Knappheit und auf den Ausschluss des Indikators U6 (vergleiche Kapitel 7.4 und 7.5). In der Sensitivitätsanalyse „Gewichtung“ erhöht sich der Nutzwert und in den Sensitivitätsanalysen "Methode der ökologischen Knappheit" sowie "Ausschluss des Indikators U6" verringert sich der Nutzwert. Diese Variante rangiert maximal auf Position 4 und minimal auf Position 7.

Variante 1a: Holsammlung Hohlkörper, werkstoffliche Verwertung

Aufgrund der Mengenverhältnisse (13% separat gesammelte Kunststoffabfälle, 87% verbleiben im Kehrtrichtersack) entspricht die Variante 1a in der vorliegenden Multikriterienanalyse weitgehend der Variante 0a "Renergia". Der Unterschied von Variante 1a zu der Variante 0a besteht in der Separatsammlung der Hohlkörper.

Umwelt	Kunststoff enthält fossilen Kohlenstoff und verursacht bei dessen Verbrennung entsprechende CO ₂ -Emissionen, die ins Gewicht fallen. Auf Seite der Gutschriften zeigt sich, dass eine Verbrennung der Kunststoffe in der KVA Renergia auch zu hohen Gutschriften führt. Bezüglich Klimawandel erzielt die Verbrennung in der KVA Renergia beispielsweise die höchsten Gutschriften. Bezüglich anderer Indikatoren sind die generierten Gutschriften ebenfalls nennenswert. Wird ein Teil der Hohlkörper zusätzlich zu der Verbrennung in der KVA Renergia separat gesammelt, resultiert ein um rund 15 % höherer Umweltnutzen als durch die Verbrennung des gesamten Kunststoffs in der KVA Renergia (vergleiche Variante 0a).
Ökonomie	Die spezifischen Kosten für die Sammlung sind mit rund Fr. 700.- /t recht hoch. Der ökonomische Nutzen der Variante 1a ist aufgrund der Kosten der Separatsammlung um rund 10% geringer als derjenige der Variante 0a.
Gesellschaft	Im Bereich Gesellschaft erzielt die Variante 1a einen hohen Nutzen.
Sensitivität	Die Variante 1a reagiert sensitiv auf die Gewichtung, die Wahl der Stromgutschrift und auf den Ausschluss des Indikators U6 (vergleiche Kapitel 7.6 und 7.5). In allen Sensitivitätsanalysen erhöht sich der Nutzwert. Die Variante rangiert maximal auf Position 2 und minimal auf Position 3.

Variante 1b: Bringsammlung Hohlkörper, werkstoffliche Verwertung

Für die Variante 1b gilt Ähnliches wie für die Variante 1a (Holsammlung Hohlkörper). Da bereits von den Grossverteilern eine Bringsammlung für Hohlkörper angeboten wird, sind die zusätzlich erreichbaren Sammelmengen mit 3% der Kunststoffabfallmenge klein.

Umwelt	Wie schon in der Diskussion der Variante 0a gezeigt, führt die Verbrennung von Kunststoff in der KVA Renergia zu vergleichsweise hohen Emissionen, aber auch
--------	--

zu hohen Gutschriften aufgrund ihres hohen Gesamtenergienutzungsgrads. Durch die geringere Sammelmenge mittels Bringsammlung der Hohlkörper ist der Nutzwert im Bereich Umwelt leicht geringer als in Variante 1a (Holsammlung).

- Ökonomie Im Bereich Ökonomie zeigt sich, dass die Bringsammlung recht kostspielig ist. Aufgrund der geringen zu erwartenden Sammelmenge bei den Gemeinden/Verbänden fallen die zusätzlichen Kosten aber nicht stark ins Gewicht.
- Gesellschaft Die Separatsammlung von Kunststoffabfällen wird von der Bevölkerung grundsätzlich begrüsst, was ein Grund sein kann für Abfallverbände / Gemeinden, eine Bringsammlung von Hohlkörpern einzuführen.
- Sensitivität Auch diese Variante reagiert sensitiv auf die Gewichtung, die Wahl der Stromgutschrift und auf den Ausschluss des Indikators U6 (Kapitel 7.6 und 7.5). In beiden Sensitivitätsanalysen erhöht sich der Nutzwert. Die Variante rangiert maximal auf Position 2 und minimal auf Position 4.

Variante 2: Holsammlung Mischkunststoffe, Ersatzbrennstoff

- Umwelt Mit der Holsammlung von Mischkunststoffen fallen grosse Mengen an separat gesammeltem Kunststoff an, welche in einem Zementwerk als Ersatzbrennstoff eingesetzt werden. Dies führt zu einem hohen Nutzwert im Bereich Umwelt, da der Kunststoff im Zementwerk hauptsächlich Kohle ersetzt, was in allen untersuchten Umweltindikatoren zu hohen Gutschriften führt. Die bessere Umweltperformance gegenüber der Verwertung in der KVA Renergia ist auf den ersten Blick erstaunlich, handelt es sich doch bei beiden Verfahren um Verbrennungsprozesse mit hoher Energienutzung. Gründe dafür liegen vor allem bei den hohen Gutschriften, die beim Zementwerk für die Substitution von relativ "belastungsintensiven" Energieträgern vergeben werden und in der Tatsache, dass im Zementwerk der Energieinhalt von Kunststoff vollständig ausgenutzt werden kann, im Gegensatz zur KVA Renergia, in welcher der energetische Wirkungsgrad 66% beträgt (siehe Kapitel 6.2.1). Der Nutzen dieser Variante für die Umwelt ist daher gross.
- Ökonomie Die Variante ist aufgrund der hohen Sammelmenge aus Sicht der Abfallverbände beziehungsweise der Gemeinden teuer und führt deshalb zu einem tiefen ökonomischen Nutzwert.
- Gesellschaft Dem Pfad "Verwertung als Ersatzbrennstoff" wird gemäss der ausgeführten Bevölkerungsbefragung (GfK Switzerland AG, 2014) von der Bevölkerung mehrheitlich nicht zugestimmt. Die Gründe für die eher zurückhaltende Einschätzung wurden nicht abgefragt.
- Sensitivität Diese Variante reagiert sensitiv auf die Gewichtung, die Expertenschätzungen und die Wahl der Stromgutschrift (vergleiche Kapitel 7.2, 7.3 und 7.6). In diesen Sensitivitätsanalysen vermindert sich der Nutzwert dieser Variante. Die Variante rangiert maximal auf Position 5 und minimal auf Position 7.

Variante 3a: Holsammlung Mischkunststoffe, werkstoffliche Verwertung

- Umwelt Die Variante 3a, bei welcher etwa die Hälfte des separat gesammelten Kunststoffs zu Regranulat aufbereitet wird, erzielt den grössten Umweltnutzen, wie die durchgeführte Ökobilanz zeigt. Generell führt das Recycling zu hohen Gutschriften für die Vermeidung der Produktion von Primärkunststoff. Ein grosser Anteil des separat gesammelten Kunststoffs wird dennoch im Zementwerk verwertet (siehe auch Mengengerüst Kapitel 5.1). Durch den Ersatz von Kohle im Zementwerk erzielt die Kunststoffverbrennung im Zementwerk ebenfalls hohe Gutschriften.
- Ökonomie Die Kosten einer Holsammlung von Mischkunststoffen sind für die Abfallverbände und/oder die Gemeinden recht hoch. Nebst den hohen Logistikkosten schlagen hier auch die wegfallenden Einnahmen aus der Kehricht-Mengengebühr stark zu Buche. Dies führt aus der Perspektive der Abfallverbände und/oder der Gemeinden zu einem tiefen Nutzwert im Bereich Ökonomie.
- Gesellschaft Die Bereitschaft, Kunststoffabfälle separat zu sammeln, ist gemäss der durchgeführten Bevölkerungsumfrage (GfK Switzerland AG, 2014) gross. Die Sammlung aller Kunststoffverpackungen wird dabei gegenüber der Hohlkörpersammlung favorisiert. Diese Tatsache fliesst zwar in die Bewertung ein, ist aber aus den resultierenden Nutzwertpunkten im Bereich Gesellschaft nicht direkt ersichtlich, da das Kriterium "Komfort der Sammlung" entgegengesetzt ausfällt. Zudem wird der Bereich Gesellschaft insgesamt nur relativ gering gewichtet.
- Sensitivität Diese Variante reagiert sensitiv auf die Gewichtung, die Expertenschätzungen und die Wahl der Stromgutschrift (vergleiche Kapitel 7.2, 7.3 und 7.6). In diesen Sensitivitätsanalysen vermindert sich der Nutzwert dieser Variante. Die Variante rangiert maximal auf Position 1 und minimal auf Position 5.

Variante 3b: Bringsammlung Mischkunststoffe, werkstoffliche Verwertung

- Umwelt und Ökonomie Die Variante 3b weist im Vergleich zur Variante 3a (Holsammlung Mischkunststoffe) einen wesentlich tieferen Nutzwert auf. Entscheidend sind die geringeren separat gesammelten Mengen, was zu einem tieferen Umweltnutzen führt sowie die bei den Abfallverbänden beziehungsweise Gemeinden anfallenden, hohen spezifischen Kosten für die Sammlung bei den Ökihöfen. Die spezifischen Kosten sind höher als bei der Holsammlung von Mischkunststoffen. Zentrale, bediente Sammelstellen sind grundsätzlich recht kostspielig, in erster Linie bedingt durch den Personalaufwand.
- Gesellschaft Im Bereich Gesellschaft ist der Nutzwert relativ tief, vor allem wegen dem geringeren Sammelkomfort und der eher tiefen lokalen Akzeptanz.
- Sensitivität Diese Variante reagiert vergleichsweise wenig sensitiv auf alle untersuchten Parameter (vergleiche Kapitel 7). Sie rangiert maximal auf Position 5 und minimal auf Position 6.

Variante 4: Bringsammlung Mischkunststoffe, Verölung

Umwelt	Die Variante 4 erreicht im Bereich Umwelt einen mittleren Nutzwert. Der Sammelaufwand ist wie auch schon in Variante 3b vergleichsweise hoch und die aus der Verölung resultierenden Produkte generieren vergleichsweise geringe Gutschriften.
Ökonomie und Gesellschaft	Die Kosten der Variante 4 für die Abfallverbände beziehungsweise Gemeinden fallen relativ hoch aus, was zu einem geringen Nutzwert im Bereich Ökonomie führt. Die Bewertung aus gesellschaftlicher Sicht fällt tief aus.
Sensitivität	Diese Variante reagiert vor allem sensitiv auf die Wahl der Stromgutschrift (vergleiche Kapitel 7.6). Sie rangiert durchwegs auf Position 8.

8.3 Folgerungen aus den Sensitivitätsanalysen

Die Sensitivitätsanalysen (siehe Kapitel 7) haben gezeigt, dass das Bewertungssystem vor allem auf die Veränderung folgender Grössen sensitiv reagiert:

- Alternative Gewichtung (Umwelt 30%, Ökonomie 50%, Gesellschaft 20%)
→ siehe Kapitel 7.2 und untenstehend
- Berechnung mit Stromgutschrift Braunkohlekraftwerk anstelle Gas-und-Dampf-Kraftwerk → siehe Kapitel 7.6 und untenstehend

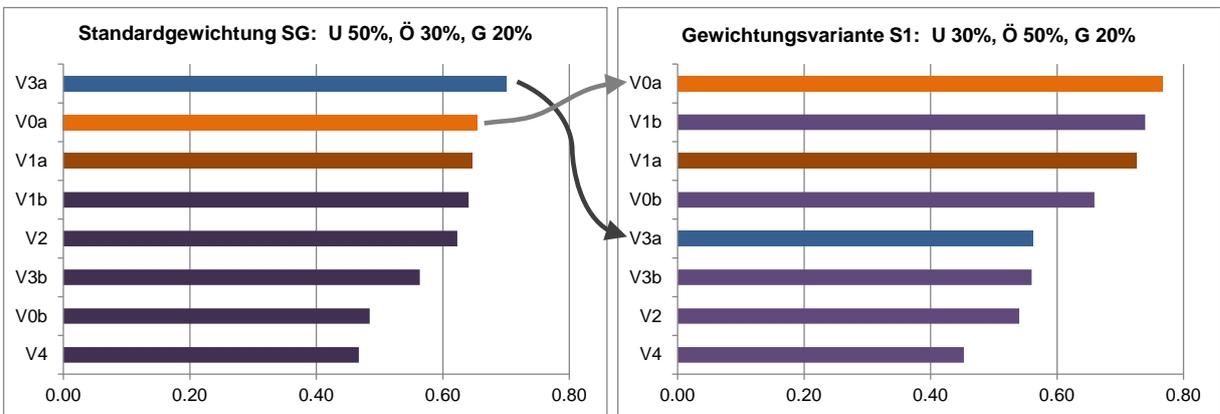
Einzelne Varianten reagieren auch bezüglich anderer untersuchter Parameter sensitiv, grundsätzliche Änderungen in den Ergebnissen rufen jedoch nur die oben genannten Sensitivitätsanalysen hervor. Dies hat aber einen grossen Einfluss auf die Folgerungen, die aus der Studie gezogen werden können, da diese veränderten Festlegungen durchaus auch ihre Berechtigung haben können.

8.3.1 Alternative Gewichtung der Bereiche Umwelt, Ökonomie, Gesellschaft

Die Sensitivitätsanalyse "Alternative Gewichtungen" zeigt, dass die Veränderung der Gewichtung zwischen den Bereichen Umwelt und Ökonomie einen grossen Einfluss auf das Resultat der Multikriterienanalyse hat.

In Abbildung 37 ist veranschaulicht, dass sich mit der alternativen Gewichtungsvariante S1 (Umwelt 30%, Ökonomie 50%, Gesellschaft 20%) die Punktzahlen und die Rangierungen ändern. Dabei rücken die Varianten ohne Separatsammlung oder mit geringen Separatsammelquoten nach vorne.

Abbildung 38: Vergleich Standardgewichtung zu Alternativer Gewichtung der Bereiche Umwelt, Ökonomie, Gesellschaft



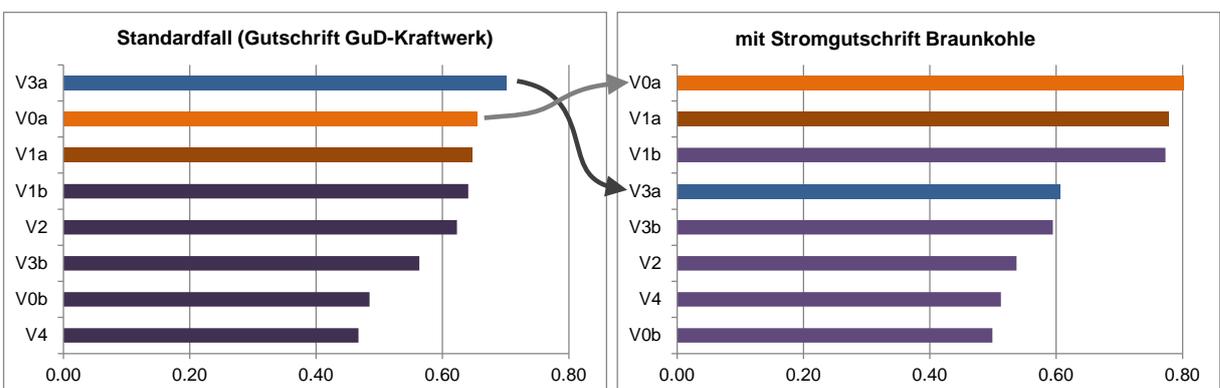
Die der vorliegenden Studie zugrundeliegende Standardgewichtung (Umwelt 50%, Ökonomie 30%, Gesellschaft 20%) wurde durch den Fachbeirat festgelegt und widerspiegelt die Prioritäten der schweizerischen Umweltpolitik. Sie wird zudem durch weitere Betrachtungen (siehe Anhang 7) gestützt.

Da die Festlegung, ob der Bereich Umwelt oder der Bereich Ökonomie höher zu gewichten ist, eine gesellschaftspolitische Fragestellung ist, die nicht eindeutig beantwortet werden kann, wird das vorliegende Ergebnis der Sensitivitätsanalyse "Alternative Gewichtungen" im Fazit der Studie berücksichtigt.

8.3.2 Berechnung mit Stromgutschrift Kohlekraftwerk anstelle GuD-Kraftwerk

Die Sensitivitätsanalyse "Stromgutschrift Kohlekraftwerk" (siehe Kapitel 7.6) zeigt, dass die Wahl der Zusammensetzung der Stromgutschrift einen grossen Einfluss auf das Resultat der Multikriterienanalyse hat (siehe Abbildung 38). Wird für die Stromproduktion Strom aus Braunkohlekraftwerken gutgeschrieben, rücken die Varianten mit hoher Stromproduktion (0a, 1a, 1b) nach vorne. Die Nutzwerte der Varianten mit geringerer Stromproduktion und hoher Separatsammelquote (3a und 2) verringern sich hingegen.

Abbildung 39: Vergleich Standardfall (Gutschrift GuD-Kraftwerk) zu Sensitivitätsanalyse mit Stromgutschrift Braunkohle



Es zeigt sich, dass die Varianten sensitiv gegenüber der gewählten Stromgutschrift reagieren. Wird anstelle von Erdgas Braunkohle für die Stromgutschrift gewählt, ändern nicht nur die Ergebnisse im Bereich Umwelt, auch das Endergebnis über alle Bereiche wird massgeblich beeinflusst.

8.4 Unsicherheiten und Grenzen der Methodik, nicht untersuchte Punkte

Unsicherheiten	Die Unsicherheit in der Bewertung kann nicht numerisch bestimmt werden, da viele Indikatoren nur qualitativ bewertet werden. Bei den numerisch bestimmten Indikatoren sind zugrundeliegende Unsicherheiten zum Teil nicht bekannt. Generell erwarten wir aber eine relativ geringe Unsicherheit im Endergebnis, da nicht die absoluten Werte, sondern die Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten von Belang sind.
Grenzen der Methodik	<p>Folgend einige Bemerkungen zu den Grenzen der vorliegenden Methode der Multikriterienanalyse:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass durch die gewählten Bewertungskriterien bestimmt wird, welche Aspekte miteinander verglichen werden. Diese Auswahl ist subjektiv. ▪ Mit der Auswahl der zu betrachtenden Varianten wird das mögliche Lösungsspektrum abschliessend festgelegt. ▪ Je nach Auswahl der Varianten können sich auch die resultierenden Nutzwertpunkte verändern, so wenn beispielsweise eine Variante weggelassen wird, die mehrheitlich das untere oder obere Ende der Skala darstellt. ▪ Die Festlegung der Gewichtung kann einen erheblichen Einfluss auf das Resultat haben. Dies ist bei der vorliegenden Studie der Fall. ▪ Die quantitative Bewertung suggeriert eine Genauigkeit, die zu interpretieren ist. Die durchgeführten Sensitivitätsanalysen helfen hierbei, die Stabilität der Ergebnisse zu testen. Generell soll die vorliegende Methode der Multikriterienanalyse daher eine Hilfestellung sein, um mit komplexen, mehrschichtigen Fragestellungen umzugehen.
nicht untersuchte Punkte	<p>Nicht untersucht wurden Varianten mit vorgezogener Entsorgungsgebühr und gebührenpflichtiger Separatsammlung. Dies weil die Einführung einer vorgezogenen Gebühr auf absehbare Zeit unwahrscheinlich ist, und eine gebührenpflichtige Sammlung wahrscheinlich nur in sehr reduziertem Umfang funktionieren würde.</p> <p>Ebenfalls nicht untersucht und bewertet wurden die Einführungsphase einer Kunststoff-Separatsammlung und die Möglichkeit, dass eine derartige Sammlung schlecht funktionieren könnte. Der geringere Heizwert wegen fehlender Kunststoffe wurde mit entsprechend tieferen Energiegutschriften, die betrieblichen Folgen für die KVA dagegen wurden nicht berücksichtigt.</p>

Literaturverzeichnis

- AG Energiebilanzen, 2014. www.ag-energiebilanzen.de. [Online]
[Zugriff am 2014].
- Altstoff Recycling Austria, 2014. www.ARA.at. [Online].
- Antwort Bundesrat auf Interpellation, 2013/2014.
http://www.parlament.ch/d/suche/seiten/geschaefte.aspx?gesch_id=20134257. [Online]
[Zugriff am 2014].
- Arena, U., Mastellone, M. L. & Perugini, F., 2003. *Life Cycle Assessment of a Plastic Packaging Recycling System*, s.l.: In: International Journal of Life Cycle Assessment, Volume 8, Number 2, pp. INT J LCA 8 (2) 92 - 98 (2003).
- AVAG AG, 2013. Separatsammlung von Kunststoffflaschen und Getränkekartons. *AVAG Kontakt Nr. 10, Dezember 2013*.
- BAFU, BFE und VBSA, 2014. Einheitliche Heizwerte- und Energiekennzahlenberechnung der Schweizer KVA nach europäischen Standardverfahren - Resultate 2013., Bern: s.n.
- BAFU, 2013. Bericht an den Bundesrat; Grüne Wirtschaft: Berichterstattung und Aktionsplan, Bern: s.n.
- BAFU, 2013. Faktenblatt "Berechnung der Verwertungsquote von PET-Flaschen", Bern: s.n.
- BAFU, 2014. Erhebung der Kehrrechtzusammensetzung 2012, s.l.: s.n.
- Bättig, M. et al., 2011. Vergleich verschiedener Entsorgungswege des Klärschlammes aus der Region Luzern mittels Multikriterienanalyse und Ökobilanzen, Zürich, Uster, Luzern, Schweiz: s.n.
- Bättig, M. et al., 2009. Vorstudie für eine Methode zur Bewertung der Entsorgungs- und Nutzungsverfahren von biogenen Abfällen und Hofdünger. Entwicklung der Methodik und Anwendung auf ausgewählte Technologien, Zürich: s.n.
- BFE, 2013. Energieperspektiven 2050 - Zusammenfassung, Bern, Schweiz: s.n.
- 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, Zürich: s.n.
- Bundesgesetz über die Reduktion der CO₂-Emissionen (2011).
- DESTATIS-Statistisches Bundesamt, 2013. *Umwelt-Abfallbilanz 2011*, Wiesbaden: s.n.
- Dinkel, F. D., 2013. Aktualisierte Ökobilanz zum Recycling von Kunststoffen und Getränkekartons, Carbotech, Basel: s.n.
- Doka, G., 2009. Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. ecoinvent report No. 13, v2.1., Swiss Centre of Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH: s.n.
- Doka, G., 2014a. Updates to Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services - part II: waste incineration., Doka Life Cycle Assessment, Zürich, Switzerland: s.n.
- Doka, G., 2014b. Ökoinventare der Kehrrechtverbrennung mit Reststoffdeponie & Untertagedeponie & FLUREC-Ascheaufbereitung, Doka LCA im Auftrag des BAFU, Zürich: s.n.
- Dröge, S. & Westphal, K., 2013. *Schiefergas für ein besseres Klima?*, s.l.: s.n.
- Edelmann, W. D., Arnet, M., Schwarzenbach, H. U. & Stutz, E. D., 2004. Zweckverband der Zuger Einwohnergemeinden für die Bewirtschaftung von Abfällen; Kunststoffverwertung im Kanton Zug, Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft, Zug: s.n.
- Europäische Kommission, 2013. Grünbuch zu einer europäischen Strategie für Kunststoffabfälle in der Umwelt, Brüssel: s.n.
- Fraunhofer UMSICHT, I. S.-R., 2014. *Präsentation "Ökoeffizienz der Kunststoffverwertung"*. Berlin: Berliner Recycling- und Rohstoffkonferenz und Verpackungskonferenz.

- Friedli, D., 2013. Recycling bald auch für Plastic.
- Frischknecht, R. & Büsser Knöpfel, S., 2013. Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit. Grundlagen und Anwendung Schweiz, Bundesamt für Umwelt, Bern: s.n.
- Frischknecht, R. et al., 2007b. *Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. ecoinvent report No. 3, v2.0.*, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH: s.n.
- GfK Switzerland AG, 2014. *Bedürfnisanalyse REAL 2014*, Luzern: s.n.
- Goedkoop, M. et al., 2009. ReCiPe 2008 - A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. First edition. Report I: Characterisation, NL: s.n.
- Henderson, A. D. et al., 2011. USEtox fate and ecotoxicity factors for comparative assessment of toxic emissions in life cycle analysis: sensitivity to key chemical properties. In: *IntJ LCA*, 16, s.l.: s.n.
- HOLINGER AG, 2011. Umweltverträglichkeitsbericht Hauptuntersuchung "Kraftwerk zu Rückgewinnung von Energie aus Abfall in Perlen", Luzern: s.n.
- International Energy Agency, 2014. www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2014.pdf. [Online].
- IPCC, 2013. The IPCC fifth Assessment Report - Climate Change 2013: the Physical Science Basis., Geneva, Switzerland: s.n.
- Kilga, M. & Wick, G., 2011. Ökobilanz - Verwertung von Kunststoffabfällen, Verölungsanlage plastOil AG, s.l.: s.n.
- kunststoff-schweiz, 2014. www.kunststoff-schweiz.ch. [Online].
- Liechti Jürg, N. A., 2012. Energieoptimierung der KVA, Basispapier zur Energie- und Ressourcenpolitik der Schweizer KVA, Zürich: s.n.
- Perugini, F., Mastellone, M. L. & Arena, U., 2005. A Life Cycle Assessment of Mechanical and Feedstock Recycling Options for Management of Plastic Packaging Wastes, s.l.: In: *Environmental Progress*, Volume 24, Number 2.
- PET-Recycling Schweiz, 2013. www.petrecycling.ch. [Online]
Available at: http://www.petrecycling.ch/sites/default/files/130903_Wichtigste%20in%20Kürze_def.pdf
- Recycling für Deutschland, 2014. www.recycling-fuer-deutschland.de. [Online].
- Schelker, R. & Geisselhardt, P., 2010. *Kunststoff-Sammlung aus Haushaltungen*, Baar: s.n.
- Schelker, R. & Geisselhardt, P., 2011. Projekt "Kunststoff-Verwertung Schweiz", Bericht Module 1 und 2, Baar: s.n.
- Stadt Bern, Direktion für Tiefbau, Verkehr und Stadtgrün, 2012. Medienmitteilung der Direktion für Tiefbau, Verkehr und Stadtgrün; Probleme bei den Quartierentsorgungstellen, Neuorganisation der Kunststoffsammlung, Bern: s.n.
- Tuchschnid, M., Frischknecht, R. & Jungbluth, N., 2008. Bewertungsmethode für Technologien zu Nutzung von biogenen Abfällen und Hofdünger, Uster, Bern, Schweiz: s.n.
- TVA, 1990. Technische Verordnung über Abfälle. s.l.:s.n.
- TVA, 2015. Verordnungsentwurf - Technische Verordnung über Abfälle (TVA), s.l.: s.n.
- USG, 1983. Bundesgesetz über den Umweltschutz. s.l.:s.n.
- VKU Presseinformation, 2014. Europäisches Parlament verabschiedet Bericht zu Kunststoffabfällen, s.l.: s.n.
- VUE, 2014. Zertifizierungsrichtlinien Bestimmungen und Kriterien naturemade basic naturemade star, Version 2.4, Zürich, Schweiz: s.n.
- Wandschneider + Gutjahr Ingenieurgesellschaft mbh, 2010. *Erläuterungsbericht Nr. 04 Wasser-Dampf-Kreislauf*, s.l.: s.n.

Verwendete Begriffe

Begriff	Allg. Definition	Definition für diesen Bericht
Hohlkörper	Hohle Kunststoffbehälter (Flaschen, Blumentöpfe, Waschzeinen, Essschalen..)	In diesem Bericht wird von Hohlkörpern gesprochen, es sind aber ausschliesslich Flaschen mit Deckel gemeint, aber nicht PET
Verpackungen	Im Europäischen Raum wird der Begriff Verpackungen oder Packstoffe verwendet. Darunter fallen Papier, Karton, Pappe, Glas, Leichtverpackungen, Metall und Holz. Leichtverpackungen bestehen gemäss ARA aus Kunststoffen, Materialverbunden, textilen Faserstoffen, Keramik und aus Packstoffen auf biologischer Basis. Es werden sowohl Verpackungen aus Haushalten, aber auch aus Industrie und Gewerben gesammelt und verwertet.	Für diesen Bericht wird der Begriff Verpackungen nur auf Kunststoffverpackungen aus Haushaltungen angewandt. Auch Materialverbunde und Mehrkunststoffverpackungen gehören dazu. Tetrapacks gehören nicht dazu.
Mischkunststoffe		Verpackungsmaterialien aus Haushaltungen (Hohlkörper und Verpackungen), unsortiert
Sammelquote	Menge der Sammlung im Verhältnis zur in Umlauf gesetzten Menge.	Menge der Sammlung im Verhältnis zur in Umlauf gesetzten Menge innerhalb eines Kalenderjahres.
Standardfall		Das System der Multikriterienanalyse gemäss dem Modell, wie es der vorliegenden Studie festgelegt wird (im Gegensatz zu alternativen Festlegungen des Modells in den Sensitivitätsanalysen)
Verwertungsquote	Menge der stofflich verwerteten Menge im Verhältnis zur thermisch/energetisch verwerteten Menge.	Menge der stofflich verwerteten Menge im Verhältnis zur thermisch/energetisch verwerteten Menge innerhalb eines Kalenderjahres.
Verwertungstechnologie stoffliche Verwertung	Die stoffliche Verwertung bezeichnet die Aufbereitung oder Wiederverwertung gebrauchter Kunststoffmaterialien aus Haushalten zu Sekundärrohstoff (Regranulat)	
Verwertungstechnologie rohstoffliche Verwertung	Die rohstoffliche Verwertung bezeichnet die Verarbeitung gebrauchter Kunststoffmaterialien zu Ölprodukten (z.B. durch die Firma diesOil).	
Verwertungstechnologie energetische Verwertung im Zementwerk	Bezeichnet die Verwertung von gebrauchten Kunststoffmaterialien zu energetischen Zwecken in Zementwerken (Verbrennung).	
Verwertungstechnologie energetische Verwertung in Kehrichtverbrennungsanlagen	Bezeichnet die Verwertung von gebrauchten Kunststoffmaterialien zu energetischen Zwecken in Kehrichtverbrennungsanlagen (Verbrennung).	

Anhang 1

Bereich Umwelt

Anhang 2

Bereich Ökonomie

Anhang 3

Bereich Gesellschaft

Anhang 4

Grundlagen für die Berechnung des Verkehrs für Kriterium G1.2

Anhang 5

Resultattabellen Multikriterienanalyse

Anhang 6

Berechnung der zusätzlich eingesparten CO₂-Emissionen und der Kosten dafür

Anhang 1

Bereich Umwelt

ANHANG BEREICH UMWELT

INHALTSVERZEICHNIS

1	METHODIK UND MODELLIERUNGSGRUNDSÄTZE	1
1.1	Datengrundlagen und Methodik	1
1.2	Systemgrenze und Bezugsgrösse	1
2	PRODUKTE DER VERWERTUNGSWEGE	3
3	MODELLIERUNG DER VERWERTUNGSPFADE	4
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
4	FRAKTIONEN	9
4.1	Übersicht	9
4.2	Alternative Literaturquellen und Fraktionen	10
5	GEWICHTUNG DER UMWELTINDIKATOREN	12
6	DIREKTE UMWELTWIRKUNGEN	13
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
7	ERGEBNISSE	20
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
	LITERATURVERZEICHNIS	26

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 Renegia, 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 des ecoinvent 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 des ecoinvent-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

		Renergia	konv. KVA
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 Brennstoffe¹ 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).

¹ 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%	gemäss Schelker & Geisselhardt (2011a, Abbildung 25), abgezogen von Fraktion „unbekannt“
PVC	3%	
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

Mischkunststoffraktion 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 Fremdstoffraktion 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
Total Netto	11296	27206	9350	10520	-8564	-11864	2050	7062

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.

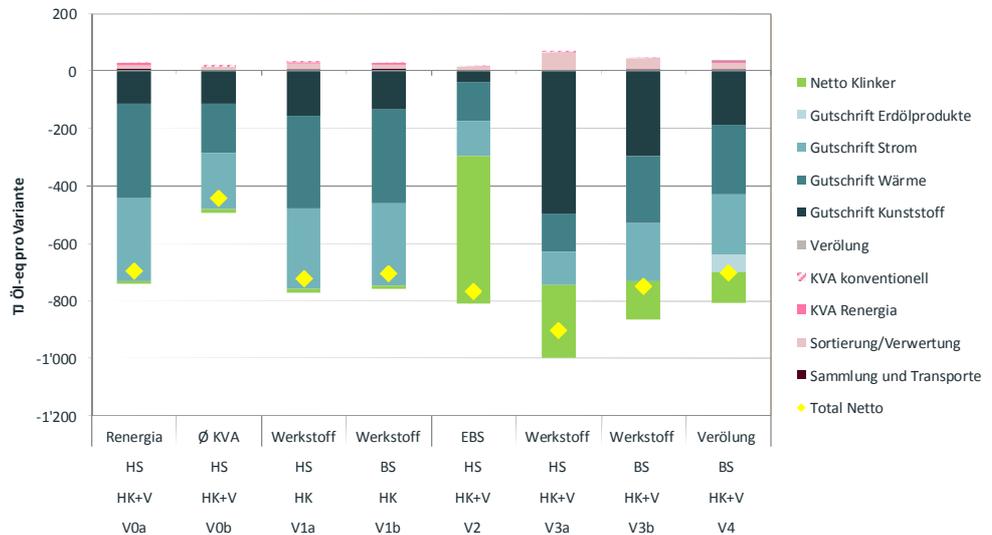


Tabelle 11: Schonung nicht erneuerbarer Energieträger für alle Varianten

	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

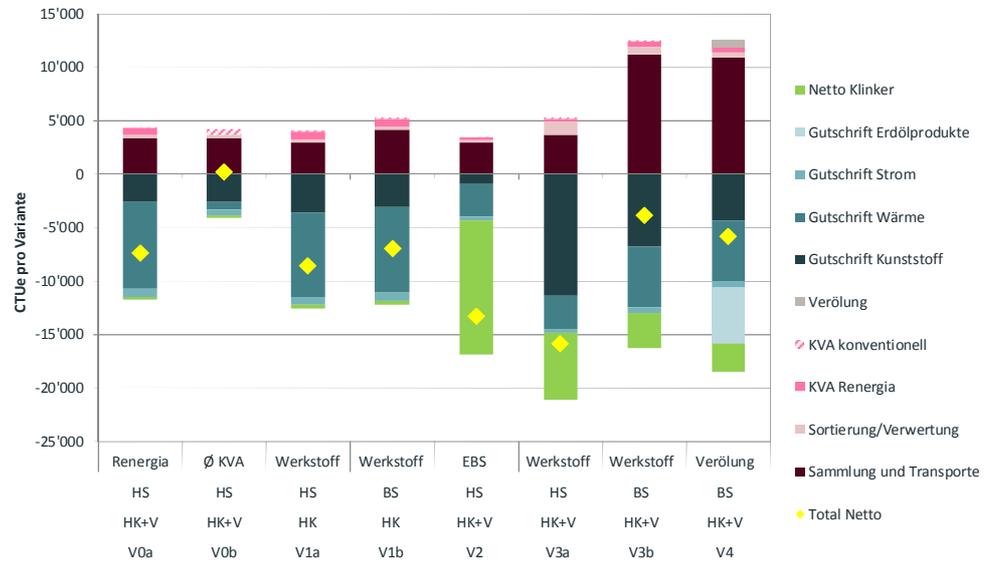
Die Ökotoxizität wird stark von Emissionen beeinflusst, die in der Erdölaufbereitung anfallen, z.B. Emissionen von organischen Schadstoffen wie Toluol und Xylol. Alle Prozesse, die direkt Erdöl verbrauchen, erzielen daher vergleichsweise hohe Belastungen bzw. Gutschriften.

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 Schwerölfuehrung 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
Total Netto	-13.15	-2.42	-13.82	-13.08	-15.93	-18.73	-13.63	-11.76

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_x 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_x 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.

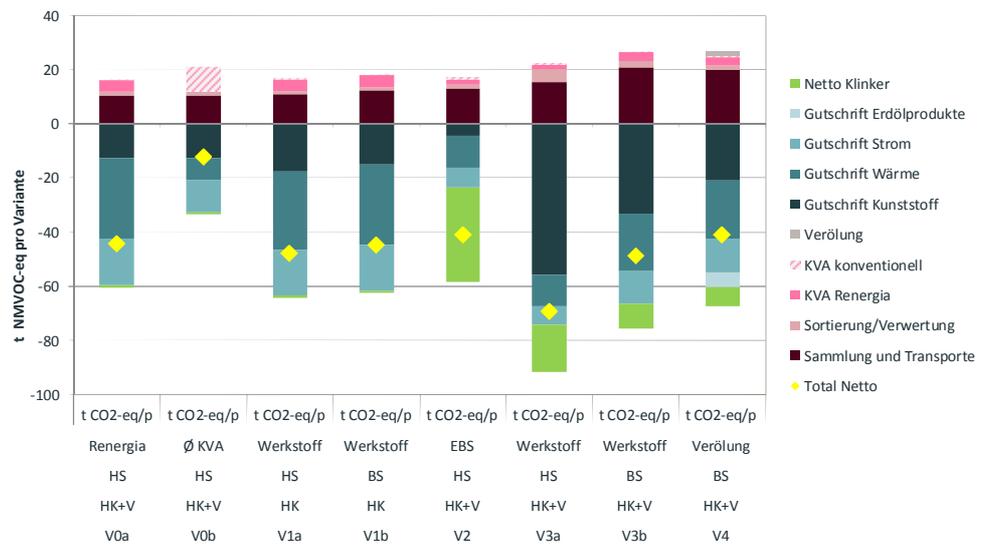


Tabelle 13: Umweltbelastung durch Sommersmog für alle Varianten

	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
Total Netto	-44.47	-12.51	-47.93	-44.69	-41.15	-69.45	-48.83	-40.94

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.

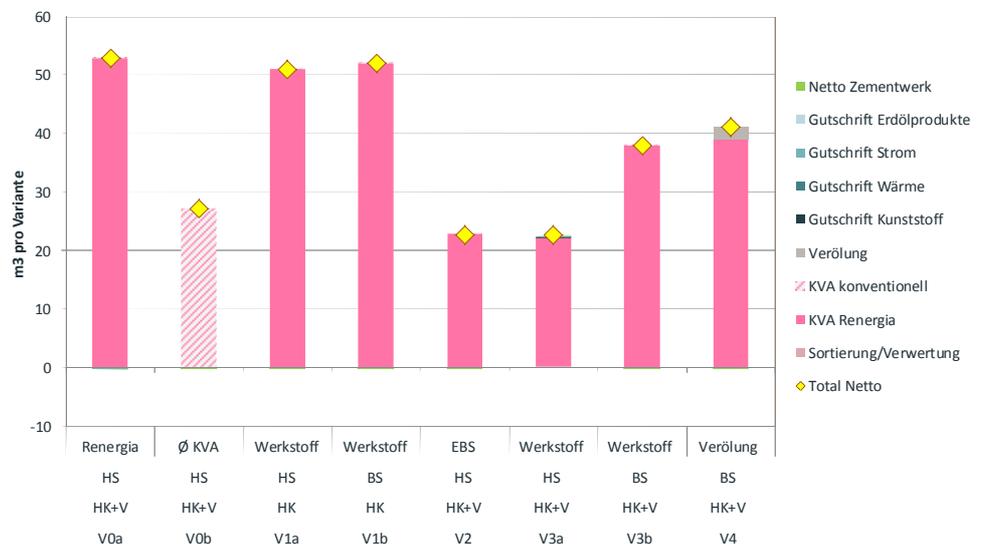


Tabelle 14: Umweltbelastung durch deponierte Abfälle (UTD & EL) für alle Varianten

	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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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 Kehrrichtverbrennung 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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	0 Punkte	0.33 Punkte	0.66 Punkte	1 Punkt
					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	0 Punkte			1 Punkt
					383'000			80'000
G2	Gesellschaftliche Akzeptanz	Einstellung gegenüber Entsorgungsweg	ordinale Skala	Bedürfnisumfrage	0 Punkte	0.33 Punkte	0.66 Punkte	1 Punkt
					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	0 Punkte	0.33 Punkte	0.66 Punkte	1 Punkt
					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	
Bereich Umwelt										0.5										
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	
Total			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	
Bereich Ökonomie										0.3										
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	
Total			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	
Bereich Gesellschaft										0.2										
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	
Total			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	
Total Nutzwert											0.655	0.484	0.646	0.641	0.623	0.701	0.564	0.467		

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	
Bereich Umwelt										0.3										
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	
Total			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	
Bereich Ökonomie										0.5										
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	
Total			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	
Bereich Gesellschaft										0.2										
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	
Total			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	
Total Nutzwert											0.767	0.659	0.726	0.739	0.540	0.562	0.560	0.453		

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	
Bereich Umwelt										0.33										
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 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	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	
Total			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	
Bereich Ökonomie										0.33										
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	
Total			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	
Bereich Gesellschaft										0.33										
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	
Total			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	
Total Nutzwert											0.699	0.571	0.674	0.681	0.561	0.610	0.555	0.459		

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.
Bereich Umwelt										0.5									
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
Total			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
Bereich Ökonomie										0.3									
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
Total			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
Bereich Gesellschaft										0.2									
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
		(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
Total			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
Total Nutzwert											0.798	0.500	0.777	0.780	0.535	0.606	0.592	0.505	

Anhang 6

Berechnung der zusätzlich eingesparten CO₂-Emissionen
und der Kosten dafür

Berechnung der zusätzlichen Kosten pro Tonne eingespartes CO₂-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.

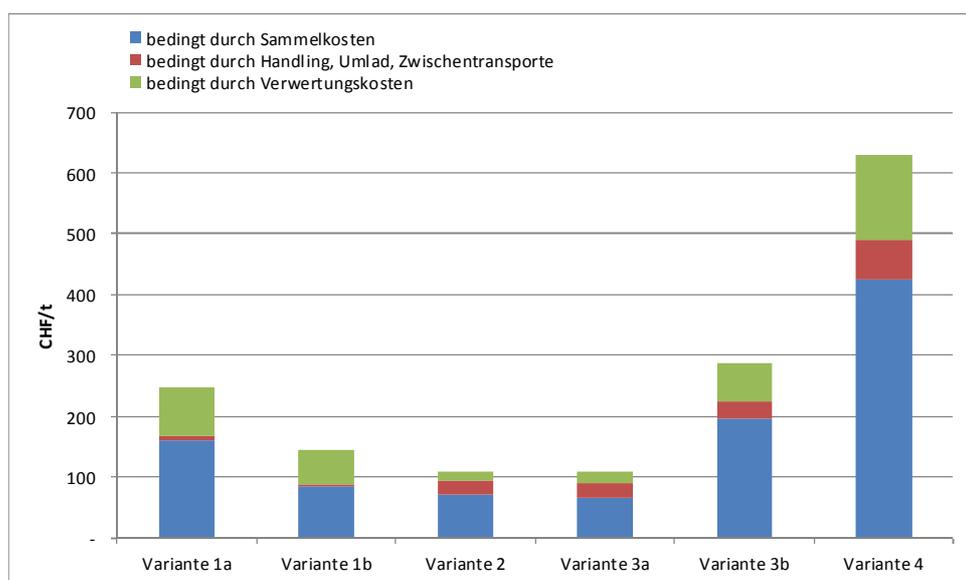
1 Vergleich betreffend CO₂-Einsparung / Kriterium "Klimaänderung" (U1)

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 (CO₂-eq Emissionen¹) 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 CO₂-eq gegenüber der Variante 0a.

Abbildung 1: Gegenüber Variante 0 zusätzliche Kosten pro Tonne eingespartes CO₂-eq in CHF/t



¹ CO₂ bezieht sich nur auf das Gas CO₂ (Kohlendioxid). CO₂-eq bezieht sich auf alle Treibhausgase (inkl. Methan, Lachgas, HFC; PFC; SF₆, etc.). In der vorliegenden Studie werden immer alle Treibhausgasemissionen betrachtet, also CO₂-eq.

Die tiefsten zusätzlichen Kosten verursachen die Varianten 2 (EBS-Zementwerk) und 3a (Holsammlung Mischkunststoffe) mit je Fr. 109.- pro t CO₂-eq. Die höchsten zusätzlichen Kosten ergeben sich bei den Varianten 1a, 3b und 4, mit bis zu Fr. 630.- pro t CO₂-eq.

Als Vergleichszahlen für die Einordnung dieser CO₂-Einsparung dienen folgende Angaben:

- CO₂-Abgabe auf fossile Brennstoffe in der Schweiz: Fr. 60.- pro t CO₂; diese kann vom Bundesrat auf bis Fr. 120.- pro t CO₂ erhöht werden. (Bundesgesetz über die Reduktion der CO₂-Emissionen, 2011)
- CO₂-Kompensation (50 % in der Schweiz), gemäss aktuellem Angebot von myclimate: Fr. 150.- pro t CO₂-eq

2 Fazit

Es zeigt sich, dass bei den Bestvarianten die Kosten für die vermiedenen CO₂-eq-Emissionen für schweizerische Verhältnisse relativ gering sind und rund 25% tiefer liegen als die aktuellen marktüblichen Kosten für CO₂-Kompensationen. .

Die Massnahme "ausgebaute Separatsammlung von Kunststoffabfällen" weist somit betreffend CO₂-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 CO₂-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
Total Kosten (CHF)	4'347'403	4'828'175	4'459'561	6'503'809	6'873'479	7'012'009	7'012'009

CO₂-eq Emissionen (t)	11'296	9'350	10'520	-8'564	-11'864	2'050	7'062
Einsparung CO ₂ -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
zusätzliche Kosten pro Tonne eingespartes CO₂-eq (CHF/t)		247	145	109	109	288	629
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