



## **Verwertung der biogenen Abfälle in der Stadt Zürich**

Bericht mit besonderer Berücksichtigung der biogenen Abfälle aus Haushalten

**→ Sperrfrist bis 6. April 2006, 14.00h**

ERZ Entsorgung + Recycling Zürich  
Hagenholzstrasse 110, Postfach  
8050 Zürich

6. April 2006



## **Impressum**

### **Herausgeberin**

Stadt Zürich  
ERZ Entsorgung + Recycling Zürich  
Hagenholzstrasse 110  
Postfach, 8050 Zürich

Tel. 044 645 77 77  
Fax 044 645 77 78  
[www.erz.ch](http://www.erz.ch)

### **Projektleitung**

Christoph Leitzinger

### **Copyright**

ERZ Entsorgung + Recycling Zürich  
Publikation des Berichts oder Teile davon nur mit Quellenangabe



## Projektteam

Leitzinger Christoph	Entsorgung + Recycling Zürich Leiter Material- und Energiemanagement Hagenholzstrasse 110, 8050 Zürich
Aebersold Adrian	Entsorgung + Recycling Zürich Leiter Produkte und Verkauf Hagenholzstrasse 110, 8050 Zürich
Bébié Bruno	Departement der Industriellen Betriebe Energiebeauftragter der Stadt Zürich Beatenplatz 2, 8023 Zürich
Thiess Fredi	Entsorgung + Recycling Zürich Entsorgungslogistik Hagenholzstrasse 110, 8050 Zürich
Von Felten Beat	Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich Umweltschutzfachstelle Walchestr. 31, 8035 Zürich
Wehrli Michael	Entsorgung + Recycling Zürich Prozessverantwortlicher Rückstände und Kompost Bändlistr. 108, 8010 Zürich
Zangerle Roman	Entsorgung + Recycling Zürich Produkte und Verkauf Hagenholzstrasse 110, 8050 Zürich

## Begleitgruppe

Die Begleitgruppe besitzt rein beratenden Charakter. Sie hatte die Aufgabe, dem Projektteam einen Überblick und Überbau in dieser Thematik zu bieten. Sie zeigte Tendenzen auf und diente als Informationskanal zu anderen Projekten von anderen Kantonen und Städten der Schweiz. Die Mitglieder der Begleitgruppe treten weder als Autor noch als Co- Autor dieses Berichtes auf.

Guggisberg Bruno	Bundesamt für Energie Bereich Biomasse und Kleinkraftwerke 3003 Bern
Kettler Rolf	Bundesamt für Umwelt Abteilung Abfall 3003 Bern
Wagner Rolf	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft Abfallwirtschaft Weinbergstr. 34, 8006 Zürich



## Zusammenfassung

Bei ERZ Entsorgung + Recycling Zürich (ERZ) werden die Entsorgungswege aller Abfallfraktionen der Stadt Zürich turnusgemäss auf ihre ökonomischen und ökologischen Optimierungsmöglichkeiten überprüft. Eine aktuell diskutierte Abfallfraktion sind die biogenen Abfälle aus den Haushalten der Stadt Zürich.

Im vorliegenden Bericht galt es die Frage zu beantworten, ob sich eine separate Sammlung von biogenen Abfällen aus den Haushalten der Stadt Zürich und eine anschliessende Vergärung dieses Materials ökologisch, energiepolitisch und ökonomisch lohnt.

ERZ ging diese Fragestellung mit Hilfe von profilierten Fachleuten an. Einerseits waren im Projektteam ERZ Mitarbeitende aus den Arbeitsgebieten Material- / Energiemanagement, Transport, Verfahrenstechnik und Produkte und Verkauf vertreten, andererseits Umwelt- und Energiefachleute aus dem Departement der Industriellen Betrieben (DIB) und von Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ). Eine Begleitgruppe des Projektes bestand aus Exponenten des Bundesamtes für Energie (BfE), des Bundesamtes für Umwelt (BAfU), und des kantonalen Amtes für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL).

Um nicht nur einzelne Komponenten und Teilaspekte losgelöst zu beurteilen, wurden die Systemgrenzen des Projektes bewusst um die ganze Stadt Zürich und deren Umgebung gezogen. Zuerst wurde der Ist – Zustand (Variante 0) aufgenommen und in einer Materialbilanzierung erfasst. Hier zeigen sich folgende wichtige Erkenntnisse:

- Bereits heute werden 47'400 Tonnen biogene Abfälle aus der Stadt Zürich verwertet.
- Davon werden 21'000 Tonnen energetisch in den Kehrlichtheizkraftwerken (KHKW), 5'750 Tonnen energetisch und stofflich in Vergärungsanlagen und 17'650 Tonnen stofflich durch Kompostierung verwertet. Damit werden 26'750 Tonnen oder 56% der Gesamtmenge energetisch verwertet. Weitere 3'000 Tonnen werden der Schweinemast zugeführt.

Um Vergleiche zu erhalten, wurden 3 realistische Varianten gebildet und auf deren energetischen Nutzen, CO<sub>2</sub> Bilanz und Kosten untersucht. Ebenso wurde eine Ökobilanzierung aller Varianten durchgeführt.

- Die Variante A stützt sich auf die Überlegung, dass die biogenen Abfälle aus Haushalten gemeinsam mit dem Gartenabraum eingesammelt werden. In einem kombinierten Kompostier- und Gärwerk werden holzartige von gut gärbaren Materialien getrennt und entsprechend verarbeitet. Damit würden mit mittlerem Aufwand jeweils kleine Mengen eingesammelt und bewirtschaftet.
- Die Variante B nimmt an, dass die biogenen Abfälle aus Restaurants, Kantinen und von Grossverteiler, d.h. auf dem freien Markt lokal konzentriert und in grösserer Menge vorliegend, eingesammelt und vergärt werden könnten.
- Die Variante C untersucht eine separate Sammlung der Küchenabfälle aus Haushalten, die in ein bereits bestehendes Gärwerk gebracht werden. Die bisherige Kompostierung wird beibehalten. Mit grossem Aufwand würden jeweils kleine Mengen einsammelt und bewirtschaftet.



Um realistische Varianten bilden zu können, wurden folgende Annahmen getroffen:

- Verwendung der gegenüber den heutigen Gegebenheiten stark verbesserten, zukünftigen, energetischen Werte des erneuerten Kehrichtheizkraftwerkes (KHKW) Hagenholz.
- Verwendung des UTCTE-Strommixes zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Bilanzen
- Um die betriebswirtschaftlich wahren Kosten der biogenen Abfälle zu erhalten, werden die der thermischen Verwertung entzogenen Mengen nicht substituiert. Somit wird eine Erlösminderung in den Kehrichtheizkraftwerken ausgewiesen.
- Verwendung des Biogases zu 100% als Treibstoffersatz.
- Die energetische Systemgrenze aller Varianten ist der Übergang in die Energieversorgungssysteme, d.h. Elektrizitätsnetz, Fernwärmenetz oder Gasnetz. Die dazu notwendigen Infrastrukturanlagen wurden nicht berücksichtigt.

Bei dem Variantenstudium zeigen sich folgende Ergebnisse:

Relative Abweichungen (Abweichung gegenüber Status Quo)		Variante 0 Status Quo	Variante A Kombi-Werk	Variante B nur Betriebe	Variante C getrennte Sammlung
Energiegewinn	[MWh/a]	100%	91%	93%	83%
Verminderung CO <sub>2</sub> Ausstoss	[t/a]	100%	101%	95%	88%
Kosten	[CHF/a]	100%	111%	105%	118%

Relative Summen (Abweichung gegenüber Status Quo)		Variante 0 Status Quo	Variante A Kombi-Werk	Variante B nur Betriebe	Variante C getrennte Samm- lung
Energie	[MWh/a]	0	-1670	-1'300	-3'070
CO <sub>2</sub> Verminderung	[t/a]	0	40	-210	-540
Kosten	[CHF/a]	0	+900'000	+400'000	+1'500'000

**Tabelle 1** Relative Abweichungen und Summen der 3 untersuchten Varianten zur Ist-Situation

Die Ergebnisse und die Sensitivitätsanalyse der einflussreichsten Parameter werden im Kapitel 7 besprochen.

Die Ökobilanzierung [Schleiss et al, 2005] bestätigt die oben beschriebenen Erkenntnisse zum grössten Teil. Sie wird im Kapitel 6 beschrieben.

Folgende Schlussfolgerungen können gezogen werden:

- Aufgrund der Gesamtergebnisse dieser energetischen, CO<sub>2</sub>-bilanztechnischen, ökonomischen und ökologischen Untersuchungen der verschiedenen Verfahren und Varianten können bei einer getrennten Sammlung von biogenen Abfällen aus den Haushalten der Stadt Zürich gegenüber der Ist-Situation keine Vorteile eruiert werden.
- Bezüglich CO<sub>2</sub>-Bilanz ist die Variante A gleichwertig mit Variante 0.
- Eine separate Sammlung und anschliessende Vergärung von biogenen Abfällen aus Haushalten lassen sich nicht kostenneutral durchführen. Die Stadt Zürich hätte einen Mehraufwand von rund CHF 1 bis 1.5 Mio. pro Jahr zu tragen.
- Die Varianten 0 und A liegen bei den gewählten Messkriterien und Annahmen generell nahe beieinander.
- Die Variante B fällt auf Grund der für ERZ zu kleinen, erreichbaren Mengen von biogenen Abfällen weg.



- Variante C schneidet bei allen gewählten Messkriterien schlechter ab als die anderen Varianten.
- Das heutige System der biogenen Abfälle der Stadt Zürich befindet sich bezüglich Kosten, energetischem und gesamtökologischem Nutzen, bezogen auf die gegebenen Rahmenbedingungen, schon sehr nahe beim Optimum.



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>FRAKTIONEN UND HERKUNFT .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1</b>	<b>Definition der biogenen Abfallarten.....</b>	<b>11</b>
1.1.1	Gartenabraum	11
1.1.2	Speisereste	11
1.1.3	Rüstabfälle	11
1.1.4	Produktionsabfälle	11
1.1.5	Weitere biogene Abfälle	11
<b>1.2</b>	<b>Herkunft der biogenen Abfälle nach Kundengruppen.....</b>	<b>11</b>
1.2.1	Haushaltungen	11
1.2.2	Städtische Ämter	12
1.2.3	Betriebe	12
<b>1.3</b>	<b>Stoffflüsse nach Entsorgungsmethoden.....</b>	<b>13</b>
1.3.1	Dezentrale Kompostierung	13
1.3.2	Kompostierwerk Werdhölzli	13
1.3.3	Kehrichtheizkraftwerk	13
1.3.4	Vergärungsanlage	13
1.3.5	Schweinemast	14
1.3.6	Klärwerk Werdhölzli	14
1.3.7	Pro-Kopf-Mengen zur Verwertung	15
1.3.8	Erfahrungs- und Referenzzahlen Stadt Winterthur und Schweiz	15
1.3.9	Interpretation der Resultate	15
1.3.10	Weitergehende Interpretationen zur möglichen Sammelleistung in der Stadt Zürich	16
<b>2</b>	<b>SAMMLUNG UND TRANSPORT .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Küchenabfälle / Ist-Situation .....</b>	<b>18</b>
2.1.1	Kosten / Energie / CO <sub>2</sub>	18
2.1.2	Erfahrungen mit Separatsammlungen	18
<b>2.2</b>	<b>Gartenabraum / Ist-Situation .....</b>	<b>19</b>
2.2.1	Kosten / Energie / CO <sub>2</sub>	19
<b>3</b>	<b>DIVERSE VERFAHREN ZUR VERWERTUNG VON BIOGENEN ABFÄLLEN.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1</b>	<b>Offene Kompostierung (Ist-Zustand im Kompostierwerk Werdhölzli).....</b>	<b>20</b>
3.1.1	Input	20
3.1.2	Output	20
3.1.3	Energie	20
3.1.4	Kosten	21
<b>3.2</b>	<b>Vergärung .....</b>	<b>21</b>
3.2.1	Input	21
3.2.2	Output	21
3.2.3	Energie	22
3.2.4	Kosten	22
<b>3.3</b>	<b>Kombinierte Vergärung und Kompostierung .....</b>	<b>22</b>
3.3.1	Input	22



3.3.2	Output	22
3.3.3	Energie	23
3.3.4	Kosten	23
<b>3.4</b>	<b>Thermische Verwertung in einem Kehrlichtheizkraftwerk .....</b>	<b>23</b>
3.4.1	Output	23
3.4.2	Energie	23
3.4.3	Kosten	24
<b>3.5</b>	<b>Co-Vergärung im Klärwerk .....</b>	<b>24</b>
3.5.1	Input	24
3.5.2	Output	25
3.5.3	Energie	25
3.5.4	Kosten	25
<b>4</b>	<b>PRODUKTE UND MARKT .....</b>	<b>26</b>
<b>4.1</b>	<b>Beschreibung der Produkte .....</b>	<b>26</b>
4.1.1	Frischkompost	26
4.1.2	Aktuelle Verwertungswege	26
4.1.3	Reifkompost	27
4.1.4	Gärgas	27
4.1.5	Elektrizität und thermische Energie aus KHKW	28
<b>5</b>	<b>VARIANTENBESCHREIBUNG .....</b>	<b>29</b>
<b>5.1</b>	<b>Variantenübersicht.....</b>	<b>29</b>
<b>5.2</b>	<b>Ergebnisse Variante 0 (Ist-Situation) .....</b>	<b>33</b>
	Sammlung und Transport	33
	Verfahren	33
	Produkt-Verkauf	33
5.2.1	Gesamtsummen Variante 0	34
<b>5.3</b>	<b>Ergebnisse Variante A .....</b>	<b>35</b>
	Sammlung und Transport	35
	Verfahren	35
	Produkt-Verkauf	35
<b>5.4</b>	<b>Ergebnisse Variante B .....</b>	<b>37</b>
	Sammlung und Transport	37
	Verfahren	37
	Produkte – Verkauf	37
<b>5.5</b>	<b>Ergebnisse Variante C .....</b>	<b>39</b>
	Sammlung und Transport	39
	Verfahren	39
	Produkte und Verkauf	39
<b>5.6</b>	<b>Variantenvergleich .....</b>	<b>41</b>



<b>6</b>	<b>ÖKOBILANZIERUNG.....</b>	<b>42</b>
<b>6.1</b>	<b>Beschreibung der vier Varianten .....</b>	<b>42</b>
6.1.1	Sachbilanz	43
6.1.2	Bewertung der Sachbilanzdaten	44
<b>6.2</b>	<b>Vergleich der Verfahren.....</b>	<b>44</b>
<b>6.3</b>	<b>Vergleich der Varianten .....</b>	<b>48</b>
6.3.1	Vollaggregierende Bewertung	48
<b>6.4</b>	<b>Schlussfolgerungen.....</b>	<b>50</b>
6.4.1	Vergleich der Verfahren	50
6.4.2	Vergleich der Varianten	51
<b>7</b>	<b>DISKUSSION, FAZIT UND SCHLUSSFOLGERUNGEN .....</b>	<b>52</b>
<b>7.1</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>52</b>
7.1.1	Energetische Betrachtung	52
7.1.2	CO <sub>2</sub> - Bilanz und deren Betrachtung	53
7.1.3	Ökonomische Betrachtung	54
7.1.4	Ökologische Betrachtung	55
<b>7.2</b>	<b>Fazit und Schlussfolgerungen .....</b>	<b>57</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURLISTE .....</b>	<b>58</b>



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Relative Abweichungen und Summen der 3 untersuchten Varianten zur Ist-Situation.....	5
Tabelle 2	Pro-Kopf-Mengen Stadt Zürich biogenen Abfälle zur Verwertung .....	15
Tabelle 3	Input und Output einer offenen Kompostierung.....	20
Tabelle 4	Input und Output eines Gärwerkes .....	22
Tabelle 5	Variantenbeschreibung „Fraktionen und Herkunft“.....	29
Tabelle 6	Variantenbeschreibung „Sammlung“ .....	30
Tabelle 7	Variantenbeschreibung „Behandlung“ .....	31
Tabelle 8	Variantenbeschreibung „Produkte“ .....	32
Tabelle 9	Variantenbeschreibung „Verwertung der Produkte“ .....	32
Tabelle 10	Ergebnisse Gesamtsummen Variante 0 (Ist-Situation) .....	34
Tabelle 11	Ergebnisse Variantenvergleich .....	41
Tabelle 12	Verarbeitungsmengen pro Verfahren bei den verschiedenen Varianten .....	43

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Stoffflussbilanz Biogene Abfälle Variante A.....	36
Abbildung 2	Stoffflussbilanz biogene Abfälle Variante B .....	38
Abbildung 3	Stoffflussbilanz biogene Abfälle Variante C .....	40
Abbildung 4	Primärenergiegewinn der verschiedenen Verfahren (MJ-eq/kg Grüngut) .....	45
Abbildung 5	Relativer Vergleich der verschiedenen Anlagen mit dem Eco-indicator 99 (H,A).....	46
Abbildung 6	Gesamt Vergleich der verschiedenen Verfahren mit dem Eco-indicator 99 (H,A) .....	46
Abbildung 7	Gesamtvergleich der verschiedenen Verfahren mit Umweltbelastungspunkten .....	47
Abbildung 8	Vergleich der Primärenergiebilanz für die Varianten (MJ-eq/Jahr).....	48
Abbildung 9	Bewertung der Umweltbelastungen der verschiedenen Varianten mit der Methode Eco-indicator 99 (H, A) (Punkte/Jahr) .....	49
Abbildung 10	Bewertung der Umweltbelastungen von den verschiedenen Varianten mit der Methode der ökologischen Knappheit 1997 (Umweltbelastungspunkte/Jahr).....	49



## **1 Fraktionen und Herkunft**

### **1.1 Definition der biogenen Abfallarten**

#### 1.1.1 Gartenabraum

Unter Gartenabraum versteht man biogene Abfälle aus Garten und Balkon. Dieser besteht unter anderem aus Laub, Rasenschnitt, Baum- und Strauchschnitt sowie Erde. Er stammt von Haushaltungen, Gärten, öffentlichen Parks sowie Grünflächen.

#### 1.1.2 Speisereste

Gekochte Lebensmittelabfälle werden als Speisereste definiert. Darunter fallen gekochte Fleischreste, Reis, Teigwaren, Gemüse. Sie entstehen in Küchen von Haushaltungen, Kantinen und Restaurants.

#### 1.1.3 Rüstabfälle

Ungekochtes Gemüse, Früchte sowie deren Schalen gehören zur Kategorie Rüstabfälle, sofern sie aus Küchen von Haushaltungen und Restaurants stammen.

#### 1.1.4 Produktionsabfälle

Biogene Produktionsabfälle entstehen bei Grossverteilern und bei Betrieben der Lebensmittelherstellung. Bei den Grossverteilern handelt es sich vorwiegend um Retouren von Früchten und Gemüse, die nicht mehr verkauft werden konnten. Damit sich solche Abfälle in Vergärungsanlagen verwerten lassen, ist es notwendig, Verpackungen vollständig zu entfernen.

#### 1.1.5 Weitere biogene Abfälle

Die Stoffflüsse der Fraktionen Tiermist, Fettabscheidermaterial, biologische Verpackungen und Hundekot machen im Verhältnis zur gesamten Menge biogener Abfälle einen kleinen Anteil aus. Deren Stoffflüsse wurden deshalb nicht genauer untersucht.

### **1.2 Herkunft der biogenen Abfälle nach Kundengruppen**

Als Quelle der biogenen Abfälle wurden drei Kundengruppen festgelegt.

- Haushaltungen
- Städtische Ämter (Grün Stadt Zürich, Tiefbauamt, Stadtreinigung, andere)
- Betriebe und Gewerbe (Restaurants, Kantinen, Grossverteiler, übrige)

#### 1.2.1 Haushaltungen

In der Stadt Zürich sind 190'000 Haushalte erfasst. Sie bestehen durchschnittlich aus 2 Personen belegt, wobei 50% der Haushaltungen von nur 1 Person bewohnt werden [Statistik Stadt Zürich, 2003].

Die biogenen Abfälle aus Haushalten werden heute entweder über die dezentrale Kompostierung, das Kompostierwerk Werdhölzli (nur Gartenabraum) oder über den «Züri-Sack» in den Kehrichtheizkraftwerken entsorgt.



### *Dezentrale Kompostierung*

Siehe auch Kap. 1.3.1

### *Gartenabraumabfuhr*

Der Gartenabraum, rund 7'900 t, wird im Kompostierwerk Werdhölzli entsorgt [ERZ K+K, 2003].

### *Biogene Abfälle im „Züri-Sack“*

Der im „Züri-Sack“ enthaltene Anteil biogener Abfälle beträgt in der Stadt Zürich rund 25 Gewichtsprozent. Davon handelt es sich um rund 10% gekochte Speiseabfälle [Zenger, 2002], schätzungsweise 70% fallen als Rüstabfälle an und rund 20% sind Gartenabraum [ERZ KHKW, 2004a]. Die Masse der eingesammelten „Züri-Säcke“ betrug im Jahr 2002 61'190 t [ERZ KHKW, 2003]. Damit gelangen jährlich rund 15'000 t biogene Abfälle aus Haushaltungen in die Kehrichtverbrennung.

### 1.2.2 Städtische Ämter

Auf den Grünflächen der Stadt Zürich fallen jährlich 126'900 t Grüngut an. Rund 50% des Grüngutes wird natürlich verwertet, das heisst ohne menschlichen Einfluss, zum Beispiel Baumlaub in Parks, welches nicht weggeräumt wird. Rund 40% wird als Wertstoff (z.B. Holzschnitzelfeuerung, Abdeckmaterial) genutzt und zentral verwertet. Rund 10% wird vor Ort verwertet, also innerhalb einer Betriebseinheit, beispielsweise einer Genossenschaftssiedlung [Bircher et. al., 2000]. Diese Menge wird in diesem Bericht nicht berücksichtigt. 1'950 t wurden im Jahr 2003 als Grünabfall im Kompostierwerk Werdhölzli zur Entsorgung eingeliefert [ERZ K+K, 2003a].

### 1.2.3 Betriebe und Gewerbe

Die Struktur der Betriebe in der Stadt Zürich lässt sich wie folgt charakterisieren: Von den 315'000 Beschäftigten in total 26'000 Arbeitsstätten sind 270'000 im Dienstleistungssektor tätig. In 58% aller Arbeitsstätten werden 3 oder weniger Leute beschäftigt [Statistik Stadt Zürich, 2003].

Für die Entsorgung von biogenen Abfällen sind folgende Branchen relevant:

- Herstellung von Nahrungsmitteln/Getränken/Tabakwaren: 38 Arbeitsstätten mit 1'168 Beschäftigten [Statistik Stadt Zürich, 2003]
- Gastgewerbe: 1'476 Arbeitsstätten mit rund 20'200 Beschäftigten [Statistik Stadt Zürich, 2003]. Hierzu gehören auch Kantinen oder Betriebsrestaurants.
- Aus den Betrieben in der Stadt Zürich werden rund 50'000 Tonnen als Siedlungsabfall definierter Kehricht (Containerleerungen und Pressmulden) in den Kehrichtheizkraftwerken entsorgt [ERZ ELOG, 2003]. Zum biogenen Anteil im Betriebskehricht liegen (Rüstabfälle, Speiseabfälle, Gartenabraum) keine genauen Analysen vor. Hier wird der Anteil der biogene Anteil auf 12.5% geschätzt (die Hälfte des Anteiles im Züri-Sack), was beim Betriebskehricht rund 6'000 Tonnen pro Jahr biogene Abfälle entspricht. Es wird angenommen, dass sich diese Menge auf zu je einem Drittel auf die Fraktionen Gartenabraum, Rüstabfälle und Speisereste aufteilt [ERZ KHKW, 2004a].
- Private Gartenbauunternehmen liefern jährlich rund 3'000 t Gartenabraum in das Kompostierwerk Werdhölzli [ERZ K+K, 2003].

Rüstabfälle aus Betrieben werden durch private Transporteure (rund 650 t/a) [Brand et.al., 2004] in Vergärungsanlagen ausserhalb der Stadt Zürich entsorgt. Die Grossverteiler Coop und Migros betreiben für ihre Abfallentsorgung der Filialen eine



eigene Entsorgungslogistik, teils unter Ausnützung von Leerfahrten. Allein diese beiden Betriebe führen pro Jahr rund 4'000 t biogener Abfälle direkt der Vergärung zu [Frischknecht und Barton, 2004]. Weitere geschätzte 1'000 t pro Jahr werden aus weiteren Betrieben (Produktion und Verteilung, z.B. Engrosmarkthalle, Blumenhalle, Saffhersteller) direkt der Vergärung zugeführt [ERZ KHKW, 2004a].

Weitere bedeutende Mengen, rund 3'000 t pro Jahr Speiseresten [Marty, 2004] aus dem Gastgewerbe, gelangen als Sekundärfutter in die Schweinemast ausserhalb der Stadt Zürich. Zudem werden rund 100 t Speiseabfälle separat eingesammelt und einer Vergärungsanlage zugeführt [Brand, 2004].

### **1.3 Stoffflüsse nach Entsorgungsmethoden**

#### **1.3.1 Dezentrale Kompostierung**

Jährlich werden in den Wohnsiedlungen der Stadt Zürich rund 4'800 t biogene Abfälle dezentral kompostiert (siehe Ziffer 1.2.1 Das Verhältnis Küchenabfälle/Gartenabraum liegt bei schätzungsweise 9 zu 1. Bei der dezentralen Kompostierung in der Stadt Zürich entstehen aus 4'800 t Frischsubstanz, 2'400 t Kompost (50%), 1'800 t Wasser (38%) sowie 600 t Gase (12%) [Edelmann und Schleiss, 2001]. Es entsteht bei der Kompostierung rund 1'100 t CO<sub>2</sub>. Der Kompost wird in der Regel innerhalb der Siedlung wieder als Pflanzendünger genutzt.

#### **1.3.2 Kompostierwerk Werdhölzli**

Im Kompostierwerk Werdhölzli wurden 2003 12'850 t biogene Abfälle kompostiert [ERZ K+K, 2003]. Es handelt sich dabei vorwiegend um Gartenabraum. 64% der Masse ist organisch und wird zu 50% abgebaut. Der Anteil Kohlenstoff des organischen Anteils beträgt 53%, wovon 48% abgebaut wird, d.h. in CO<sub>2</sub> übergeht [Schleiss, 2004a]. Es entstehen bei der Oxidierung 3'450 t CO<sub>2</sub>, 1'850 t andere Gase und 3'580 t Wasserdampf. Der angefallene Kompost von 7'340 t wurde an die Landwirtschaft (6'570 t), den Gartenbau (340 t) und an Private (440 t) abgegeben. Des Weiteren fielen im Kompostierwerk Werdhölzli unwesentliche 75 t Holzschnitzel an. Sie wurden an den Gartenbau (40 t) und an Private (35 t) abgegeben [ERZ K+K, 2003].

#### **1.3.3 Kehrichtheizkraftwerk**

Der organische Anteil der biogenen Abfällen beträgt 66%, bzw. der mineralische Anteil 34% [Edelmann und Schleiss, 2001]. Somit kann davon ausgegangen werden, dass bei der Verbrennung von biogenen Abfällen 13.6% (2'924 t) Rückstände zurückbleiben, bzw. 26.4% in Gasform übergehen.

#### **1.3.4 Vergärungsanlage**

Aus der Stadt Zürich wurden im Jahr 2003 schätzungsweise 5'750 t biogene Abfälle in den Vergärungsanlagen Rümlang, Otelfingen und eventuell in weitere entsorgt (siehe Ziffer 1.2.3). Dabei entsteht 30% Gärgut, 33% Presswasser sowie 37% Gase und Wasser (Durchschnittswerte 2002 / 2003) [Schleiss, 2004b]. Für die Massenberechnung der Gase wurden 13% des Inputs angenommen [Edelmann und Schleiss, 2001], welcher vor allem aus CH<sub>4</sub> besteht und sich mit der energetischen Nutzung in CO<sub>2</sub> umwandelt. Es bleiben somit 24% Wasser.



### 1.3.5 Schweinemast

Der Verband für Küchenabfallverwerter produziert aus Küchenabfällen Futter für die Schweinemast. Auf diese Weise werden jährlich rund 3'000 t Küchenabfälle verwertet. Das Verhältnis Rüstabfälle/Küchenabfälle wird auf 50/50 geschätzt [Marty, 2004]. Die Verwertung von Küchenabfällen über die Schweinemast ist ein sinnvoller und etablierter Entsorgungsweg. Daran werde gemäss Migros in nächster Zukunft nichts ändern. Das zunehmende Auftreten von Tierseuchen wie zum Beispiel BSE oder Vogelgrippe hat seitens der Grossverteiler zu strengeren Hygienevorschriften für die Verarbeitung der Küchenabfälle geführt [Estermann, 2005].

### 1.3.6 Klärwerk Werdhölzli

Im Klärwerk Werdhölzli wird Frischschlamm im Faulturm vergärt. Die im Faulturm entstehenden Gase werden energetisch genutzt. Der Frischschlamm ist ein Rückstand aus dem Klärprozess (hauptsächlich Fäkalien) von häuslichen Abwässern aus dem Einzugsgebiet der Stadt Zürich. Darin enthalten sind auch 180 t TS (Trockensubstanz) Fettabscheidermaterial aus Betrieben aus der Stadt Zürich [ERZ K+K, 2003]. Die Mengen wurden bewusst in Tonnen TS (Trockensubstanz) angegeben, alles andere wäre in der Graphik nicht darstellbar.

2003 wurden 3'042 t TS entwässerter Klärschlamm im KHKW Josefstrasse thermisch weiterverwertet und 6'022 t TS als getrockneter Klärschlamm an die Zementindustrie [ERZ K+K, 2003] übergeben.



### 1.3.7 Pro-Kopf-Mengen zur Verwertung

Somit ergeben sich in der Stadt Zürich folgende Pro-Kopf-Mengen:

<b>Biogene Abfälle, total stofflich verwertet heute (Variante 0)</b>	Total in t	pro Kopf in kg
Dezentrale Kompostierung	4'800	13.1
Kompostierwerk Werdhölzli	12'850	35.2
Vergärung	5'750	15.7
Schweinemast	3'000	8.2
<b>Total stoffliche Verwertung</b>	<b>26'400</b>	<b>72.2</b>
Thermische Verwertung Kehrichtheizkraftwerk	21'000	57.5
<b>Total verwertete biogene Abfälle</b>	<b>47'400</b>	<b>129.8</b>

Einwohnerzahl Stadt Zürich 30. Juni 2003: 365'268

**Tabelle 2** Pro-Kopf-Mengen Stadt Zürich biogenen Abfälle zur Verwertung

### 1.3.8 Erfahrungs- und Referenzzahlen Stadt Winterthur und Schweiz

Für den Schweizer Durchschnitt rechnet das BAfU pro Einwohner mit rund 100 kg der stofflichen Verwertung geführten biogenen Abfällen [Kettler 2005]. Die angegebenen Mengen der Gemeinden und Städte sind sehr unterschiedlich. Jede Gemeinde erfasst und bewertet einzelne Fraktionen etwas anders.

Die Stadt Winterthur sammelt mit der Grünabfuhr jährlich rund 9'000 t Grünabfälle oder 94 kg pro Einwohner ein. Die Sammlung wird den Privathaushalten für Küche und Garten angeboten (keine Speisereste) [Fischer 2005].

### 1.3.9 Interpretation der Resultate

Aus Haushaltungen werden heute jährlich rund 27'700 t biogene Abfälle in eine Verwertung geführt. Davon gelangen 4'800 t pro Jahr in die dezentrale Kompostierung, 7'900 t pro Jahr als Gartenabraum in die Kompostierung (siehe Ziffer 1.2.1) und 15'000 t pro Jahr in die Kehrichtheizkraftwerke. Somit liegt das theoretische Potential aus Haushalten für eine zusätzliche Verwertung in einem Vergärwerk 15'000 t pro Jahr. Die praktisch zu erreichende Masse wird in Kapitel 1.3.10 beschrieben.

Es bestehen viele Kleinhaushalte mit einem grossen Anteil alter Personen und mit unterschiedlichsten Lebensgewohnheiten. Die Verpflegungsgewohnheiten von Kleinhaushalten lassen vermuten, dass separat zu sammelnde biogene Abfälle (Rüstabfälle und Speiseresten) pro Haushalt eher bescheiden ausfallen werden:

Grüngut aus städtischen Ämtern wird von diesen zum grossen Teil selber vor Ort verwertet und kann nur zu kleinen Teilen als Abfall bezeichnet werden.

Aus Betrieben in der Stadt Zürich werden heute jährlich rund 8'750 t biogene Abfälle einer auswärtigen Verwertung zugeführt, davon rund 5'750 t pro Jahr in die Vergärung und rund 3'000 t pro Jahr in die Schweinemast. Der Weg über die Schweinemast ist ein fest etablierter Entsorgungsweg (siehe Ziffer 1.2.3 und 1.3.5). Diese Menge stellt somit kein Marktpotential für ERZ dar und wird deshalb in dieser Studie nicht weiter berücksichtigt. Theoretisch ist ein zusätzlich separat zu sammelndes Potential von rund 6'000 t pro Jahr vorhanden, welches heute mit dem Betriebskehrrecht in den Kehrichtheizkraftwerken entsorgt wird. Wieviel davon effektiv separat gesammelt werden könnte, ist schwierig abzuschätzen. Es dürfte stark davon abhängen, welche Anreize für einen Betrieb aus einer separaten Sammlung konkret im Vergleich zur Kehrichtabfuhr resultieren, namentlich veränderte Entsorgungskosten.



Die Verfüterung von Speiseresten in der Schweinemast wird in der EU diskutiert und eventuell verboten. Die Schweiz könnte mit einem Verbot nachziehen. Nachfolgend werden Speisereste nicht in die Varianten A, B und C mit einbezogen. Sie werden aber sehr wohl in einer Sensitivitätsanalyse diskutiert.

#### 1.3.10 Weitergehende Interpretationen zur möglichen Sammelleistung in der Stadt Zürich

In der Erhebung der Kehrrietzusammensetzung im Jahre 2001/2002 wurde analysiert, dass ein beträchtlicher Anteil biogener Abfälle zusammen mit nicht kompostierbarem Material in Kehrrietsäcken verpackt war [Steiger, 2003]. Konkret handelt es sich um einen Anteil von 10% der biogenen Abfälle im Züri-Sack [Zenger, 2004].

Realistisch separat verwertbar seien 40% der biogenen Abfälle aus Kehrrietsäcken [Steiger, 2003]. Dies wären somit rund 6'000 t oder 79 kg pro Haushalt und Jahr. Eine deutsche Untersuchung in grossen Städten, wie Bochum und Leverkusen, zeigt auf, dass in Grossstädten deutlich weniger biogene Abfälle gesammelt werden kann als in ländlichen Gebieten [Euwid, 2004]. Das würde für Zürich somit weniger als 40% Sammelleistung bedeuten. Eine Umfrage bei Schweizer Städten hat ergeben, dass auch bei einer gut funktionierenden, separaten Abfuhr von biogenen Abfällen aus Haushalten der Anteil im Kehrrietsack auf maximal 18% gesenkt werden kann [ERZ KHKW, 2004b]. Das wären ca. 4'200 t pro Jahr oder 28% der 15'000 t biogene Abfälle im Züri-Sack, die überhaupt separat einzusammeln möglich sind.

Zusammen mit den heute bereits stofflich verwerteten biogenen Abfällen (Ziffer 1.3.7) ergibt sich für die Stadt Zürich ein Sammelpotential von 30'600 t bzw. 84 kg pro Einwohner. Dieser Wert liegt rund 11 % unter dem Wert der Gartenstadt Winterthur. Für eine Grossstadt, welche zum Schweizer Durchschnitt vergleichsweise wenig Grünfläche ausweist, ist dieser Wert plausibel.

Die Umfrage hat ausserdem ergeben, dass in Winterthur, Biel und Luzern bei der Separatabfuhr von biogenen Abfällen, aus Hygienegründen keine Speiseabfälle erlaubt sind. Die Auswirkungen, wie üble Gerüche oder verschmutzte Grüncontainer, wurden auch bei den in den neunziger Jahren durchgeführten Testversuchen einer Grünabfuhr in der Stadt Zürich erkannt. In den ausgearbeiteten Varianten dieser Studie wurden die Speiseabfälle für die Separatsammlung von biogenen Abfällen in der Stadt Zürich deshalb ausgeschlossen.

ERZ sammelte 1996 in einer versuchsweise durchgeführten Grünabfuhr in den Quartieren Altstetten, Grünau, Saatlen und Schwamendingen 2'773 t Grüngut (Gartenabraum, Küchenabfälle) [Gemeinderat von Zürich 1997]. Gerechnet auf die damalige Einwohnerzahl der betroffenen Quartiere (Altstetten: 27'658, Grünau: 2'543, Saatlen: 6'384, Schwamendingen: 10'141, Total: 46'726 Einwohner) macht das pro Kopf 59,35 kg aus. Diese Zahl liegt im Bereich der in Ziffer 1.3.7 gerechneten Sammelmengen.

# Stoffflussbilanz Biogene Abfälle im Jahr 2003 (Variante 0)

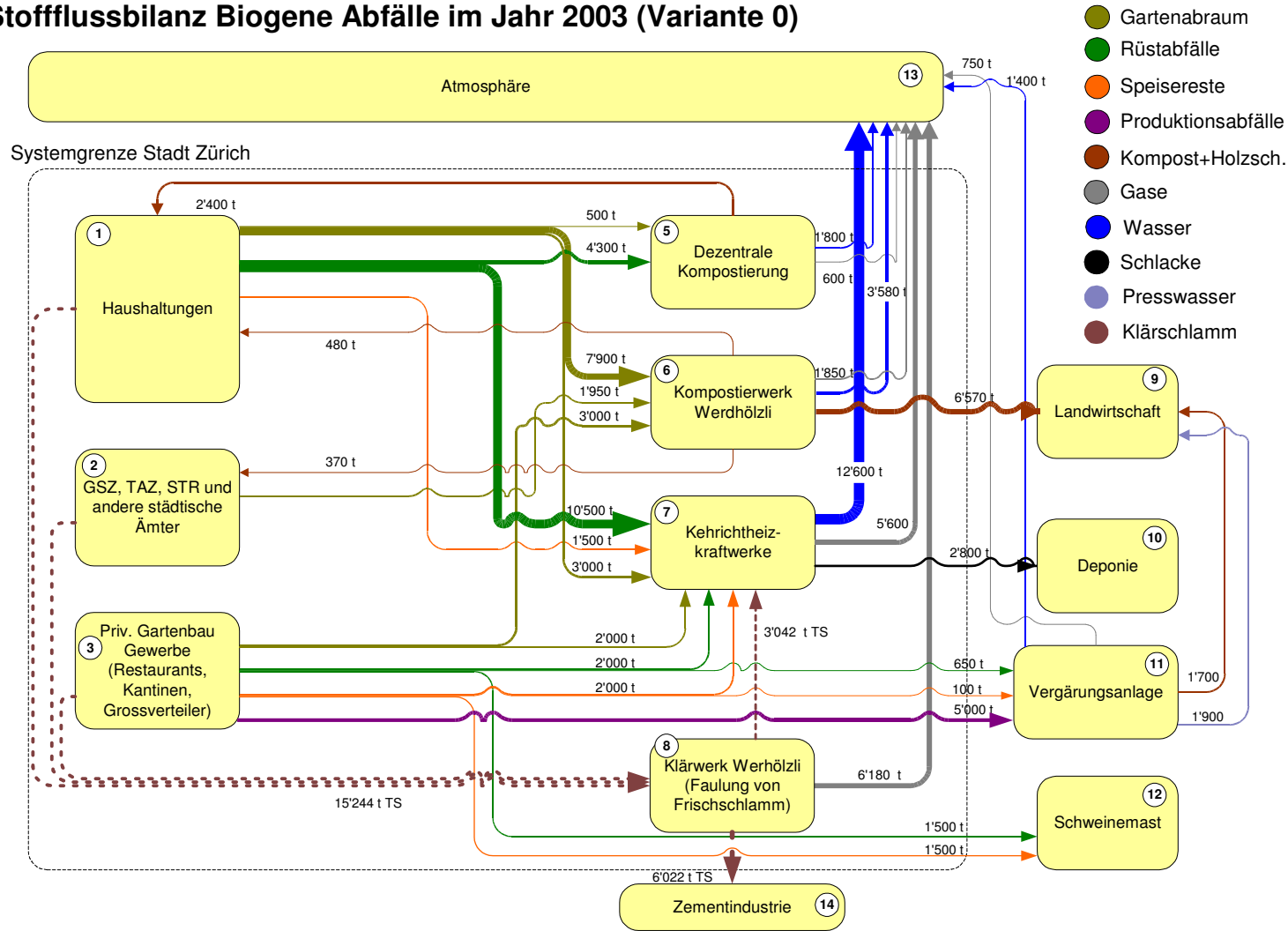


Abbildung 1 Stoffflussbilanz der biogenen Abfälle im Jahr 2003 (Variante 0)



## 2 Sammlung und Transport

### 2.1 Küchenabfälle / Ist-Situation

Küchenabfälle aus Haushalten werden, sofern sie nicht in einem der rund 1'000 dezentralen Kompostplätze in der Stadt Zürich verarbeitet werden, mit dem normalen Haushaltskehricht mitgegeben.

#### 2.1.1 Kosten / Energie / CO<sub>2</sub>

Die Kosten der Kehrlichtabfuhr der Entsorgungslogistik im bestehenden System nicht mengenabhängig. Ob viel oder wenig Kehrlicht: alle Entsorgungstouren müssen abgefahren, alle Container müssen geleert, alle „Züri-Säcke“ (ohne Container) einzeln von Hand aufgeladen werden. So wird angenommen, dass beim Wegfall der Küchenabfälle die Kosten der Kehrlichtabfuhr konstant bleiben. Ein Kehrlichtfahrzeug hat ein Eigengewicht von rund 14 t, das Ladegewicht rund 7 t. Ein beträchtlicher Teil des Treibstoffs wird für die Aufrechterhaltung des Hydraulikdruckes bei Stillstand verwendet. Aus diesen logischen Überlegungen wird abgeleitet, dass bei einem Wegfall der Küchenabfälle im Haushaltskehricht, keine zusätzlichen Ersparnisse beim Treibstoffverbrauch und somit keine zusätzliche CO<sub>2</sub>-Entlastung generiert wird.

#### 2.1.2 Erfahrungen mit Separatsammlungen

Zur Einführung einer Abfuhr für Küchenabfälle wurden 1989 in Altstetten (Kompostsäckchen) und 1991 in Schwamendingen (Grüncontainer für Küchenabfälle) zwei verschieden angelegte Gratis-Quartiersversuche durchgeführt. Aufgrund der massiv besseren Erfahrungen mit der Grüncontainerabfuhr wurde im Jahre 1993 auch in Altstetten auf dieses System umgestellt. Im Rahmen dieser Versuche waren rund 44'000 EinwohnerInnen oder fast 15% der Bevölkerung der Stadt Zürich an eine Grünabfuhr angeschlossen.

##### *Kompostsäckchen*

Die Kompostsäckchen wurden von den Haushalten am vorgesehenen Wochentag und um die jeweiligen Containerplätze deponiert. Container für die Säckchen wurden nur von wenigen Hausverwaltungen zur Verfügung gestellt. Die Lader von ERZ bückten sich für jedes Säckchen. Ein Lader musste somit pro Arbeitstag rund 15 t Gewicht heben. Gesundheitliche Beschwerden waren die Folge.

Zudem wurden die Säckchen nicht immer am Entsorgungstag hinausgestellt. Zu früh, oder zu spät bereitgestellte Säckchen blieben liegen. Sie wurden von Wild- oder auch Haustieren aufgerissen. Reklamationen über Geruchsprobleme und massiv steigender Reinigungsaufwand seitens der Stadtreinigung und den privaten Hauswartungen waren die Folge.

Aus diesen Gründen wurde der Versuch in Altstetten mit den Kompostsäckchen 1993 abgebrochen und das System auf Container umgestellt. Dieselben Resultate wurden mit kleinen, grünen Behältnissen für häusliche Bio-Abfälle.

##### *Grüncontainer*

Die Haushalte hatten die Möglichkeit, ihre biogenen Abfälle in einen speziell markierten Container hineinzugeben. Dieser wurde wöchentlich geleert. Die Haushalte konnten



somit ihre biogenen Abfälle nach Bedarf entsorgen. Nicht alle Liegenschaften jedoch hatten genug Platz für einen zusätzlichen Container.

Es zeigte sich, dass die biogenen Abfälle in den Containern, vor allem in den Sommermonaten, sehr schnell üble Gerüche verursachten. 2 Leerungen pro Woche wurden deswegen als notwendig erachtet. Aus hygienischen Gründen wurden die Container nach jeder Leerung durch private Hauswartungen gründlich ausgewaschen. Es entstand ein zusätzlicher Zeit- und Kostenaufwand für die privaten Liegenschaften.

#### *Resultat / Abbruch der Versuche*

Der Stadtrat hat im Frühling 2000 die Weisung Nr. 329/1997, welche unter anderem den Bau einer eigenen Vergäranlage zum Inhalt hatte, zurückgezogen und hat sich damit auch gegen die definitive Einführung einer Grünabfuhr in der Stadt Zürich ausgesprochen. Die damaligen Gründe waren:

1. Die Kosten für eine separate Grünabfuhr lagen nach damaligen Erfahrungen von anderen Schweizer Städten klar über den Entsorgungskosten des Kehrichts [Stadtrat, 2000].
2. Die Erhöhung der Sackgebühren in der Stadt Zürich wurde 1994 und 1995 in Referendums-Abstimmungen abgelehnt. Die Realisierungschancen einer flächendeckenden Grünabfuhr mit verursachergerechter, separater Gebühr war angesichts dieser Abstimmungsniederlagen gleich Null. Eine entsprechende Weisung 152/1995 war damals schon in der beratenden Gemeinderatskommission chancenlos.[Stadtrat, 2000]

## **2.2 Gartenabraum / Ist-Situation**

In der Stadt Zürich benützen rund 9'000 Kunden mit rund 12'000 Containern die Möglichkeit einer Gartenabraum-Sammlung. Sie kaufen ein Gartenabraum Jahresabo, welches heute nach der Gartenfläche berechnet wird. Es zeigt sich deutlich, dass sich die Gartenabraum-Container in Einfamilienhausquartieren und allgemein in den Randgebieten der Stadt Zürich befinden. In der Innenstadt, d.h. in den Kreisen 8006, 8005 und 8001, stehen ganz wenige. Die Container sind heute Eigentum der Hausbesitzer, im neuen Containerkonzept der Stadt Zürich sollen künftig alle Container von ERZ gestellt werden, gewartet und falls nötig ersetzt werden.

Die Gartenabraumabfuhr wird von Mitte März bis Mitte Dezember durchgeführt. In dieser Zeit werden alle bereitgestellten Container einmal pro Woche geleert. Zusätzlich werden täglich rund 5 bis 10 Einzelaufträge gleichzeitig und ohne Zusatzlogistik erledigt. Während dieser Zeit sind 3 bis 4 Kehrichtfahrzeuge mit Chauffeur und je 2 Lader im Einsatz. Im Jahre 2003 wurden so rund 7'900 t eingesammelt [ERZ ELOG, 2003]. Von Mitte Dezember bis Mitte März gibt es eine Winterpause. In dieser Zeit werden jedoch Einzelbestellungen ausgeführt.

### **2.2.1 Kosten / Energie / CO<sub>2</sub>**

Die Kosten der Entsorgungslogistik sind nur gering mengenabhängig. Ob viel oder wenig Gartenabraum, alle Entsorgungstouren müssen abgefahren, alle bereitgestellten Container müssen geleert werden. Die Kosten-, Energie- und CO<sub>2</sub>-Berechnungen in den Varianten werden deshalb mengenunabhängig ausgedrückt.



### 3 Diverse Verfahren zur Verwertung von biogenen Abfällen

Die möglichen Verfahren zur Verarbeitung von biogenen Abfällen werden beschrieben und auf ihre Eignung für die Stadt Zürich untersucht.

Die folgenden Verfahren wurden in den Vergleich mit einbezogen:

- Offene Kompostierung (Rottenkompostierung auf einem offenen Platz)
- Geschlossene Kompostierung (Kompostierung in einem geschlossenen Gebäude)
- Vergärung (Vergärung in einer speziellen Anlage)
- Kombiniertes Verfahren von Vergärung und Kompostierung
- Thermische Verwertung in einem Kehrichtheizkraftwerk)
- Co-Vergärung (Vergärung zusammen mit Klärschlamm im Faultrum eines Klärwerks)

#### 3.1 Offene Kompostierung (Ist-Zustand im Kompostierwerk Werdhölzli)

##### 3.1.1 Input

Gut geeignete Abfälle zur Behandlung in einer offenen Kompostierung sind:

- Gartenabraum
- Gras- und Rasenschnitt
- Baum- und Strauchschnitt
- Trockene Abfälle aus der gewerblichen Gemüseverarbeitung

Verfahrenstechnisch ist die offene Kompostierung ebenfalls geeignet, die folgenden Abfälle zu verarbeiten. Bei diesen Input-Stoffen ist aber mit erheblichen Geruchsemissionen zu rechnen, so dass sie im Kompostierwerk Werdhölzli nicht eingeliefert werden können:

- Nasse Abfälle aus der gewerblichen Gemüse- und Obst-Verarbeitung
- Rüstabfälle aus Haushaltungen, Grossküchen und Restaurants
- Speisereste aus Haushaltungen, Grossküchen und Restaurants
- Tiermist

##### 3.1.2 Output

In einer offenen Kompostierung können die zwei Produkte Frischkompost und Reifkompost produziert werden (Definition siehe Kapitel 4: Produkte und Markt).

Aus einer Tonne Frischsubstanz entstehen [Edelmann und Schleiss, 2001]:

Input		Output	
Bezeichnung	Menge	Bezeichnung	Menge
Frischsubstanz	1'000 kg	Wasser	330 kg
		Gase (CO <sub>2</sub> )	130 kg
		Kompost	540 kg

**Tabelle 3** Input und Output einer offenen Kompostierung

##### 3.1.3 Energie

Bei der offenen Kompostierung wird Energie in Form von Diesel (Fahrzeuge, Maschinen), Heizöl (Betriebsgebäude) und Strom (Maschinen) verbraucht. Es wird keine nutzbare Energie produziert.



- Energieverbrauch Strom: 0.5 kWh/t [Steinfeldt et.al., 2002]  
1.0 kWh/t [ERZ K+K, 2003]  
2.5 kWh/t [ERZ K+K, 2004]
- Energieverbrauch Diesel/Heizöl 15.1 kWh/t [Steinfeldt et.al., 2002]  
30.0 kWh/t [ATAL, 1997]  
30.0 kWh/t [ERZ K+K, 2003; ERZ K+K, 2004]

### 3.1.4 Kosten

Im Bericht werden die totalen Verarbeitungskosten pro Tonne Grüngut inkl. Abschreibung und Verzinsung der Investitionen angegeben. Eine detaillierte Kostenzusammenstellung findet sich in den angegebenen Literaturquellen. Wenn in der Literatur die Kosten nicht in CHF angegeben waren, wurden diese umgerechnet. (1 € = CHF 1.50, 1 DM = CHF 0.75)

Total Verarbeitungskosten	CHF 79.- /t	[ERZ K+K, 2002]
	CHF 67.- /t	[ERZ K+K, 2003]
	CHF 76.- /t	[ERZ K+K, 2004]
	CHF 60.- bis 82.- /t	[Wehrli, 2003]
	CHF 126.- /t	[Edelmann und Schleiss, 2001]
	CHF 57.- bis CHF 75.- /t	[Steinfeldt et.al., 2002]

## 3.2 Vergärung

### 3.2.1 Input

Gut geeignete Abfälle zur Behandlung in einer Vergärungsanlage sind:

- Speisereste aus Haushaltungen, Grossküchen und Restaurants
- Rüstabfälle aus Haushaltungen, Grossküchen und Restaurants
- Nasse Abfälle aus der gewerblichen Gemüse- und Obstverarbeitung
- Trockene Abfälle aus der gewerblichen Gemüseverarbeitung
- Gras- und Rasenschnitt
- Tiermist
- Gartenabraum

Nur bedingt geeignet sind:

- Baum- und Strauchschnitt
- Holz

Holzteile stören die Vergärung nicht, sie werden aber auch nicht abgebaut. Im Normalfall wird der Holzanteil bei der mechanischen Aufbereitung aussortiert und einer thermischen Verwertung zugeführt oder in der Nachrotte als Strukturmaterial eingesetzt.

### 3.2.2 Output

In einer Vergärung werden Gärgut, Presswasser und Biogas produziert.

Aus einer Tonne Frischsubstanz entstehen [AWEL, 2004]:



Input		Output	
Bezeichnung	Menge	Bezeichnung	Menge
Frischsubstanz	1'000 kg	Presswasser	330 kg
		Biogas (CH <sub>4</sub> /CO <sub>2</sub> )	109 kg
		Wasserdampf/Gas Nachrotte	260 kg
		Stabilisiertes Gärgut	300 kg

**Tabelle 4** Input und Output eines Gärwerkes

### 3.2.3 Energie

Bei der Vergärung wird Energie in Form von Strom (Maschinen), Wärme (Gärreaktor, Gebäude) und Treibstoff (Fahrzeuge) verbraucht. Wenn das produzierte Gas vor Ort verwertet wird, werden Strom und Wärme produziert (siehe Kapitel 4: Produkte und Markt).

- Energieverbrauch Strom: 50 kWh/t [Wagner, 2004]
- Energieverbrauch Wärme: 130 kWh/t [Wagner, 2004]

### 3.2.4 Kosten

Im Bericht werden die totalen Verarbeitungskosten pro Tonne Grüngut inkl. Abschreibung und Verzinsung der Investitionen angegeben. Eine detaillierte Kostenzusammenstellung findet sich in den angegebenen Literaturstellen. Wenn in der Literatur die Kosten nicht in CHF angegeben waren, wurden diese umgerechnet. (1 € = CHF 1.50, 1 DM = CHF 0.75)

Total Verarbeitungskosten CHF 158.- /t [Edelmann und Schleiss, 2001]  
CHF 105.- bis CHF 124.- /t [Steinfeldt et.al., 2002]

## 3.3 Kombinierte Vergärung und Kompostierung

### 3.3.1 Input

In geeignetem Verfahrensteil einer kombinierten Anlage lassen sich praktisch alle biogenen Abfälle verarbeiten:

- Speisereste aus Haushaltungen, Grossküchen und Restaurants
- Rüstabfälle aus Haushaltungen, Grossküchen und Restaurants
- Nasse Abfälle aus der gewerblichen Gemüse- und Obstverarbeitung
- Trockene Abfälle aus der gewerblichen Gemüseverarbeitung
- Gras- und Rasenschnitt
- Tiermist
- Gartenabraum
- Holz
- Baum- und Strauchschnitt

Die mengenmässige Aufteilung in vergärbare und kompostierbare Material hängt stark vom Einzugsgebiet ab. Erfahrungen in Baar [Müller, 1994] zeigen, dass ca. 25 bis 35 % der angelieferten Grünabfälle im Vergärungsteil und 65 bis 75 % in der Kompostierung verarbeitet werden.

### 3.3.2 Output

In einer kombinierten Anlage werden Reifkompost, Presswasser und Biogas produziert, bei fehlender Nachrotte auch Gärgut.



Die Output-Mengen sind abhängig von der Zusammensetzung des Eingangsmaterials und von der Aufteilung des Inputs auf den Kompostier- und den Vergärteil der Anlage. Unter der Annahme, dass 50% des Inputs in der Kompostierung verarbeitet werden und 50% des Inputs vergärt werden, entstehen aus einer Tonne Frischsubstanz:

Input		Output	
Bezeichnung	Menge	Bezeichnung	Menge
Frischsubstanz	1'000 kg	Presswasser/Wasser	165 kg
		Biogas (CH <sub>4</sub> /CO <sub>2</sub> )	55 kg
		Gas Rotte (CO <sub>2</sub> /Wasser)	360 kg
		Kompost/Gärgut	420 kg

**Tabelle 5** Input und Output eines kombinierten Kompost- und Gärwerk

### 3.3.3 Energie

Im Vergärungs- und im Kompostierungsteil wird Energie in Form von Strom (Maschinen), Wärme (Gärreaktor, Gebäude) und Treibstoff (Fahrzeuge) verbraucht. Wenn das produzierte Gas vor Ort verwertet wird, werden Strom und Wärme produziert (siehe Kapitel 4: Produkte und Markt).

- Energieverbrauch Strom: 36 bis 40 kWh/t [Müller, 1994]
- Energieverbrauch Wärme: 64 bis 130 kWh/t [Müller, 1994]

### 3.3.4 Kosten

Im Bericht werden die totalen Verarbeitungskosten pro Tonne Grüngut inkl. Abschreibung und Verzinsung der Investitionen angegeben. Eine detaillierte Kostenzusammenstellung findet sich in den angegebenen Literaturstellen.

Total Verarbeitungskosten CHF 175.- /t [Wehrli, 2003]  
CHF 167.- /t [Edelmann und Schleiss, 2001]

## 3.4 Thermische Verwertung in einem Kehrichtheizkraftwerk

### 3.4.1 Output

Aus einer Tonne Frischsubstanz entstehen [Edelmann und Schleiss, 2001]:

Input		Output	
Bezeichnung	Menge	Bezeichnung	Menge
Frischsubstanz	1'000 kg	Wasserdampf	600 kg
		Gas (CO <sub>2</sub> )	264 kg
		Schlacke	136 kg

**Tabelle 5** Input und Output eines Kehrichtheizkraftwerkes

### 3.4.2 Energie

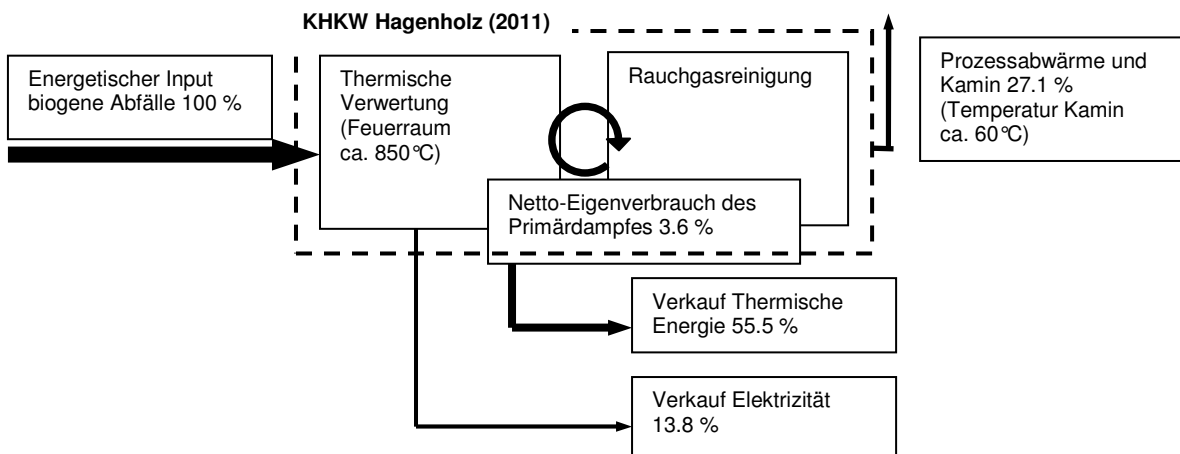
Bei der thermischen Verwertung von Abfall wird Energie in Form von Strom (Einspeisung in das städtische Elektrizitätsnetz) und Wärme (Abgabe an die Fernwärme) abgegeben. Die Daten entsprechen dem erneuerten Kehrichtheizkraftwerk (KHKW) Hagenholz.

- Eigenverbrauch Strom: 39 kWh/t [ERZ KHKW]

- Eigenverbrauch Wärme: 11 kWh/t [ERZ KHKW]
- Bruttoproduktion Strom: 232 kWh/t [ERZ KHKW]
- Bruttoproduktion Wärme: 782 kWh/t [ERZ KHKW]

Im Feuerraum des KHKW wird der organische Anteil der biogenen Abfälle in thermische Energie umgewandelt. Diese Energie wird über einen Wärmetauscher in Dampf umgewandelt. Dieser Dampf wird über eine Gegendruckturbine entspannt und somit Strom produziert. Der entspannte Dampf wird dem Fernwärmenetz übergeben. Die biogenen Abfälle werden im Bunker und im Kehrtrichtschacht, der direkt in den Feuerraum führt, vorgetrocknet. Somit wird ein Wärmestrom, der sonst als Verlust gilt, sinnvoll genutzt. Das in den biogenen Abfällen verbleibende Wasser, wird im Feuerraum bei 850 °C in Dampf umgewandelt. Die verwendete Verdampfungsenergie wird in der Rauchgasreinigung durch kontrollierte Abkühlung der Rauchgase wieder frei und im Rahmen des Gesamtwirkungsgrades genutzt. Diese Rauchgase haben am Kamin eine Temperatur von 60°C. Am Kamin sichtbar ist also kein Rauch, sondern kondensiertes Wasser.

Für die energetische Verwertung von biogenen Abfällen muss also mit der Gesamt-Energiebilanz gerechnet werden. Es wird ein unterer Heizwert ( $H_U$ ) von 1.39 MWh/t biogene Abfälle angenommen [Lehmann, 2004].



**Abbildung 2** Energetisches Schema KHKW Hagenholz 2011

### 3.4.3 Kosten

Im Bericht werden die totalen Verarbeitungskosten pro Tonne Grüngut inkl. Abschreibung und Verzinsung der Investitionen angegeben. Eine detaillierte Kostenzusammenstellung findet sich in den angegebenen Literaturstellen.

Total Verarbeitungskosten	CHF 285.- /t	[Edelmann und Schleiss, 2001]
	CHF 183.50 /t	[ERZ KHKW, 2003]

## 3.5 Co-Vergärung im Klärwerk

### 3.5.1 Input

Gut geeignete Abfälle zur Behandlung mittels Co-Vergärung sind:

- Speisereste aus Haushaltungen, Grossküchen und Restaurants
- Rüstabfälle aus Haushaltungen, Grossküchen und Restaurants
- Nasse Abfälle aus der gewerblichen Gemüse- und Obstverarbeitung
- Trockene Abfälle aus der gewerblichen Gemüseverarbeitung
- Gras- und Rasenschnitt



- Tiermist

Weniger geeignet sind:

- Gartenabraum
- Baum- und Strauchschnitt
- Holz

Holzteile stören die Co-Vergärung im Prinzip nicht, sie werden aber auch nicht abgebaut. Um die Klärschlammweiterverarbeitung nicht zu stören, müssen enthaltene Holzteile ebenfalls fein zerkleinert werden.

### 3.5.2 Output

Im Klärwerk werden aus den biogenen Abfällen Klärschlamm und Biogas produziert.

Aus einer Tonne Frischsubstanz entstehen [Edelmann und Schleiss, 2001]:

Input		Output	
Bezeichnung	Menge	Bezeichnung	Menge
Frischsubstanz	1'000 kg	Faulwasser	330 kg
		Biogas (CH <sub>4</sub> /CO <sub>2</sub> )	100 kg
		Klärschlamm entwässert	570 kg

**Tabelle 6** Input und Output einer Co-Vergärung in einer Kläranlage

### 3.5.3 Energie

Bei der Co-Vergärung wird Energie in Form von Strom (Zerkleinerung, Anlagenbetrieb) und Wärme (Faulraumheizung) verbraucht. Das produzierte Gas wird vor Ort in Gasmotoren verwertet, dabei werden Strom und Wärme produziert (siehe Kapitel 4: Produkte und Markt).

- Energieverbrauch Strom: 16 kWh/t [ERZ K+K, 2003]
- Energieverbrauch Wärme: 69 kWh/t [ERZ K+K, 2003]

### 3.5.4 Kosten

Im Bericht werden die totalen Verarbeitungskosten pro Tonne Grüngut inkl. Abschreibung und Verzinsung der Investitionen angegeben. Eine detaillierte Kostenzusammenstellung findet sich in den angegebenen Literaturquellen. Wenn in der Literatur die Kosten nicht in CHF angegeben waren, wurden diese umgerechnet (1 € = CHF 1.50, 1 DM = CHF 0.75)

Total Verarbeitungskosten	CHF 49.- /t	[Steinfeldt et.al., 2002]
	CHF 30.- /t	[ERZ K+K, 1995 - 2003]



## 4 Produkte und Markt

Im Kapitel Produkte und Markt werden die Produkte aus den verschiedenen Verfahren zur Verarbeitung von biogenen Abfällen beschrieben, die heutigen Verwertungswege aufgeführt sowie alternative Verwertungsmöglichkeiten aufgezeigt.

### 4.1 Beschreibung der Produkte

#### 4.1.1 Frischkompost

##### Definition

Frischkompost entsteht aus der Verrottung von biogenen Abfällen unter aeroben Bedingungen in einer offenen oder geschlossenen Kompostierung in ca. 6 bis 8 Wochen. In diesem Stadium sind noch nicht alle Inhaltsstoffe des Materials abgebaut, der Kompost weist noch eine biologische Aktivität auf und Nachrotteprozesse laufen ab. Frischkompost ist geeignet für den Einsatz auf Fruchtfolgeflächen in der Landwirtschaft. Er ist hingegen nicht geeignet für den Einsatz im Gartenbau. Durch die Nachrotteprozesse würde das Pflanzenwachstum beeinträchtigt.

#### 4.1.2 Aktuelle Verwertungswege

Kompost ist ein Dünger, der in seiner Anwendung mit Stallmist vergleichbar ist. Mit der maximal zulässigen Gabe von 25 t TS pro Hektare und 3 Jahre werden bei durchschnittlichen Gehalten ca. 10 t organische Substanz, 350 kg teilweise verfügbarer Stickstoff, 150 kg Phosphat (entspricht 900 kg Thomasmehl), 225 kg Kali (entspricht 560 kg Kalisalz 40%) und 200 kg Magnesium (entspricht 1'180 kg Kieserit) ausgebracht. Der Einsatz von Kompost muss deshalb in der Düngeplanung sowie bei der Berechnung der Nährstoffbilanz eines Betriebes berücksichtigt werden. Es gelten die Dünge Richtlinien der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten [FAC, 1995]. 89% des im Kompostierwerk Werdhölzli produzierten Kompostes ist Frischkompost. Dieser Anteil wird vollständig in der Landwirtschaft verwertet.

Die Verwertung kostet ERZ CHF 10.- /m<sup>3</sup>, bzw. rund CHF 130'000.- /Jahr. Damit werden die Transport- und Ausbringungskosten (Kompostwerk Werdhölzli → Ackerfeld) sowie die Kosten für das Führen der Düngerbedarfsnachweise abgedeckt. Die meisten Kompostierwerke bezahlen für die Verwertung von Frischkompost zwischen CHF 5.- und CHF 10.-/m<sup>3</sup>, weshalb nicht von einem bestehenden Absatzmarkt gesprochen werden kann.

##### Alternative Verwertungswege

Für die Verwertung von Frischkompost ist in der Landwirtschaft keine Alternative absehbar. Die Eigenschaften des Produktes verhindern einen Einsatz im Gartenbau oder im Hobbybereich. Wenn der Frischkompost nicht in der Landwirtschaft verwertet werden kann, bleibt als einzige Alternative die Weiterverarbeitung zu Reifkompost.

##### Marktpotential

Der Wegfall des Klärschlammes als Gratsdünger könnte das Absatzpotential des Frischkomposts in der Landwirtschaft erhöhen. Frischkompost des Kompostierwerks Werdhölzli ist in der Hilfsstoffliste des FiBL (Forschungsinstitut für Biologischen Landbau) eingetragen. Entsprechend dürfen auch biologisch wirtschaftende Landwirtschaftsbetriebe den Frischkompost verwenden.



#### 4.1.3 Reifkompost

##### Definition

Reifkompost entsteht aus der Verrottung von biogenen Abfällen unter aeroben Bedingungen in einer offenen oder geschlossenen Kompostierung in mindestens 16 bis 20 Wochen oder durch Nachrottung von Gärgut. Je länger Kompost gelagert und gepflegt werden kann, umso besser wird die Qualität. Im Reifkompost sind die Abbauprozesse der Inhaltsstoffe weitgehend abgeschlossen. Er weist kaum noch Verrottungsaktivitäten auf. Reifkompost ist nach der Absiebung der groben, nicht verrotteten Teile geeignet für den Einsatz als Dünger und Bodenverbesserer im Gartenbau.

Der Verband Kompost- und Vergärwerke Schweiz (VKS) erarbeitet derzeit ein Label für die Produkte aus Kompostierwerken. Dadurch sollen die einzelnen Qualitäten genau definiert und kontrolliert werden.

##### Aktuelle Verwertungswege

Reifkompost kann im offenen und geschlossenen Gartenbau als Dünger eingesetzt werden. Ab Kompostierwerk Werdhölzli werden Reifkompost und Holzschnitzel an Grün Stadt Zürich und private Kleingärtner gratis abgegeben sowie an Gartenbauunternehmen und Grossbezügler für CHF 41.- / m<sup>3</sup> verkauft (total ca. 11% der Produktion).

##### Alternative Verwertungswege

Die Steigerung des Absatzes von Reifkompost ist ein Ziel der gesamten Branche. In den letzten Jahren konnte dieses Ziel nicht erreicht werden. Kompost steht im Hobbybereich in Konkurrenz zu günstigen Angeboten der Grossverteiler und Hobbymärkte für Garten- und Balkonerden. Im gewerblichen Gartenbau werden auch Kunstdünger und speziell produzierte Erden eingesetzt.

#### 4.1.4 Gärgas

##### Definition

Biogas entsteht aus der anaeroben Behandlung von biogenen Abfällen in einer Vergärungs- oder Co-Vergärungsanlage. Aufgrund der Zusammensetzung der biogenen Abfälle sind die Hauptbestandteile von Biogas Methan (CH<sub>4</sub>) und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>).

##### Verwertungsmöglichkeiten

Für das Biogas aus Vergärungsanlagen stehen verschiedene Verwertungsmöglichkeiten zur Verfügung:

- Verwertung in einem Blockheizkraftwerk (BHKW)  
Pro m<sup>3</sup> Biogas lassen sich in einem BHKW ca. 2.4 kWh elektrische Energie und 3.9 kWh thermische Energie produzieren. Die Wärme kann nur genutzt werden, wenn ein entsprechender Abnehmer in der Nähe des Vergärwerks vorhanden ist. Wenn das Biogas aus einer Co-Vergärung im Klärwerk anfällt, wird es in den bestehenden BHKW zu Strom und Wärme verwertet. Einsparung Strombezug durch das Klärwerk: 13 Rp/kWh.
- Einspeisung ins Erdgasnetz  
Nach einer entsprechenden Aufbereitung des Biogases kann dieses ins Erdgasnetz eingespeist werden.
- Verwendung als Treibstoff  
Mit dem Biogas können nach einer entsprechenden Aufbereitung gasbetriebene Fahrzeuge getankt werden.



## Markt

- Verwertung in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) = Strom und Wärme  
Der produzierte Strom kann entweder von ERZ selber genutzt oder den Elektrizitätswerken der Stadt Zürich (EWZ) ins Netz gespeist werden. Eine Zertifizierung dieses Stroms mit einem Ökolabel ist möglich. Über Abnahmepreise müsste mit dem ewz verhandelt werden. Im Kanton Bern wird ein garantierter Mindestpreis von 15 Rp/kWh für Strom aus Biogas bezahlt [Utiger, 2004].
- Einspeisung ins Erdgasnetz  
Die Erdgas Zürich AG bezahlt den Gärwerken 5 Rp/kWh Biogas. Es ist anzunehmen, dass eine von ERZ betriebene Vergärungsanlage vorbehandeltes Biogas zum selben Preis in das Erdgasnetz einspeisen könnte.
- Verwendung als Treibstoff  
Die Erdgas Zürich AG vermarktet Biogas als Treibstoffersatz.

### 4.1.5 Elektrizität und thermische Energie aus KHKW

Die bei der Verbrennung von biogenen Abfällen entstehende Wärme wird genutzt. Einerseits wird Elektrizität produziert und ins städtische Stromnetz eingespeist, andererseits wird die Wärme in die Fernwärmenetze eingespeist. Die Fernwärme wird zu Heizzwecken in Haushalten, Gewerbe und Industrien, sowie für Prozessdampf gebraucht.

#### Mittelfristige Situation in der Stadt Zürich

- Das KHKW Hagenholz wird mit einer neuen modernen Energiezentrale ausgerüstet. Die alte 40-jährige Anlage entspricht nicht mehr den heutigen Erfordernissen der Energieeffizienz. Die neue Energiezentrale wird im Jahre 2006 den Betrieb aufnehmen. Alle weiteren Berechnungen in den Varianten sind mit den Werten der neuen Energiezentrale ausgeführt.
- Bis zum Jahre 2010 werden im KHKW Hagenholz die zwei alten Verbrennungslinien durch neue ersetzt.
- Das KHKW Josefstrasse wird voraussichtlich auf das Jahr 2011 stillgelegt und umgenutzt.

Der Heizwert des Kehrriechts steigt jährlich an. Der angegebene Wert ist derjenige für den die Energiezentrale dimensioniert wurde [ERZ KHKW, 2003].

## 5 Variantenbeschreibung

### 5.1 Variantenübersicht

<b>Fraktionen und Herkunft</b>	<b>Variante 0</b> Status Quo	<b>Variante A</b> Gemeinsame Sammlung von Gartenabraum und Rüstabfällen aus Haushaltungen	<b>Variante B</b> Status Quo + Abholung von Grossmengen Küchenabfälle aus Betrieben zur externen Entsorgung (freier Markt)	<b>Variante C</b> Status Quo + Sammlung von Rüstabfällen aus Haushaltungen zur Vergärung (Variante Gemeinderat Jäger)
<b>Gartenabraum</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gartenabraum von Haushaltungen (abgeholt)</li> <li>- Gartenabraum von städtischen Betrieben (angeliefert)</li> <li>- Gartenabraum von Betrieben, v.a. Gartenbauunternehmen (angeliefert)</li> </ul>			
<b>Küchenabfälle aus Haushaltungen</b>	Küchenabfälle aus Haushaltungen über „Züri-Sack“, sofern nicht dezentral vor Ort kompostiert. (Kompostierberatung durch ERZ)	Rüstabfälle von Haushaltungen (abgeholt)	Küchenabfälle aus Haushaltungen über „Züri-Sack“, sofern nicht dezentral vor Ort kompostiert. (Kompostierberatung durch ERZ)	Rüstabfälle von Haushaltungen (abgeholt)
<b>Küchenabfälle aus Betrieben</b>	ERZ bietet Betrieben keine Abfuhr für Küchenabfälle an. Diese Dienstleistung wird von privaten Transportunternehmen angeboten.	ERZ bietet Betrieben keine Abfuhr für Küchenabfälle an. Diese Dienstleistung wird von privaten Transportunternehmen angeboten.	ERZ bietet KMU- und Grossbetrieben wie Grossverteiler, Restaurants, Kantinen eine Sammlung von Küchenabfällen an. Dieselbe Dienstleistung wird weiterhin auch von privaten Transportunternehmen angeboten.	ERZ bietet Betrieben keine Abfuhr für Küchenabfälle an. Diese Dienstleistung wird von privaten Transportunternehmen angeboten.

**Tabelle 5** Variantenbeschreibung „Fraktionen und Herkunft“

**Begriffserklärung:**

Küchenabfälle: Überbegriff für Rüstabfälle und Speisereste  
 Rüstabfälle: Abfälle von ungekochtem Gemüse und Früchten  
 Speisereste: Gekochte Essensreste, ohne Fleisch oder Knochen

<b>Sammlung</b>	<b>Variante 0</b> Status Quo	<b>Variante A</b> Gemeinsame Sammlung von Gartenabraum und Rüstabfällen aus Haushaltungen	<b>Variante B</b> Status Quo + Abholung von Grossmengen Küchenabfälle aus Betrieben zur externen Entsorgung (freier Markt)	<b>Variante C</b> Status Quo + Sammlung von Rüstabfällen aus Haushaltungen zur Vergärung (Variante Gemeinderat Jäger)
<b>Gartenabraum</b>	Gartenabraum von Haushaltungen wird von März bis Dezember, bereitgestellt in „Gartenabraum“-Containern, von ERZ wöchentlich eingesammelt (im Winter auf Bestellung) und ins Kompostierwerk Werdhölzli eingeliefert.  Gartenabraum von städtischen Betrieben und Gartenbauunternehmen wird direkt ins Kompostierwerk Werdhölzli eingeliefert.	Der Transport der biogenen Abfälle zur Behandlung läuft auf zwei Schienen. Gartenabraum und Rüstabfälle der Haushalte werden in einem gemeinsamen "Grün"-Container gesammelt. Sammlung ein Mal pro Woche, analog heutigem Gartenabraum-Abonnement.  Die zweite Transportart ist die Direkteinlieferung ins Behandlungswerk nach dem Bringprinzip. Damit wird v.a. Gartenabraum der städt. Werke (GSZ) und von privaten Betrieben (Gartenbauer) angeliefert.	Gartenabraum von Haushaltungen wird von März bis Dezember, bereitgestellt in „Gartenabraum“-Containern, von ERZ wöchentlich eingesammelt (im Winter auf Bestellung) und ins Kompostierwerk Werdhölzli eingeliefert.  Gartenabraum von städtischen Betrieben und Gartenbauunternehmen wird direkt ins Kompostierwerk Werdhölzli eingeliefert.	
<b>Küchenabfälle aus Haushaltungen</b>	Die Küchenabfälle aus Haushaltungen werden mit dem „Züri-Sack“ eingesammelt, sofern diese nicht dezentral vor Ort kompostiert werden.		Die Küchenabfälle aus Haushaltungen werden mit dem „Züri-Sack“ eingesammelt, sofern diese nicht dezentral vor Ort kompostiert werden.	Die Rüstabfälle aus Haushaltungen werden in einem separaten Container bereitgestellt, wöchentlich separat eingesammelt und in ein Vergärwerk im Grossraum Zürich geliefert.
<b>Küchenabfälle aus Betrieben</b>	Küchenabfälle von Betrieben, welche nicht durch private Transporteure zur Vergärung eingesammelt werden, werden mit dem Betriebskehrrecht eingesammelt und in die KHKW von ERZ zur energetischen Verwertung eingeliefert.	Küchenabfälle von Betrieben, welche nicht durch private Transporteure zur Vergärung eingesammelt werden, werden mit dem Betriebskehrrecht eingesammelt und in die KHKW von ERZ zur energetischen Verwertung eingeliefert.	ERZ sammelt Küchenabfälle aus Betrieben wöchentlich ein und transportiert sie in die umliegenden Vergäranlagen.  Dieselbe Dienstleistung wird weiterhin auch von privaten Transportunternehmen angeboten.  Küchenabfälle welche weder von ERZ noch anderweitig zur Vergärung eingesammelt werden, werden mit dem Betriebskehrrecht eingesammelt und in die KHKW von ERZ zur energetischen Verwertung eingeliefert.	Küchenabfälle von Betrieben, welche nicht durch private Transporteure zur Vergärung eingesammelt werden, werden mit dem Betriebskehrrecht eingesammelt und in die KHKW von ERZ zur energetischen Verwertung eingeliefert.

**Tabelle 6** Variantenbeschreibung „Sammlung“



<b>Behandlung</b>	<b>Variante 0</b> Status Quo	<b>Variante A</b> Gemeinsame Sammlung von Gartenabraum und Rüstabfällen aus Haushaltungen	<b>Variante B</b> Status Quo + Abholung von Grossmengen Küchenabfälle aus Betrieben zur externen Entsorgung (freier Markt)	<b>Variante C</b> Status Quo + Sammlung von Rüstabfällen aus Haushaltungen zur Vergärung (Variante Gemeinderat Jäger)
<b>Gartenabraum</b>	<p>Der gesammelte und direkt eingelieferte Gartenabraum wird im Kompostierwerk Werdhölzli kompostiert.</p> <p>Siebüberlauf (Holz) wird aufgrund der kleinen Menge in den KHKW energetisch verwertet.</p> <p>Auf dezentralen Kompostierplätzen wird Gartenabraum zusammen mit Rüstabfällen kompostiert.</p>	<p>Alle gesammelten und direkt eingelieferten Abfälle werden in einem kombinierten Kompostierungs- und Vergärungswerk behandelt.</p> <p>Ergänzung des Kompostierwerks Werdhölzli mit einer Vergärungsanlage. Die angelieferten biogenen Abfälle müssen in jedem Fall zuerst sortiert werden. Die vergärbaren Anteile gehen in den Vergärteil, Gartenabraum geht in die offene Kompostierung.</p>	<p>Der gesammelte und direkt eingelieferte Gartenabraum wird im Kompostierwerk Werdhölzli kompostiert.</p> <p>Siebüberlauf (Holz) wird aufgrund der kleinen Menge in den KHKW energetisch verwertet.</p>	
<b>Küchenabfälle aus Haushaltungen</b>	<p>Auf dezentralen Kompostierplätzen werden Küchenabfälle zusammen mit Gartenabraum kompostiert.</p> <p>Nicht dezentral kompostierte Küchenabfälle aus Haushaltungen werden mit Kehricht in den KHKW von ERZ energetisch verwertet.</p>		<p>Auf dezentralen Kompostierplätzen werden Küchenabfälle zusammen mit Gartenabraum kompostiert.</p> <p>Nicht dezentral kompostierte Küchenabfälle aus Haushaltungen werden mit Kehricht in den KHKW von ERZ energetisch verwertet.</p>	<p>Die gesammelten Rüstabfälle werden in Vergärungsanlagen im Grossraum Zürich verwertet.</p> <p>Restmengen Küchenabfälle aus Haushaltungen werden in den KHKW von ERZ energetisch verwertet.</p>
<b>Küchenabfälle aus Betrieben</b>	<p>Die von privaten Transportunternehmen gesammelten Küchenabfälle aus Betrieben werden in den umliegenden Vergärungsanlagen entsorgt.</p> <p>Restmengen Küchenabfälle aus Betrieben werden mit Kehricht in den KHKW von ERZ energetisch verwertet.</p>		<p>Die von privaten Transportunternehmen gesammelten Küchenabfälle aus Betrieben werden in den umliegenden Vergärungsanlagen entsorgt.</p> <p>Restmengen von Küchenabfällen aus Haushaltungen und Betrieben werden mit Kehricht in den KHKW von ERZ energetisch verwertet.</p>	<p>Die von ERZ und privaten Transportunternehmen gesammelten Küchenabfälle aus Betrieben werden in den umliegenden Vergärungsanlagen entsorgt.</p> <p>Restmengen Küchenabfälle aus Betrieben werden mit Kehricht in den KHKW von ERZ energetisch verwertet.</p>

**Tabelle 7** Variantenbeschreibung „Behandlung“

<b>Produkte aus</b>	<b>Variante 0</b> Status Quo	<b>Variante A</b> Gemeinsame Sammlung von Gartenabraum und Rüstabfällen aus Haushaltungen	<b>Variante B</b> Status Quo + Abholung von Grossmengen Küchenabfälle aus Betrieben zur externen Entsorgung (freier Markt)	<b>Variante C</b> Status Quo + Sammlung von Rüstabfällen aus Haushaltungen zur Vergärung (Variante Gemeinderat Jäger)
<b>Kompostierwerk Werdhölzli</b>	Im Kompostierwerk Werdhölzli wird aus Gartenabraum Folgendes produziert: - Frischkompost (89%) - Reifkompost (9%) - Holzschnitzel (2%)			
<b>dezentraler Kompostierung</b>	Die Produkte der dezentralen Kompostierplätze sind die gleichen wie im Kompostierwerk Werdhölzli. Bei der dezentralen Kompostierung wird im Verhältnis mehr Reifkompost produziert.			
<b>der Vergärung</b>	kein Vergäranteil	Im Vergärwerk entstehen aus den Küchenabfällen Gärgut, Presswasser und Biogas.		
<b>Kehrichtheizkraftwerken</b>	Aus den in den KHKW verbrannten Küchenabfällen entsteht Energie, welche in Form von Fernwärme und Strom zum Weiterverbrauch angeboten werden. Der anorganische Anteil bleibt in der Schlacke zurück.			

**Tabelle 8** Variantenbeschreibung „Produkte“

<b>Verwertung der Produkte aus.</b>	<b>Variante 0</b> Status Quo	<b>Variante A</b> Gemeinsame Sammlung von Gartenabraum und Rüstabfällen aus Haushaltungen	<b>Variante B</b> Status Quo + Abholung von Grossmengen Küchenabfälle aus Betrieben zur externen Entsorgung (freier Markt)	<b>Variante C</b> Status Quo + Sammlung von Rüstabfällen aus Haushaltungen zur Vergärung (Variante Gemeinderat Jäger)
<b>Kompostierwerk Werdhölzli</b>	Frischkompost wird in der Landwirtschaft verwertet, Reifkompost wird im offenen und geschlossenen Gartenbau eingesetzt. Holzschnitzel werden an Private verkauft und/oder im Kompostierwerk Werdhölzli als Strukturmaterial vor Ort wieder eingesetzt.			
<b>dezentraler Kompostierung</b>	Die Produkte aus der dezentralen Kompostierung werden grösstenteils vor Ort wieder im Garten eingesetzt.			
<b>der Vergärung</b>	kein Vergäranteil	Gärgut und Presswasser werden in der Landwirtschaft verwertet. Biogas wird für die Einspeisung ins Erdgasnetz aufbereitet oder in einem BHKW verstromt.		
<b>den Kehrichtheizkraftwerken</b>	Die Kehrichtheizkraftwerke geben die Wärme ins Fernwärmenetz von Fernwärme Zürich ab. Der produzierte Strom wird ins Netz der ewz gespiesen. Die Schlacke wird zur Deponie geführt.			

**Tabelle 9** Variantenbeschreibung „Verwertung der Produkte“



## 5.2 Ergebnisse Variante 0 (Ist-Situation)

### Sammlung und Transport

Die Anzahl Kilometer, der Dieserverbrauch, die Tonnage und die Kosten des Gartenabraumes aus Haushalten stammen von den Betriebsdaten von ERZ [ERZ ELOG, 2003]. Die Energie- und CO<sub>2</sub>-Werte, sowie deren Umrechnungsfaktoren stammen vom BAFU. Integriert sind hier die Sammlung und der Transport ins Kompostwerk. Für den Gartenabraum aus städtischen Betrieben konnte nur der Transport in Kompostwerk berücksichtigt werden. Daten für die Sammlung standen nicht zur Verfügung. Die Kilometer wurden anhand der Tonnage [ERZ K+K, 2003] und einer mittleren Transportdistanz in der Stadt Zürich berechnet. Die Kosten sind geschätzt. Die Tonnage der Küchenabfälle und des Gartenabraum aus Haushalten stammen aus ERZ Betriebsdaten [ERZ KHKW, 2003]. Der Sammelaufwand für die biogenen Abfälle im Züri-Sack wurde gemäss den Tonnagen berechnet. In dieser Variante wird angenommen, dass keine Küchenabfälle aus Haushalten in eine Vergärung gelangen. Die Tonnage der biogenen Abfälle aus Betrieben, welche effektiv in das KHKW gelangen, wurde in Kapitel 1.2.3. geschätzt. Auch hier wird die Energie, der CO<sub>2</sub> -Wert und die Kosten theoretisch auf die Tonnage umgerechnet. Die sonstigen Werte sind ERZ Betriebsdaten [KHKW ELOG, 2003]. Die Menge der biogenen Abfälle aus Betrieben, die effektiv in eine Vergärung gelangt, wurde in Kapitel 1.2.3 beschrieben. Da auch hier nur der Transport und nicht das Einsammeln gerechnet werden kann, wird der Treibstoffverbrauch dementsprechend geschätzt. Die Distanz wird über die Tonnage, Ladekapazität und der mittleren Distanz von Zürich zu den Gärwerken im Kanton Zürich berechnet. Durch die Betriebe werden 3'000 t Gartenabraum direkt ins Kompostierwerk Werdhölzli geliefert. Diese Menge wird bei der Sammlung nicht berücksichtigt.

### Verfahren

Die Tonnage, der Energieverbrauch und die Kosten des Kompostwerkes stammen aus ERZ Betriebsdaten [ERZ K+K, 2003]. Alle Daten der Vergärung wurden der Literatur entnommen, siehe Kapitel 3.3. Beim kombinierten Kompost- und Vergärwerk wurden alle Daten der Literatur entnommen, siehe Kapitel 3.4. Für das KHKW wurden für die Kosten ERZ eigene Betriebsdaten verwendet [ERZ KHKW, 2003].

### Produkt-Verkauf

Die Kosten [ERZ K+K, 2003], die Anzahl Kilometer und den Treibstoffverbrauch [Angaben Transporteure], um den Kompost in die Landwirtschaft zu geben, konnten gut erhoben werden. Für das Presswasser wurde angenommen, dass es mit dem gleichen Aufwand wie der Kompost als Dünger in die Landwirtschaft gebracht werden kann. Für das Bio-Gas wird angenommen, dass das gesamte Bio-Gas, ohne Verluste, verwertet wird. Um die bestmögliche CO<sub>2</sub>-Bilanz zu erhalten, wird angenommen, dass das gesamte Bio-Gas, ohne Verluste als Treibstoffersatz verwendet wird. Für die KHKW CO<sub>2</sub>-Bilanz wurde angenommen, dass wenn diese Energie nicht zur Verfügung stehen würde, dass im Rahmen der zentralen, fossilen Nachheizung des Fernwärmenetzes überwiegend Erdgas (95%) und der Rest Heizöl (5%) verbrannt werden müsste. Für die Schlacke wurde die Transportdistanz zur Schlackendeponie Lufingen verwendet.



## 5.2.1 Gesamtsummen Variante 0

### Variante 0 - Status Quo

#### Gesamtsummen

##### **Sammlung**

Summe Materialinput	32'600	t
Summe Energie-Verbrauch	1'130	MWh
Summe CO <sub>2</sub> -Ausstoss	294	t
<b>Summe Kosten</b>	<b>3'238'750</b>	<b>CHF</b>

##### **Verfahren**

Summe Materialinput	35'600	t
Summe Energie-Verbrauch	1'774	MWh
Summe CO <sub>2</sub> -Ausstoss	100	t
<b>Summe Kosten</b>	<b>5'046'500</b>	<b>CHF</b>

##### **Produkte-Verwertung**

Summe Materialoutput	11'047	t
Summe Energie-Verbrauch	-20'897	MWh
Summe CO <sub>2</sub> -Ausstoss	-4'847	t
<b>Summe Kosten</b>	<b>-134'754</b>	<b>CHF</b>

#### Gesamtsummen

<b>Summe Energie-Verbrauch</b>	<b>-17'993</b>	<b>MWh</b>
<b>Summe CO<sub>2</sub>-Ausstoss</b>	<b>-4'452</b>	<b>t</b>
<b>Summe Kosten</b>	<b>8'150'496</b>	<b>CHF</b>

**Tabelle 10** Ergebnisse Gesamtsummen Variante 0 (Ist-Situation)



### 5.3 Ergebnisse Variante A

#### Sammlung und Transport

Es werden die gleichen Parameter wie in der Variante 0 verwendet. Die bei Variante 0 ausserhalb der Stadt Zürich der Vergärung zugeführten 5'750 t Küchenabfälle aus Betrieben werden trotz neuer Vergärungsanlage in oder nahe der Stadt Zürich weiterhin ausserhalb der Stadt Zürich verwertet und die 3'000 t bisher der Tiermast zugeführten Mengen bleiben in diesem Verwertungskanal. Bei einer kombinierten Abfuhr von biogenen Abfällen aus Haushalten wird von einer wöchentlichen Abfuhr ausgegangen. Damit können 4'200 t Rüstabfälle und 1'050 t Grüngut aus dem Züri-Sack einem Kombiwerk zugeführt werden. Praktisch zeigt sich, dass in der Innenstadt eine nur wöchentliche Abfuhr nicht zu akzeptablen Ergebnissen führt. Diese Annahme ist somit eine Best-Annahme. Um eine flächendeckende Entsorgungsmöglichkeit bieten zu können, wurde bei den zusätzlichen Sammelbehältern folgende Annahme gemacht. In der Stadt Zürich gibt es mittelfristig rund 11'000 Containerstandorte (Achtung: nicht Anzahl Container). Es wird davon ausgegangen, dass jeder Containerstandort mindestens einen Grüncontainer vorweisen muss. In der Stadt Zürich gibt es bereits rund 12'000 Container für Gartenabraum, die an rund 5'500 Standorten verteilt sind. Es müssten somit zusätzlich rund 5'500 Container beschafft werden. Dabei würde nicht berücksichtigt, wo die bereits vorhandenen Container stehen. Auch diese zusätzlichen 5'500 Container sind somit eine Best-Annahme. Obwohl im Kapitel 2.1.1. proklamiert wurde, dass dieses Material keine zusätzlichen Kosten, Energie und CO<sub>2</sub> bei der Entsorgung via Züri-Sack verursacht, wurde dies hier aus Gründen der Vergleichbarkeit der Varianten trotzdem theoretisch berechnet. Durch die Betriebe werden 3'000 t Gartenabraum direkt ins Kompostierwerk Werdhölzli geliefert. Diese Menge wird bei der Sammlung nicht berücksichtigt.

Aufgrund der zusätzlichen Menge der biogenen Abfälle aus Haushaltungen (5'250 Tonnen biogene Abfälle = 1'050 Tonnen Gartenabraum plus 4'200 Tonnen Rüstabfälle) und neu ganzjährig durchgeführter Sammlung, werden sich die absoluten Sammelkosten im Vergleich zu den heutigen Kosten des Gartenabraums erhöhen.

#### Verfahren

Es werden die gleichen Parameter wie in der Variante 0 verwendet. Die Anteile der zu vergärenden oder der kompostierbaren Fraktionen eines kombinierten Werkes wurden ERZ intern evaluiert [ERZ K+K, 2003]. Es wird angenommen, dass das Massenverhältnis 50:50 beträgt (jeweils 9'050 Tonnen). Im Vergleich wird im einzig vergleichbaren Kombiwerk in Baar ein Massenverhältnis von 30:70 erreicht (30% Vergärung, 70% Kompostierung). Die der Kehrrichtmenge entzogenen biogenen Abfälle werden, um die wahren Kosten der biogenen Abfälle zu erhalten, nicht ersetzt. Damit steigen die Fixkosten pro ins KHKW eingelieferte Tonne und werden den biogenen Abfällen belastet.

#### Produkt-Verkauf

Es werden die gleichen Parameter wie in der Variante 0 verwendet. Auch für ein Kombiwerk wird angenommen, dass das ganze Biogas, ohne Verluste, als Treibstoffersatz verwendet wird.

# Stoffflussbilanz Biogene Abfälle Variante A

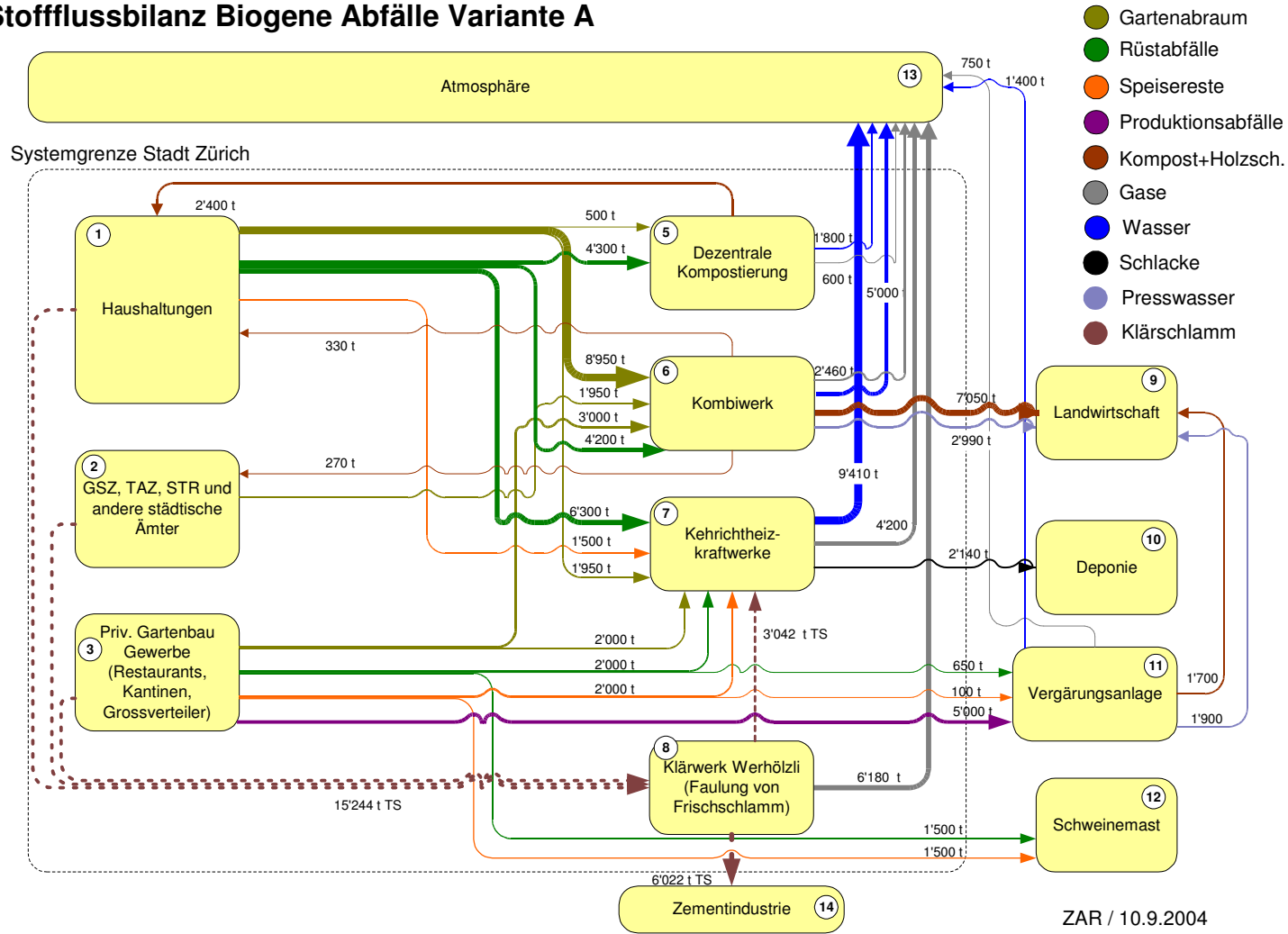


Abbildung 1

Stoffflussbilanz Biogene Abfälle Variante A



## 5.4 Ergebnisse Variante B

### Sammlung und Transport

Bei allen Berechnungen werden die gleichen Parameter verwendet wie in den Varianten 0 und A. D.h. die bei Variante 0 ausserhalb der Stadt Zürich der Vergärung zugeführten 5'750 t Küchenabfälle aus Betrieben werden trotz neuer Vergärungsanlage in oder nahe der Stadt Zürich weiterhin ausserhalb der Stadt Zürich verwertet und die 3000 t bisher der Tiermast zugeführten Mengen bleiben bei diesem Verwertungskanal. Es wird von einer wöchentlichen Abfuhr ausgegangen. Praktisch zeigt sich, dass in der Innenstadt eine nur wöchentliche Abfuhr zu nicht akzeptablen Ergebnissen führen wird. Diese Annahme ist somit eine Best-Annahme. Die praktisch zu erreichenden Mengen der biogenen Abfälle aus Betrieben wurden markttechnisch abgeschätzt und ergeben rund 2'000 Tonnen (1'000 Tonnen Rüstabfälle und 1'000 Speisereste aus Betrieben). Für die Transportdistanz wird ausgegangen, dass sich ein Gärwerk am Stadtrand von Zürich befindet. Durch die Betriebe werden 3'000 t Gartenabraum direkt ins Kompostierwerk Werdhölzli geliefert. Diese Menge wird bei der Sammlung nicht berücksichtigt.

### Verfahren

Es werden die gleichen Parameter wie in der Variante 0 verwendet. Die der Kehrrichtmenge entzogenen biogenen Abfälle werden für die Ermittlung der wahren Kosten der biogenen Abfälle nicht ersetzt. Damit steigen die proportionalen Fixkosten der in die KHKW eingelieferten Tonnagen. Diese Kosten werden den Varianten mit separater Verwertung der biogenen Abfälle belastet.

### Produkte – Verkauf

Es werden die gleichen Parameter wie in der Variante 0 verwendet. Für das Gärwerk wird angenommen, dass das ganze Biogas, ohne Verluste, als Treibstoffersatz verwendet werden kann.

# Stoffflussbilanz Biogene Abfälle Variante B

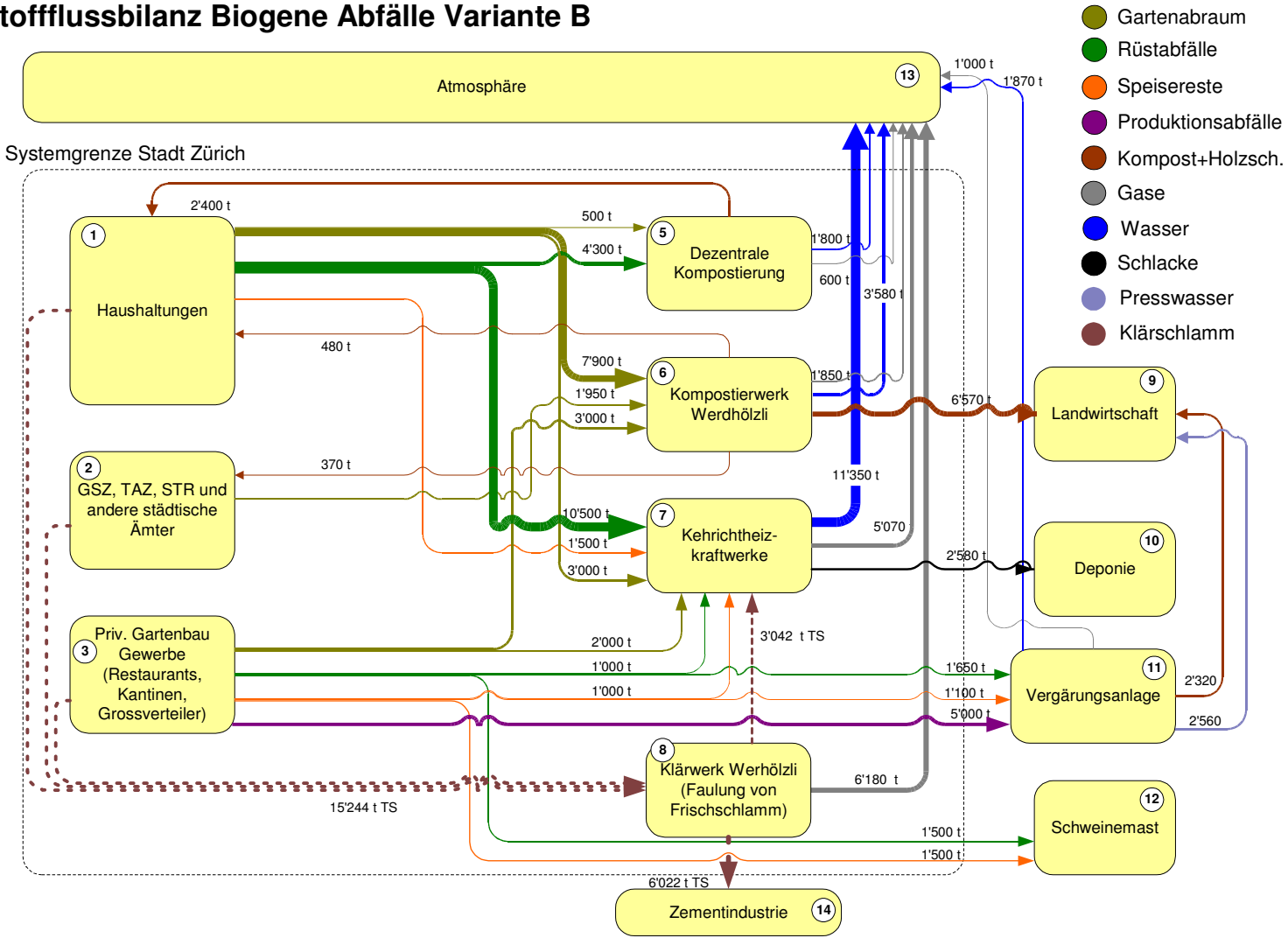


Abbildung 2 Stoffflussbilanz biogene Abfälle Variante B



## 5.5 Ergebnisse Variante C

### Sammlung und Transport

Es werden die gleichen Parameter verwendet wie in den Varianten 0, A und B. Die zusätzlichen, notwendigen Grüncontainer wurden wie folgt berechnet: In der Stadt Zürich gibt es mittelfristig rund 11'000 Containerstandorte (Achtung: nicht Anzahl Container). Es wird davon ausgegangen, dass jeder Containerstandort neu mindestens einen Grüncontainer vorweisen muss. Bei einer Grün-Abfuhr wird hier von einer wöchentlichen Abfuhr ausgegangen. Praktisch zeigt sich, dass in der Innenstadt eine nur wöchentliche Abfuhr nicht zu erreichen ist, nicht einmal beim hygienisch unbedenklicheren Hauskehricht. Diese Annahme ist somit eine Best-Annahme. Die bei Variante 0 ausserhalb der Stadt Zürich der Vergärung zugeführten 5'750 t Küchenabfälle aus Betrieben werden auch in dieser Variante in einer Vergärungsanlage ausserhalb der Stadt Zürich verwertet und die 3'000 t bisher der Tiermast zugeführten Mengen bleiben in diesem Verwertungskanal. Bei der Abfuhr von biogenen Küchenabfällen wird von einer wöchentlichen Abfuhr ausgegangen. Praktisch zeigt sich, dass in der Innenstadt eine nur wöchentliche Abfuhr nicht zu erreichen ist. Diese Annahme ist somit eine Best-Annahme. Damit könnten 4'200 t Rüstabfälle aus dem Züri-Sack einer Vergärung zugeführt werden. Durch die Betriebe werden 3'000 t Gartenabraum direkt ins Kompostierwerk Werdhölzli geliefert. Diese Menge wird bei der Sammlung nicht berücksichtigt.

### Verfahren

Es werden die gleichen Parameter wie in der Variante 0 verwendet. Die der Kehrichtmenge entzogenen biogenen Abfälle werden für die Ermittlung der wahren Kosten der biogenen Abfälle nicht ersetzt. Damit steigen die proportionalen Fixkosten der in die KHKW eingelieferten Tonnagen und werden den biogenen Abfällen belastet.

### Produkte und Verkauf

Die Kosten [ERZ K+K, 2003], die Anzahl Kilometer und der Treibstoffverbrauch [Angaben Transporteure], für die Verwertung des Komposts in der Landwirtschaft, konnten gut erhoben werden. Für das Presswasser wurde angenommen, dass es mit dem gleichen Aufwand wie der Kompost als Dünger in die Landwirtschaft gebracht werden kann. Für das Bio-Gas wird angenommen, dass das gesamte Bio-Gas, ohne Verluste verwertet wird. Um die bestmögliche CO<sub>2</sub>-Bilanz zu erhalten, wird angenommen, dass das ganze Bio-Gas, ohne Verluste, als Treibstoffersatz verwendet wird. Für die KHKW CO<sub>2</sub>-Bilanz wurde angenommen, dass wenn diese Energie nicht zu Verfügung stehen würde, im Rahmen der zentralen, fossilen Nachheizung des Fernwärmenetzes, überwiegend Erdgas (95%) und als Rest Heizöl (5%) verbrannt werden müsste. Für die Schlacke wurde die Transportdistanz zur Schlackendeponie Lufingen angewendet.

### Stoffflussbilanz Biogene Abfälle Variante C

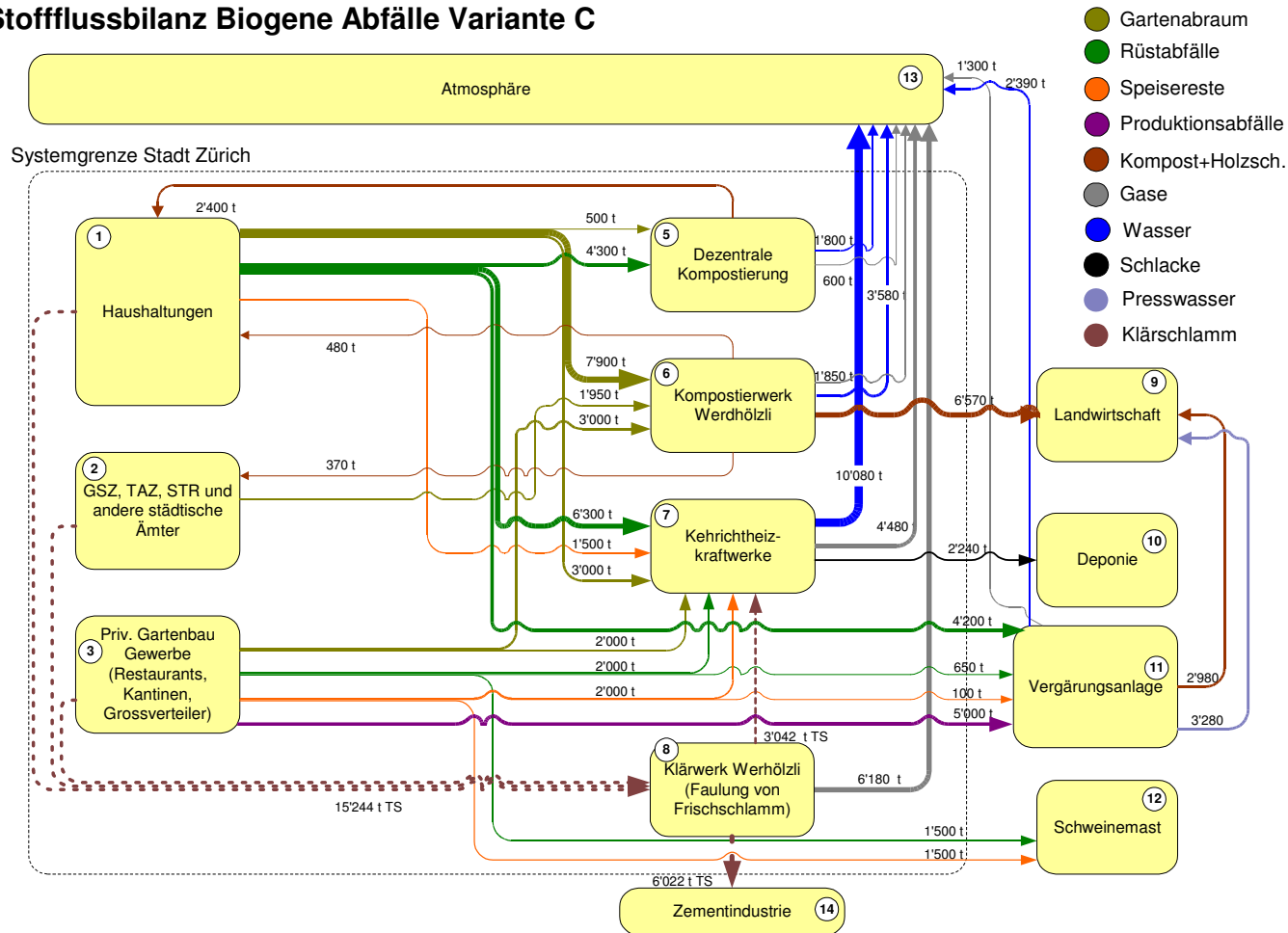


Abbildung 3 Stoffflussbilanz biogene Abfälle Variante C



## 5.6 Variantenvergleich

### Variantenvergleich "Biogene Abfälle"

#### Energie-Verbrauch

-		Variante 0	Variante A	Variante B	Variante C
Sammlung	MWh	1'130	1'087	1'163	1'526
Verfahren	MWh	1'774	2'991	2'035	2'322
<i>Kompostierwerk</i>	MWh	418	-	418	418
<i>Vergärwerk</i>	MWh	315	315	675	1'071
<i>Kombiwerk</i>	MWh	-	1'870	-	-
<i>KHKW</i>	MWh	1'042	806	942	833
Produkt-Verwertung	MWh	-20'897	-20'383	-19'887	-18'775
<i>Kompost/Gärgut</i>	MWh	119	127	129	139
<i>Presswasser</i>	MWh	9	56	20	31
<i>Biogas</i>	MWh	-817	-4'928	-1'752	-2'779
<i>Schlacke</i>	MWh	36	28	32	29
<i>Strom</i>	MWh	-4'053	-3'136	-3'667	-3'242
<i>Wärme</i>	MWh	-16'191	-12'529	-14'649	-12'953
<b>Total</b>	<b>MWh</b>	<b>-17'993</b>	<b>-16'305</b>	<b>-16'689</b>	<b>-14'927</b>

#### CO<sub>2</sub>-Ausstoss

-		Variante 0	Variante A	Variante B	Variante C
Sammlung	t	294	281	303	397
Verfahren	t	100	69	100	100
Produkt-Verwertung	t	-4'847	-4'847	-4'640	-4'413
<i>Kompost/Gärgut</i>	t	31	33	34	36
<i>Presswasser</i>	t	2	14	5	8
<i>Biogas</i>	t	-213	-1'283	-456	-723
<i>Schlacke</i>	t	9	7	8	7
<i>Strom</i>	t	-1'419	-1'098	-1'283	-1'135
<i>Wärme</i>	t	-3'258	-2'521	-2'948	-2'607
<b>Total</b>	<b>t</b>	<b>-4'452</b>	<b>-4'497</b>	<b>-4'237</b>	<b>-3'915</b>

#### Kosten

-		Variante 0	Variante A	Variante B	Variante C
Sammlung	CHF	3'238'750	3'507'250	3'390'750	4'244'749
Verfahren	CHF	5'046'500	5'895'550	5'308'500	5'596'700
<i>Kompostierwerk</i>	CHF	963'750	-	963'750	963'750
<i>Vergärwerk</i>	CHF	229'250	229'250	491'250	779'450
<i>Kombiwerk</i>	CHF	-	1'812'800	-	-
<i>KHKW</i>	CHF	3'853'500	3'853'500	3'853'500	3'853'500
Produkt-Verwertung	CHF	-134'754	-363'535	-170'750	-210'344
<b>Total</b>	<b>CHF</b>	<b>8'150'496</b>	<b>9'039'265</b>	<b>8'528'500</b>	<b>9'631'105</b>

Tabelle 11 Ergebnisse Variantenvergleich



## 6 Ökobilanzierung

Im Bericht wurden die Materialflüsse der biogenen Abfälle der Stadt Zürich von insgesamt 47'400 Tonnen betrachtet. In der Ökobilanz wurden diejenigen Materialflüsse weggelassen, die bei allen Varianten gleich bleiben. Es wurden nur die sich ändernden Materialflüsse mit einbezogen und bewertet. Weggelassen wurden die dezentrale Kompostierung von 4'800 Tonnen, die Schweinemast von 3'000 Tonnen und 4'000 Tonnen aus Gewerbe, Grossküchen und Restaurants, die jetzt schon und bei allen Varianten in eine Gäranlage gelangen. Somit ergibt sich für die Betrachtung der Ökobilanz eine Gesamttonnage von 35'600 Tonnen.

Im Kapitel 6 wird die Kurzfassung der Ökobilanz zu Varianten der Grüngutentsorgung in der Stadt Zürich [Schleiss 2005] wiedergegeben:

Die vorliegende Ökobilanz vergleicht die Umweltauswirkungen der vier Varianten. Als funktionelle Einheit wird die Gesamtmenge an biogenen Abfällen gewählt, die in allen Varianten gleich hoch ist. Die Varianten bestehen aus unterschiedlichen Mengen in den Verfahren Verbrennung, Vergärung und Kompostierung. Als Basis für die Variantenbewertung werden zuerst die verschiedenen Verfahren bewertet.

Das Grüngut wird zu verschiedenen Anteilen mit folgenden Verfahren behandelt:

Verfahren	Abk.
- Offene Kompostierung in gedeckten Rotteboxen und auf offenen Mieten	KO
- Thermophile, einstufige Vergärung mit eingehauster Nachrotte	VN
- Thermophile, einstufige Vergärung mit eingehauster Nachrotte, 50% Methan Reduktion	VN-CH <sub>4</sub> -50%
- Kehrichtverbrennung in einem energetisch optimiertem Kehrichtheizkraftwerk	KHKW
- Zum Vergleich Kehrichtverbrennung mit aktueller Energienutzung	KVA

Bei der Vergärung (VN) wurden in der Regel die Methan-Emissionen von den Messungen (Edelmann, Schleiss, 1999) übernommen. Im Sinne einer Sensitivitätsanalyse wird zusätzlich eine Variante mit um 50% tieferen Methan-Emissionen bilanziert. Dabei handelt es sich um ein Potenzial, das in Zukunft ausgeschöpft werden könnte.

### 6.1 Beschreibung der vier Varianten

Folgende vier Varianten werden untersucht. Sie bestehen jeweils aus unterschiedlichen Verarbeitungsmengen in den oben genannten Verfahren. Das Mengengerüst wird in der Tabelle 1 gezeigt.

- Variante 0: Status Quo = die im Jahr 2004 aktuelle Grüngutbewirtschaftung  
Variante A: Gemeinsame Sammlung von Gartenabraum und Küchenabfällen aus Haushalten und aktuelle Bewirtschaftung der Küchenabfälle von Betrieben  
Variante B: Aktuelle Bewirtschaftung bei der Sammlung von Gartenabraum und Küchenabfällen aus Haushalten, jedoch zusätzliche Sammlung von Grossmengen an Küchenabfällen aus Betrieben  
Variante C: Aktuelle Bewirtschaftung von Gartenabraum und zusätzliche separate Sammlung von Küchenabfällen aus Haushalten zur Vergärung



Falls zusätzlich Grüngut separat gesammelt wird, verändert sich die Zusammensetzung des Restkehrichts, bzw. sinkt die Menge an Restkehricht für das KHKW. Diese Einflüsse sind in der Ökobilanz nicht berücksichtigt worden.

Variante	KO	VN	KHKW	Total
0	12850 t	1750 t	21000 t	35600 t
A	8800 t	10550 t	16250 t	35600 t
B	12850 t	3750 t	19000 t	35600 t
C	12850 t	5950 t	16800 t	35600 t

Tabelle 12 Verarbeitungsmengen pro Verfahren bei den verschiedenen Varianten

Bei allen Varianten wird von einer optimierten Nutzung der Energie in einem Kehrichtheizkraftwerk ausgegangen, welche nicht der aktuell in der Kehrichtverbrennungsanlage installierten Technologie entspricht. Die Einführung dieser neuen Technologie wird im Jahre 2011 in Zürich Hagenholz abgeschlossen sein. Die Resultate haben folglich nur für die Stadt Zürich mit der entsprechenden Energienutzung und dem bestehenden Fernwärmenetz Gültigkeit. Bei der Vergärung wurde das Presswasser vollständig landwirtschaftlich verwertet und zu 100% mit Schleppschlauchverfahren verteilt berechnet. Diese Annahmen reduzieren die Emissionen und diese Ergebnisse gelten nur, wenn diese Bedingungen erfüllt sind.

Hier wird zunächst die direkte Endenergiebilanz der Varianten dargestellt. Als Endenergie werden dabei Strom, Wärme, Brenn- und Treibstoffe bilanziert. Nicht enthalten ist deren Bereitstellungsenergie, die in der eigentlichen Ökobilanz untersucht wird.

In der Summe der vier Varianten fällt auf, dass die Variante 0 per saldo klar den höchsten und Variante C den tiefsten Endenergieertrag erzielt. Variante 0 verzeichnet den tiefsten Aufwand bei Transport und Prozessenergie Vergärung. Gleichzeitig weist sie den höchsten Wärme- und Elektrizitätsertrag aus, beides Produkte des Kehrichtheizkraftwerkes. Logischerweise wird deshalb bei dieser Variante auch am wenigsten Biogas produziert.

### 6.1.1 Sachbilanz

Die funktionelle Einheit wird mit der in einem Jahr in Zürich zu entsorgenden Grüngutmenge definiert. Die dezentral kompostierte Menge wird für alle Varianten gleich angenommen und nicht bilanziert. Die verschiedenen Varianten werden als Gesamtsystem bilanziert und die neben der Entsorgungsfunktion erbrachten Produkte (Energie, Dünger) werden mit Gutschriften von Umweltbelastungen konventioneller Technologien bedacht. Auf die Betrachtung der 3'000 t Speiseabfälle als Schweinefutter wird verzichtet, weil sie in allen Varianten gleich verwertet werden.

Folgende Daten wurden vom Auftraggeber angefordert und bereitgestellt:

- Komplettes Mengengerüst aller vier Varianten in kg bzw. kWh (eingehende Abfallmengen, Produktionsmengen von Wärme, Strom, Kompost etc., ausgehende Abfallmengen zur Deponierung)
- Totale Transportdistanzen, Dieselverbrauch in den Sammelsystemen und Angaben zum Transportmittel
- Beschreibung der relevanten Änderungen bei Prozessparametern für die Kehrichtverbrennung



- Beschreibung der elementaren Abfallzusammensetzung für die Kehrichtverbrennung unter Berücksichtigung der Veränderung durch die verschiedenen Sammelsysteme

Alle Sachbilanzen wurden auf Grundlage der ecoinvent Daten v1.2 (ecoinvent Centre 2005) mit dem Computerprogramm SimaPro (Pré Consultants 2004) erstellt. Im Vergleich zur ersten Version dieses Berichtes wurden also Datengrundlage und Software aktualisiert. Die Bilanzierung der verschiedenen Verfahren stützt sich dabei auf bestehende Ökobilanzen zu Kompostierung, Vergärung, Verbrennung und Transport. Soweit möglich wird eine energieautarke Fahrweise für die Behandlungsverfahren angenommen, d.h. Strom- und Wärmebedarf werden selber erzeugt.

Für die Gutschrift von Strom wird der durchschnittliche westeuropäische Strommix des UCTE Kraftwerkparcs zu Grunde gelegt. Wärme aus dem KHKW für das Fernwärmenetz wird mit einem Mix aus gasbetriebener (95%) und ölbetriebener (5%) Industriefeuerung gutgeschrieben. Das Biogas aus der Vergärung ersetzt Treibstoff in einem dieselbetriebenen Lkw.

Nährstoffe aus Kompost und Presswasser werden mit entsprechender Mineraldünger-Menge gutgeschrieben. Eine Gutschrift für organische Substanz in Kompost und Gärgut erfolgt mit der substituierten Menge an Torf und Stroh.

#### 6.1.2 Bewertung der Sachbilanzdaten

Die berechneten Stoff- und Energieflüsse werden mit verschiedenen Methoden bewertet. Erfasst wird z.B. der Verbrauch an Primärenergieressourcen (fossil, nuklear und Wasserkraft), die Emission von Treibhausgasen (ohne biogene CO<sub>2</sub> Emissionen). Ausserdem werden die vollaggregierenden Methoden Umweltbelastungspunkte und Eco-indicator 99 (H,A) angewendet, die zusätzlich zu den Energieressourcen und der Klimaänderung z.B. folgendende Problembereiche beurteilen: Versauerung und Überdüngung, krebserregende Stoffe, Atemwegserkrankungen, Ökotoxizität, etc.

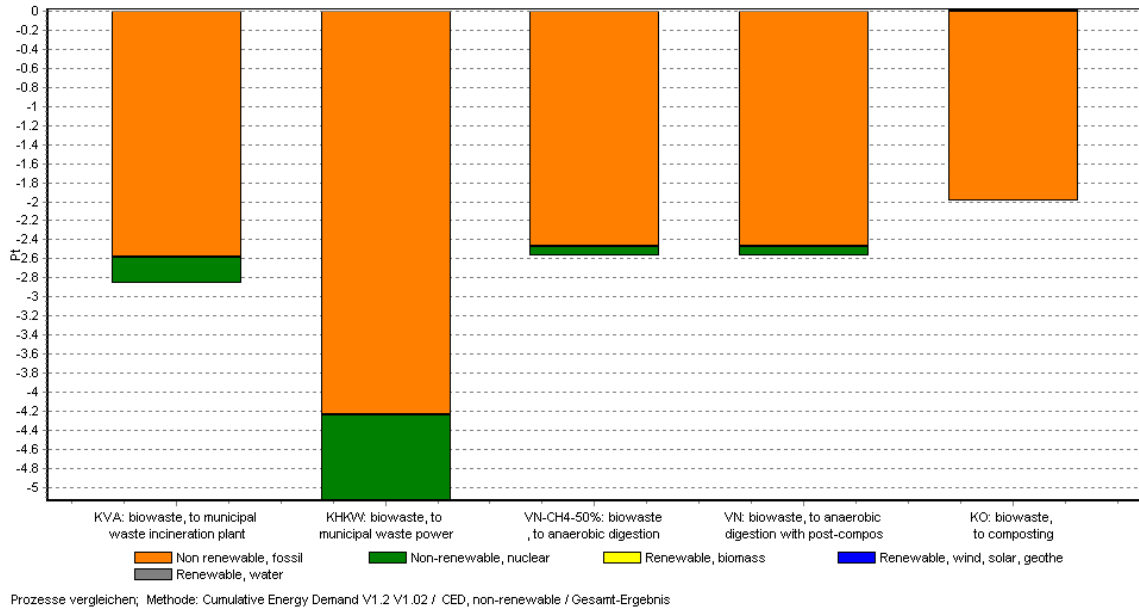
### 6.2 Vergleich der Verfahren

Alle Verfahren erreichen einen Netto-Energiegewinn. Am höchsten ist dieser bei einem zukünftig optimierten Kehrichtheizkraftwerk. Die heutige Kehrichtverbrennungsanlage hat dagegen nur geringe Vorteile im Vergleich mit der Vergärungsanlage. Eine wichtige Rolle spielt hierbei auch die energetische Gutschrift für den substituierten Torf.

Der Vorteil des KHKW bezüglich Primärenergie wird auch aus einer Betrachtung der beim Verbraucher ankommenden Nutzenergie deutlich. Nach den hier vorliegenden Berechnungen wird aus dem KHKW pro kg Grüngut 2.78 MJ Wärme an das Fernwärmenetz abgegeben. Selbst wenn ein schlechter Wirkungsgrad bei der Verteilung von 90% angenommen wird, kommen also noch 2.5 MJ/kg Nutzenergie beim Verbraucher an. Aus der Erzeugung von Biogas, der Verteilung über das Gasnetz und der Verbrennung beim Verbraucher resultiert hingegen nur eine Nutzenergieabgabe von 1.3 MJ pro kg Grüngut, also deutlich weniger als mit dem KHKW. Dies gilt auch bei einer vollständigen Nutzung des Biogases und einer anderweitigen Bereitstellung der für die Vergärung benötigten Prozessenergie (30% des erzeugten Biogases wird als Prozessenergie benötigt). In diesem Fall würden maximal 1.9 MJ Nutzwärme/kg beim Verbraucher ankommen.

Dabei kommt vor allem zum Tragen, dass bei der Verbrennung praktisch die ganze in der Biomasse verfügbare Energie genutzt wird, während bei der Vergärung und Kompostierung nur ein mittlerer Abbau von 55% zu Grunde gelegt wird. Der restliche Kohlenstoff bleibt als organische Substanz in Kompost und Gärgut übrig. Diese organische Substanz wird für den gärtnerischen Absatz mit Torf und für die

landwirtschaftliche Verwertung mit Stroh ersetzt. Aus diesen Gutschriften gibt es auch Energieerträge, weil die Ersatzstoffe hergestellt werden müssen bzw. Torf als fossiler Energieträger gilt.



**Abbildung 4:** Primärenergiegewinn der verschiedenen Verfahren (MJ-eq/kg Grüngut)

Im Vergleich der Treibhausgas-Emissionen zeigen sich Vorteile des KHKW, das netto am meisten Emissionen einspart. Durch eine Reduktion der CH<sub>4</sub> Emissionen um 50% erreicht die Vergärung eine deutlich geringere Belastung beim Klimaänderungspotential. Das Ergebnis der Vergärung beträgt dann ca. zwei Drittel der Gutschrift des heutigen Kehrichtheizkraftwerkes Hagenholz.

Beim Vergleich der Emission krebserregender Stoffe zeigen sich Nachteile der Vergärung und Kompostierung. Wichtig für das Ergebnis sind die Emissionen von Arsen in den Boden beziehungsweise in Gewässer. Einen grossen Vorteil hat die Kompostierung aufgrund der erfolgten hohen Gutschriften für die Vermeidung der Anwendung von Stroh.

Beim Vergleich für Versauerung und Überdüngung schneidet die Kompostierung infolge der Ammoniakemissionen deutlich am schlechtesten ab. Die Vergärung hat hier Vorteile gegenüber der Verbrennung aufgrund der erfolgten Gutschriften für die organische Substanz.

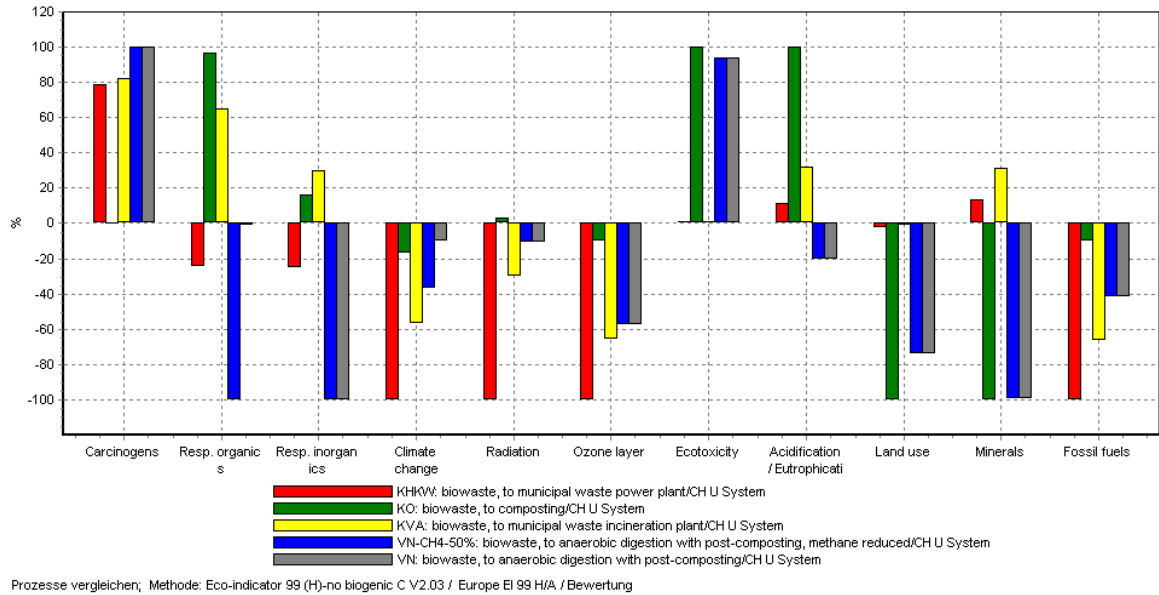


Abbildung 5: Relativer Vergleich der verschiedenen Anlagen mit dem Eco-indicator 99 (H,A)

Für einen Gesamtvergleich mit dem Eco-indicator 99 (H,A) schneidet das KHKW deutlich besser ab als die anderen Verfahren. Wichtig hierfür sind die höheren Energiegutschriften und die Belastungen bei Vergärung und Kompostierung durch Schwermetalle.

In einer weiteren Auswertung werden die besonders unsicheren Kategorien krebserregende Stoffe und Ökotoxizität von der Bewertung ausgenommen, da sie durch die unsichere Bewertung von Schwermetallen dominiert sind. In diesem Fall erhalten die Vergärungsverfahren etwas höhere Gutschriften als die heutige KVA. Klar bleibt aber eine auch im Gesamtbild deutlich günstigere Bewertung des KHKW.

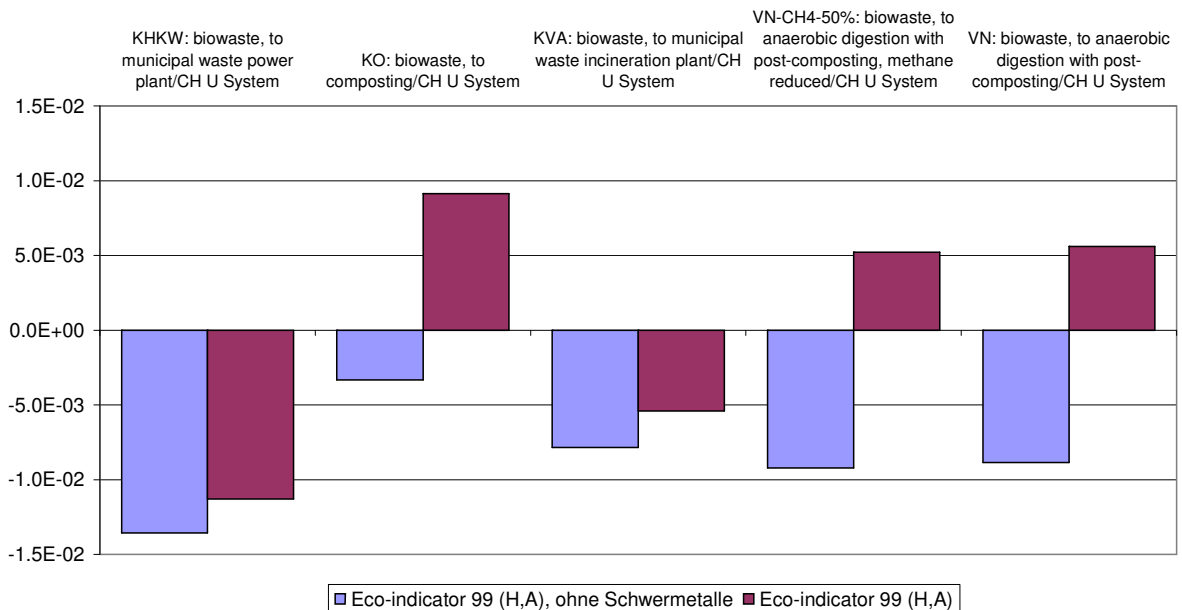


Abbildung 6: Gesamt Vergleich der verschiedenen Verfahren mit dem Eco-indicator 99 (H,A)

Bei der Bewertung mit Umweltbelastungspunkten 1997 schneidet das KHKW am besten ab, gefolgt von der Vergärung, der KVA und der Kompostierung.

Auch hier wurde eine Bewertung unter Ausschluss der Schwermetallemissionen durchgerechnet. Ohne Berücksichtigung der Schwermetalleinträge würde die Vergärung



höhere Gutschriften erzielen als das KHKW und wäre damit das günstigste Verfahren. Folgende Aspekte schlagen bei dieser Bewertungsmethode zu Buche: Die Beanspruchung von Deponieraum für aus der Verbrennung entsorgte Schlacken und Rückstände wird hoch bewertet. Grosse Einsparungen ergeben sich für die Vergärung beim  $\text{NO}_x$  durch den Ersatz von Dieseltreibstoff in Lkw mit Biogastreibstoff aus dem Prozess. Bei der Vergärung mit reduzierten Methanemissionen gibt es beim Klimaänderungspotential noch eine deutliche Gutschrift.

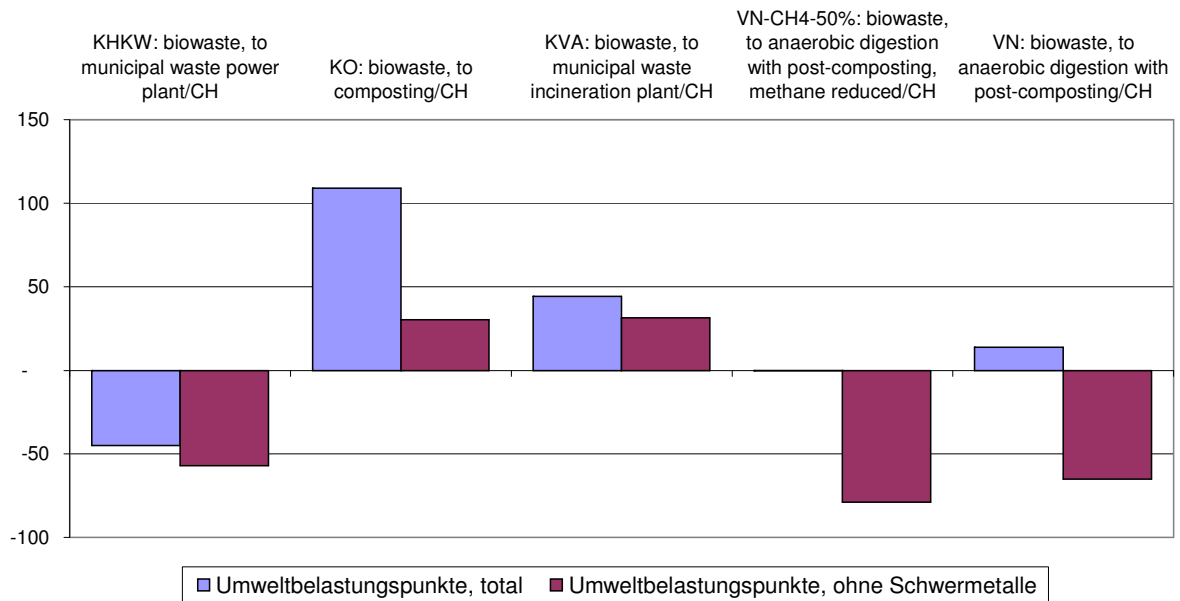
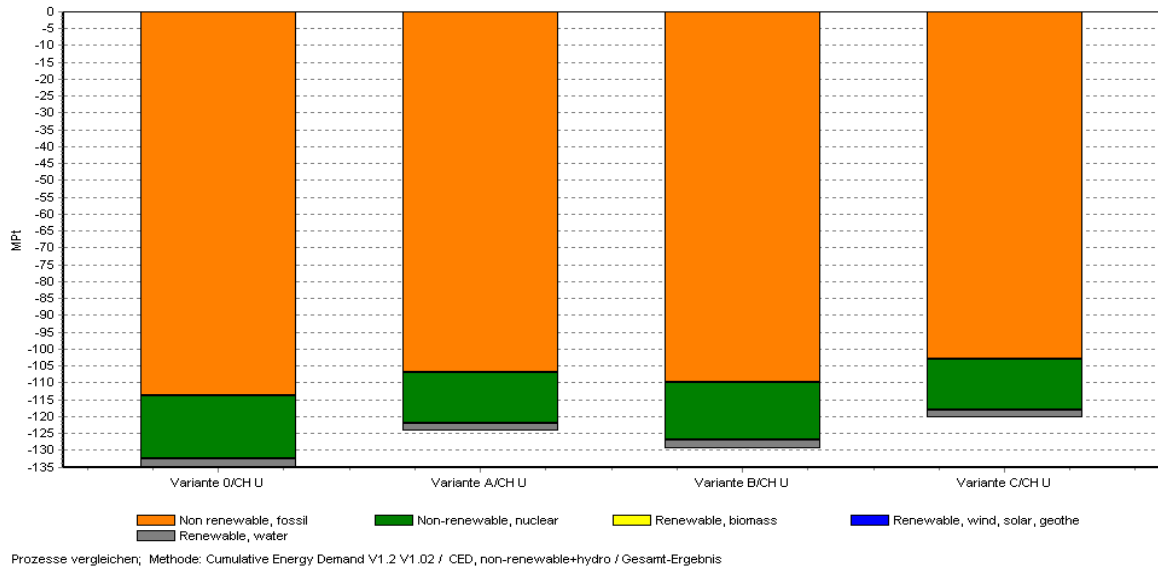


Abbildung 7: Gesamtvergleich der verschiedenen Verfahren mit Umweltbelastungspunkten

### 6.3 Vergleich der Varianten

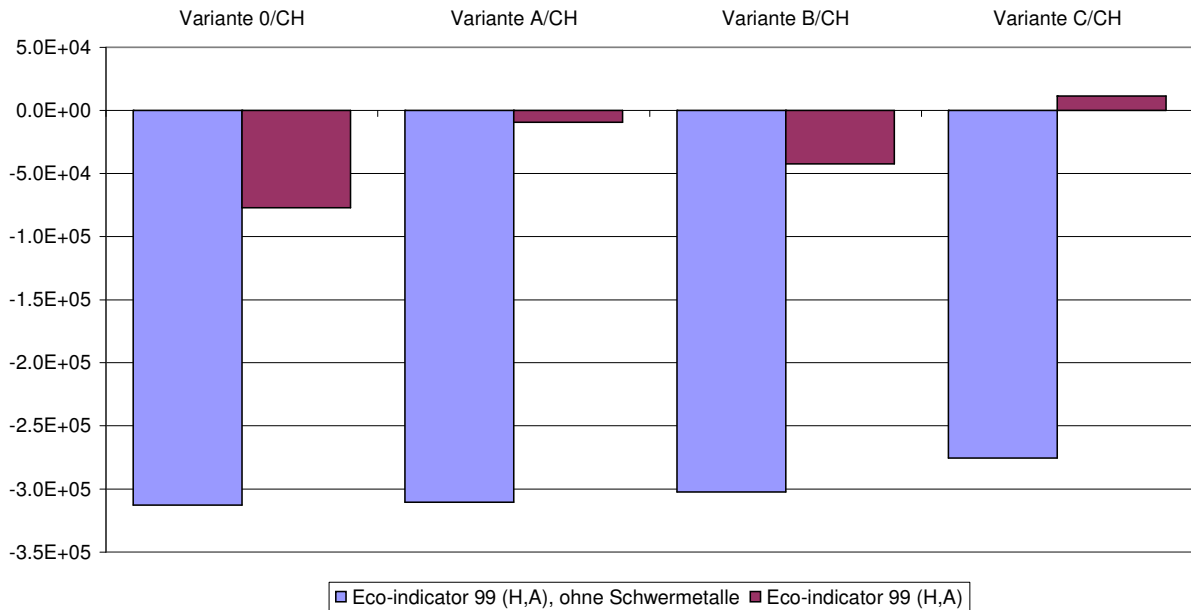
Hier werden die vier Varianten zur Grüngutbewirtschaftung verglichen. Die Varianten bestehen aus unterschiedlichen Anteilen der oben verglichenen Verfahren. Alle Varianten erreichen einen Netto-Energiegewinn. Am besten schneidet die Variante 0 ab.



**Abbildung 8:** Vergleich der Primärenergiebilanz für die Varianten (MJ-eq/Jahr)

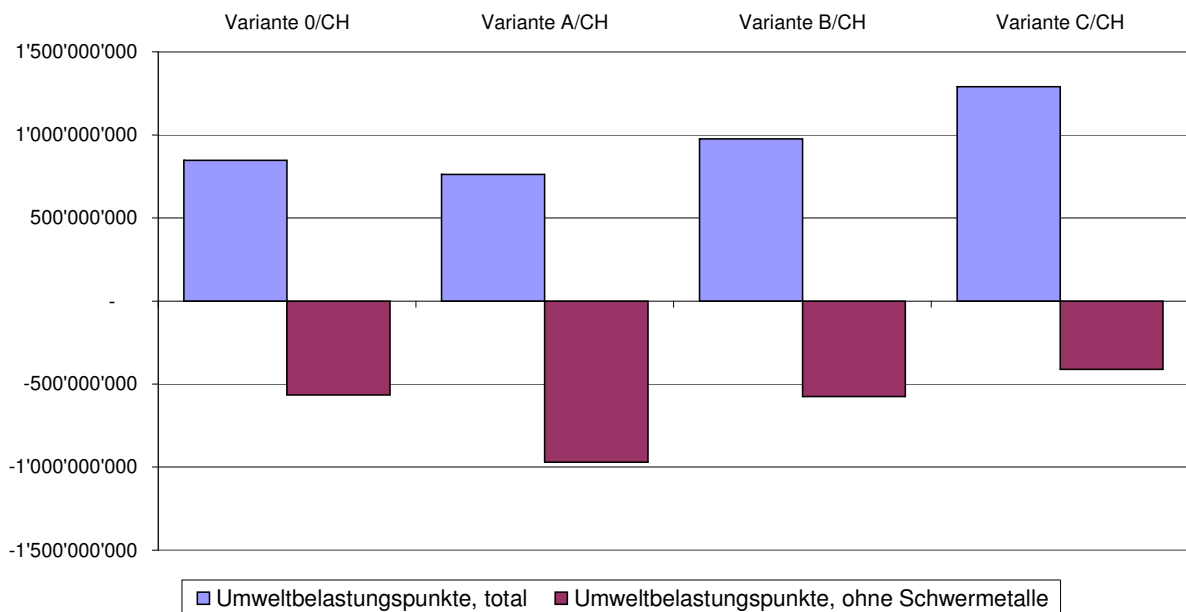
#### 6.3.1 Vollaggregierende Bewertung

Bei einer Gesamtbewertung mit dem Eco-indicator 99 schneidet Variante 0 insbesondere durch die höchsten Energiegutschriften im Total am besten ab. Wird die Bewertung der Schwermetalle, die sehr unsicher ist, ausgeblendet, liegen die Varianten 0, A und B praktisch gleich auf.



**Abbildung 9:** Bewertung der Umweltbelastungen der verschiedenen Varianten mit der Methode Eco-indicator 99 (H, A) (Punkte/Jahr)

Bei einer Gesamtbewertung mit der Methode Umweltbelastungspunkte schneidet Variante A am besten ab. Wichtig hierfür ist vor allem der gegenüber den drei anderen Varianten um mehr als 30% geringere Anteil kompostierter Abfälle. Daraus resultieren unterschiedliche Energieverbräuche sowie tiefere Ammoniakemissionen. Wenn die Schwermetallemissionen aus der Bewertung ausgeklammert werden, verstärken sich die Unterschiede im Ergebnis. In diesem Fall hätte Variante A die höchsten Gutschriften und Variante C schneidet wiederum am schlechtesten ab.



**Abbildung 10:** Bewertung der Umweltbelastungen von den verschiedenen Varianten mit der Methode der ökologischen Knappheit 1997 (Umweltbelastungspunkte/Jahr)



## 6.4 Schlussfolgerungen

### 6.4.1 Vergleich der Verfahren

Der Vergleich der verschiedenen Verfahren ist der Kernpunkt dieser Ökobilanz. Dabei gibt es kein unter allen Umständen eindeutiges Ergebnis. Wesentliche Punkte für den Vergleich sind:

- Der Energieertrag der Verfahren
- Die Wahl der Gutschriften
- Die Bewertung von Schwermetallemissionen
- Die Wahl der Bewertungsmethode
- Die Datengrundlage, die teilweise auf Planungsdaten und nicht auf tatsächlichen Daten beruht.

Die entscheidenden Faktoren für die Beurteilung des energetisch optimierten Kehrtheizkraftwerks (KHKW) sind die sehr hohe Energiegewinnung sowohl von Wärme (eingerechnet als Erdgasersatz) als auch von Strom. Die Verbrennung verwendet praktisch 100% der in der organischen Substanz gespeicherten Energie, während die Vergärung nur 55% davon energetisch nutzt. Das aus Planungsdaten zugrunde gelegte KHKW hat eine rund dreimal so hohe Abgabemenge an Strom und 35% mehr Wärme als die aktuelle KVA im Hagenholz und erhält dafür entsprechende Gutschriften. Hierdurch gibt es hohe Gutschriften, die bei vielen Kriterien zu einem Vorteil des KHKW im Vergleich zur Vergärung führen.

Die biologischen Verfahren (Kompostierung und Vergärung) weisen Emissionen an Methan, Lachgas und Ammoniak<sup>1</sup> auf, die zu Treibhauseffekt und Versauerung beitragen. Gutschriften gibt es wie bisher für die Nährstoffe, die als Mineraldüngeranwendung eingesetzt sind (inklusive Schwermetalleinträge). Sie tragen nur wenig zum Gesamtergebnis bei. Wichtiger sind hingegen die neu berücksichtigten Gutschriften für den Ersatz der organischen Substanz im Kompost in Form von Stroh und Torf als Bodenverbesserer.

Aufgrund der grösseren zu deponierenden Menge und den NO<sub>x</sub>-Emissionen verursacht das KHKW im Vergleich zur Vergärung höhere Umweltbelastungen, wenn die Methode Umweltbelastungspunkte verwendet wird. Die verminderten NO<sub>x</sub>-Emissionen werden durch die für das Biogas sehr günstige Annahme der Substitution eines Diesel-Lkw durch einen Biogas-Lkw verursacht. Dieser Vorteil fiel weg, falls der Biogas-Lkw einen Erdgas-Lkw ersetzen würde. Bei der Bilanzierung der deponierten Abfallmenge wurde keine Optimierung der Schlackenaufbereitung berücksichtigt. Für die KHKW der Stadt Zürich gilt schon jetzt, dass die Schlacken nicht generell deponiert, sondern weitgehend von Metallen enttrachtet und entsprechend den Marktmöglichkeiten wiederverwertet werden sollen.

Ein wichtiges Kriterium für den Gesamtvergleich mit Umweltbelastungspunkten oder Eco-indicator 99 (H,A) ist die Bewertung der Schwermetallemissionen mit ihren grossen Unsicherheiten. Grundsätzlich kann dabei davon ausgegangen werden, dass KHKW und KVA besser dazu geeignet sind, Schwermetalle aus dem Stoffkreislauf herauszunehmen. Sie werden in Deponien konzentriert, während sie bei der Kompostierung und Vergärung grossflächig verteilt werden und somit potenziell und

---

<sup>1</sup> Die Ammoniakemissionen bei der Presswasseranwendung werden durch das in der Ökobilanz zugrundegelegte Schleppschlauchverfahren im Vergleich zum konventionellen Ausbringen stark reduziert.



ohne grosse Zeitverzögerung in die Nahrungskette gelangen können. Die tatsächlichen Gefährdungspotenziale lassen sich aber nur schwer abschätzen.

Der Gesamtvergleich hängt somit auch von den angewandten Bewertungskriterien ab. Werden die Originalmethoden Umweltbelastungspunkte 1997 und Eco-indicator 99 (H,A) angewendet und somit Schwermetallemissionen wie vorgesehen bewertet, schneidet das KHKW eindeutig am besten ab. Die Kompostierung zeigt die höchsten Umweltbelastungen. Vergärung und bestehende KVA liegen dazwischen.

Werden Schwermetalle bei der Bewertung, wie von uns vorgeschlagen, ausgeschlossen, zeigt die Schweizerische Methode Umweltbelastungspunkte dagegen eher Vorteile für die Vergärung. Die europäische Bewertungsmethode Eco-indicator 99 (H,A) favorisiert aber auch dann die Verbrennung im KHKW. Hier kommt es also auf die Wahl der Bewertungsmethode an. Unter Berücksichtigung der für die Bewertung mit UBP gemachten Einschränkungen und der eher kleinen Unterschiede spricht aber auch die Gesamtbewertung ohne Schwermetallemissionen eher für eine Bevorzugung der Verbrennung in einem optimierten KHKW.

Eine genauere Aussage ist in diesem Fall erst möglich, wenn die Planungswerte durch tatsächlich erreichte Praxisdaten ersetzt werden können und über die Ausschöpfung der Optimierungspotentiale (z.B. Energieertrag und Schlackeverwendung des KHKW, NH<sub>3</sub>- und CH<sub>4</sub>-Reduktion bei der Vergärung) Klarheit herrscht.

#### 6.4.2 Vergleich der Varianten

Die vier Varianten bestehen aus unterschiedlichen Verarbeitungsmengen mit den Verfahren KHKW (nicht jetzige KVA), Vergärung, und Kompostierung. In Ergänzung zum Verfahrensvergleich sind unterschiedliche Transportaufwendungen für die Sammlung und zusätzlich benötigte Sammelbehälter berücksichtigt. Sie sind für das Gesamtergebnis von untergeordneter Bedeutung und verursachen tendenziell Nachteile für die Varianten mit getrennten Sammelsystemen.

Beim Vergleich der Varianten gibt es nur geringe Unterschiede und eine eindeutige Aussage ist nicht möglich. Wesentlich für die Bewertung ist der Anteil der verschiedenen Verfahren an der gesamten Grüngutentsorgung.

In der vollaggregierenden Betrachtung inkl. Schwermetalle gibt es mit den Methoden Eco-indicator 99 und UBP 1997 unterschiedliche Gewinner. EI'99 favorisiert Variante 0 vor B vor A. UBP klassiert A vor 0 vor B. Diese Resultate sind eine Folge des bei Variante A deutlich geringeren Anteils Kompostierung und der unterschiedlichen Bewertung der Verfahren KHKW und Vergärung durch EI'99 und UBP. Bei der vollaggregierenden Betrachtung ohne Schwermetalle sind bei EI'99 die Varianten 0, A und B gleichwertig, bei UBP gewinnt Variante A vor den etwa gleich bewerteten 0 und B.

Diese Ergebnisse zeigen deutlich, dass in allen Prozessen und in jedem Verfahren nach Optimierung gestrebt werden muss. Eine abschliessende Beurteilung für die neue KHKW-Technologie lässt sich erst nach den ersten Betriebsjahren ab 2011 vornehmen. Die hier verwendeten Planungswerte zeigen vielversprechende Betriebsergebnisse.

In dieser Ökobilanz wurde für die organische Substanz in Kompost und Gärgut mit Gutschriften gearbeitet. Weil dieses Vorgehen verschiedene Schwachpunkte aufweist, soll eine Arbeitsgruppe unter der Leitung von Jacques Fuchs (FiBL) eine vertiefte Bewertung auf der Basis von Allokationen vornehmen.



## 7 Diskussion, Fazit und Schlussfolgerungen

### 7.1 Diskussion

#### 7.1.1 Energetische Betrachtung

Alle Varianten haben einen positiven energetischen Effekt von 15 GWh bis 18 GWh. Die Unterschiede betragen rund 17%, bezogen auf die energetisch beste Variante. Als beste Variante hat sich Variante 0 ergeben, knapp gleichwertig sind die Varianten A und B. Am schlechtesten schneidet die Variante C ab.

Die energetische Bedeutung der Sammlung ist vergleichsweise gering (5 bis 8% vom Gesamt-Energieeffekt). Der Energieverbrauch für die Sammlung unterscheidet sich bei den Varianten 0, A und B nur unwesentlich. Variante C hat einen Zusatz-Energiebedarf von rund 40%. Dies erklärt sich aus der Tatsache, dass bei Variante A bei der kombinierten Sammlung Synergien mit der bestehenden Gartenabraumabfuhr genutzt werden können. Bei der Variante B erfolgt eine Konzentration auf wenige Sammelpunkte mit grossen Mengen pro Abholort. Beides ist bei der Variante C nicht der Fall.

Der Einfluss des Verfahrens ist rund doppelt so hoch wie jener der Sammlung. Die Unterschiede der einzelnen Varianten betragen rund 70% oder 1.2 GWh. Der Eigen-Energiebedarf der Vergärung ist im Vergleich zum KHKW und der Kompostierung sehr hoch. Die Unterschiede des Energiebedarfes zwischen der Variante 0 und der Variante A im Verfahren erklären zwei Drittel der Differenzen der Gesamt-Energiebilanz.

Die absoluten Werte der Produkt-Verwertung sind für die Energiebilanz am wichtigsten mit rund 115 bis 120%. Die Unterschiede der einzelnen Varianten betragen rund 10% oder 2.1 GWh. Diese rühren daher, dass die Energieverwertung der Biomasse beim KHKW höher ist als bei den anderen Verfahren. Der geringe Unterschied von Variante A zu Variante 0 stammt daher, dass bei der Variante A dank der Kombination eines Kompostier-/Vergärwerkes zusätzlich Biomasse energetisch verwertet wird, welche vorher kompostiert wurde.

#### Sensitivitäten

##### Anteil abtrennbare Bioabfälle aus Züri-Sack

Es zeigt sich folgendes, auf den ersten Blick, kontroverses Bild: Je mehr biogene Abfälle aus dem Züri Sack abgetrennt werden, desto schlechter die Energiebilanz der Varianten. Bei 50% mehr Abtrennung fällt die Energienutzung bei der Variante A um 1'700 MWh ab. Sobald 50% weniger abgetrennt werden, steigt die energetische Ausnützung um ebendiese 1'700 MWh. Das gleiche Bild, aber mit einer Änderung von +/- 1'500 MWh, zeigt sich in der Variante C. Die Resultate sind damit zu erklären, dass einerseits der Eigen-Energieverbrauch und andererseits die Energieausbeute im Kehrlichtheizkraftwerk besser ist als in einem Gärwerk.

##### Anteil abtrennbare Bioabfälle aus Betriebskehricht-Container

Es zeigt sich der gleiche Effekt wie bei der Abtrennung des biogenen Anteil aus den Züri-Säcken. Die Energiebilanz im KHKW ist besser als in einem Gärwerk. Je mehr biogene Abfälle aus den Betriebscontainern dem KHKW entzogen werden, desto schlechter die Gesamt-Energiebilanz.

##### Vergärung bzw. thermische Verwertung von Speiseresten aus Gastrobetrieben statt Verfütterung Vergärung bzw. Verbrennung

Bei der alternativen Entsorgung von Grossküchenabfällen, die bisher in der Schweinemast verwertet werden, in einem KHKW, oder einem Gärwerk, zeigt sich



folgendes Bild: Beide Wege haben einen besserer Energiebilanz. Bei der Verwertung im KHKW resultiert ein positiver Effekt von 2'700 kWh und im Gärwerk von rund 800 kWh.

#### Heizwert Biomasse

Mit geringerem angenommenen Heizwert um -20% werden die Unterschiede zwischen den Varianten bezüglich energetischem Gewinn kleiner. Beim Grundlagenwert von 1390 kWh/t und bei einem höheren Heizwert um +20% (1670 kWh/t) ist die Reihenfolge der Varianten 0 vor B, A und C. Bei einem tiefen Heizwert von 1110 kWh/t ändert sich die Reihenfolge: 0 vor A, B und C.

#### 7.1.2 CO<sub>2</sub>- Bilanz und deren Betrachtung

Alle Varianten haben einen positiven CO<sub>2</sub>-Effekt von 3'900 bis 4'500 t. Die Unterschiede betragen rund 15% bezogen auf die energetisch beste Variante. Als beste Variante hat sich die Variante A ergeben, knapp gleichwertig ist die Variante 0. Die Variante B ist leicht schlechter. Am schlechtesten schneidet die Variante C ab.

Die CO<sub>2</sub>-Bedeutung der Sammlung ist vergleichsweise gering (6-10% vom Gesamtoutput).

Der CO<sub>2</sub> Ausstoss für die Sammlung unterscheidet sich bei den Varianten 0, A und B nur unwesentlich. Die Variante C hat einen Zusatzoutput von rund 40%. Dies erklärt sich aus der Tatsache, dass bei Variante A bei der kombinierten Sammlung Synergien mit der bestehenden Gartenabraumabfuhr genutzt werden können. Bei der Variante B erfolgt eine Konzentration auf wenige Sammelpunkte mit grossen Mengen pro Abholort. Beides ist bei Variante C nicht der Fall.

Der Einfluss des Verfahrens ist in der Gesamtbilanz gering. Die Eigen-Energieverbräuche in der Vergärungsanlage oder im KHKW stammen aus der Prozessenergie und verursachen daher keine CO<sub>2</sub>-Belastung. Sie stehen für die Verwertung nicht zur Verfügung. Bei allen Varianten stammt der CO<sub>2</sub>-Ausstoss im Verfahren aus dem Einkauf von fossilen Treibstoffen für das Kompostierwerk.

Die absoluten Werte der Produkte-Verwertung sind für die CO<sub>2</sub>-Bilanz am gewichtigsten mit rund 100 bis 110%. Die Unterschiede der einzelnen Varianten betragen rund 10% oder 430 Tonnen. Diese Unterschiede haben zwei Ursachen: Zum einen ist die Energieverwertung der Biomasse im erneuerten KHKW Hagenholz höher als bei den anderen Verfahren und zum anderen wird mit der gewonnenen Energie beim KHKW Gas, bei der Vergärung aber Treibstoff substituiert. Treibstoff hat einen rund 30% höheren spezifischen CO<sub>2</sub>-Ausstoss. Das KHKW produziert ausdem noch Elektrizität, die den UCTPE- Strommix ersetzt. Der Gleichstand von Variante 0 zu Variante A ist zufällig und setzt sich aus verschiedenen Komponenten zusammen.

#### Sensitivitäten

##### Anteil abtrennbare Bioabfälle aus Züri-Sack

Es zeigt sich das gleiche Bild wie in der energetische Auswertung: Je mehr biogene Abfälle aus dem Züri-Sack abgetrennt werden, desto schlechter die CO<sub>2</sub>- Bilanz der Varianten A und C. Bei 50% mehr Abtrennung fällt die CO<sub>2</sub>- Bilanz bei der Variante A um 280 Tonnen ab. Sobald 50 % weniger abgetrennt werden steigt die CO<sub>2</sub>- Bilanz um ebenso 280 Tonnen. Das gleiche Bild, aber mit einer Änderung von +/- 260 Tonnen zeigt sich in der Variante C. Die Resultate sind damit zu erklären, dass die Energieausbeute im erneuerten Kehrlichtheizkraftwerk Hagenholz höher ist als in einem Gärwerk ist und dadurch eine grössere CO<sub>2</sub> Gutschrift für die substituierte Energie resultiert.

##### Anteil abtrennbare Bioabfälle aus Betriebskehricht-Container



Es zeigt sich der gleiche Effekt wie bei der Abtrennung von biogenen Anteil aus den Züri-Säcken. Die CO<sub>2</sub>- Bilanz im KHKW ist besser als in einem Gärwerk. Je mehr biogene Abfälle aus den Betriebscontainern dem KHKW entzogen werden, desto schlechter die Gesamt- CO<sub>2</sub>- Bilanz.

Vergärung bzw. thermische Verwertung von Speiseresten aus Gastrobetrieben statt deren Verfütterung in der Schweinemast.  
Beide Wege ergeben eine besserer CO<sub>2</sub>- Bilanz. Bei der Verwertung im KHKW resultiert ein positiver Effekt von 650 Tonnen und im Gärwerk von rund 340 Tonnen.

#### Heizwert Biomasse

Die Variante 0 reagiert am sensibelsten auf eine Änderung des Heizwertes um  $\pm 20\%$ . Beim Grundlagenwert von 1390 kWh/t sind die Varianten 0 und A praktisch gleichwertig. Bei einem tiefen Heizwert von 1110 kWh/t wird die Variante A um 7% besser als die Variante 0. Bei einem höheren Heizwert (1670 kWh/t) schneidet Variante 0 am besten ab, um 3% besser als Variante A.

### 7.1.3 Ökonomische Betrachtung

Alle Varianten verursachen Kosten. Die Spanne der jährlichen Kosten liegt zwischen 8.15 Mio. und 9.63 Mio. Franken. Als günstigste Variante hat sich Variante 0 ergeben, gefolgt von den Varianten B, A und C. Der Hauptteil der Differenzen stammt aus den Kostenunterschieden der einzelnen Verfahren (Mehrkosten von 850'000.- CHF bei der Variante A) und der Sammlung (Mehrkosten von 1'000'000.- CHF bei der Variante C).

Die Kostenrelevanz der Sammlung ist vergleichsweise gross. Im Vergleich zur Variante 0 mit den geringsten Sammelkosten sind die Mehrkosten der Varianten B (Konzentration auf wenige Standorte mit grossen Mengen) und der Variante A (Synergien der kombinierten Sammlung) relativ gering. Bedeutend grössere Mehrkosten weist die Variante C (getrennte Sammlung, viele Abholpunkte mit kleinen Mengen) auf.

Die Kosten des Verfahrens sind sehr hoch (ca. 60-70 % der Gesamtkosten). Die Mehrkosten gegenüber der Variante 0 betragen zwischen 250'000.- CHF (Variante B) und 850'000.- CHF (Variante A). Hauptursache für die Mehrkosten ist die getroffene Annahme, dass für die dem Kehrprozess entzogenen Biomassenmengen die entgangenen Einliefergebühren den betreffenden Varianten angelastet werden. Dadurch werden beispielsweise der Variante A Zusatzkosten von 870'000.- CHF belastet. Ausserdem ist die Behandlung der Biomasse im Vergärwerk rund 38 bis 57 CHF/t teurer als im Kompostierwerk.

Die Bedeutung der Erlöse aus der Produkte-Verwertung ist gemessen an den Gesamtkosten gering (135'000.- CHF aus der Variante 0 bis 365'000.- CHF aus der Variante A). Der Hauptteil der Erlöse stammt aus dem Energieverkauf. Für die Verwertung der anderen Produkte (Kompost, Gärgut, Presswasser, Rückstände aus KHKW) entstehen mehr Kosten als Erlöse. Die Erlöse aus der Biogasverwertung wurden für den energetisch optimalen Weg der Treibstoffsubstitution berechnet.

#### Sensivitäten

##### Anteil abtrennbare Bioabfälle aus Züri-Sack

Es zeigt sich ein ähnliches Bild wie in der energetischen und CO<sub>2</sub> Auswertung: Je mehr biogene Abfälle aus dem Züri Sack abgetrennt werden, desto höher die Kosten in den Varianten A und C. Bei 50% mehr Abtrennung steigen die Kosten bei der Variante A um 410'00 CHF. Sobald 50 % weniger abgetrennt werden sinken die Kosten um 410'000 CHF. Zur Kostensteigerung bei einem höheren Anteil abgetrennter biogenen Abfällen



tragen die höheren Sammelkosten (+ 110'000 CHF) und höhere Verfahrenskosten (+ 340'000 CHF, vor allem Belastung der fehlenden Einnahmen) bei. Den gegenteiligen Effekt erreicht ein Mehrerlös bei der Produkteverwertung von 50'000 CHF. Das gleiche Bild, aber mit einer Änderung von +/- 330'000 CHF zeigt sich in der Variante C.

**Anteil abtrennbare Bioabfälle aus Betriebskehrich-Container**

Je mehr biogene Abfälle aus den Betriebscontainer abgetrennt werden, desto höher die Kosten in der Variante B. Bei 50% mehr Abtrennung steigen die Kosten um 60'000 CHF. Sobald 50 % weniger abgetrennt werden sinken die Kosten um 60'000 CHF. Zur Kostensteigerung bei einem höheren Anteil abgetrennter biogenen Abfälle tragen die höheren Verfahrenskosten (+ 130'000 CHF, vor allem Belastung der fehlenden Einnahmen) bei. Den gegenteiligen Effekt erreichen geringere Sammelkosten von 50'000 CHF

**Vergärung bzw. thermische Verwertung von Speiseresten aus Gastrobetrieben anstatt deren Verfütterung in der Schweinemast.**

Beide Wege haben höhere Kosten für die Stadt Zürich zur Folge. Systembedingt schlagen bei der Verwertung im KHKW 730'000 CHF zu Buche, bei der Vergärung 510'000 CHF. Die Vergütung der Energieverwertung ist bei dem momentan herrschenden Preisniveau vernachlässigbar.

**Sammelkosten**

Bei einer Variation der Sammelkosten von Gartenabraum, kombinierte Sammlung von Gartenabraum und Küchenabfällen oder der Separatsammlung von Küchenabfällen um +/- 50% zeigt sich folgendes Ergebnis: Die Variante 0 ist nach wie vor die Kostengünstigste Variante, die Differenz schwankt um +/- 710'000 CHF. Variante A schwankt um +/- 850'000 CHF, die Variante B um +/- 710'000 CHF und die Variante C um +/- 980'000 CHF.

**Heizwert Biomasse**

Eine Änderung des Heizwertes um  $\pm 20\%$  hat nur einen geringen Einfluss auf die Kosten und praktisch keinen Einfluss auf das Verhältnis der Varianten untereinander.

#### 7.1.4 Ökologische Betrachtung

**Verfahrensvergleich**

**Einsparung von Primärenergie**

Das neue Kehrichtheizkraftwerk zeigt sich klar als beste Variante. Ein Kehrichtheizkraftwerk mit durchschnittlicher Energieeffizienz folgt auf Platz 2. Mit rund 50% weniger biogenen Abfällen folgt die Vergärung und mit rund 40% folgt das Kompostwerk. Dabei kommt zum Tragen, dass in einem Kehrichtheizkraftwerk die ganze biogene Masse zu Energie umgewandelt wird und bei einem Gärwerk rund die Hälfte.

**Organisches Material**

Beim Kompostieren und beim Vergären gelangt organisches Material wieder in den Kreislauf. Es ersetzt Dünger und unterstützt die Bodenfruchtbarkeit. Bei einem Kehrichtheizkraftwerk entfällt dieser positive Effekt.

**Treibhausgas Emissionen**

Die Vorteile liegen klar auf Seiten der Kehrichtheizkraftwerke. Auch mit einer 50% reduzierten Methanemission in einem Gärwerk, liegt das Ergebnis der Vergärung bei rund 40% eines modernen Kehrichtheizkraftwerkes.



#### Emission krebserregender Stoffe

Hier zeigen sich klar die Nachteile der Vergärung und der Kompostierung. Die Kehrichtheizkraftwerke schneiden rund 20% besser ab

#### Gesamtauswertung

In der Gesamtauswertung (Eco- indicator 99) liegt das erneuerte Kehrichtheizkraftwerk an erster Stelle, gefolgt von den Gärwerken die Rund 2/3 der Gutschriften bekommen. Das gleiche Resultat ergibt sich beim Weglassen der unsicheren Bewertung von Schwermetallen.

Die Methode der Umweltbelastungspunkte (UBP 97) kommt zum gleichen Ergebnis: ein optimiertes Kehrichtheizkraftwerk ist das die Umwelt am wenigsten belastende Verfahren. Nur unter Weglassung der Schwermetallbetrachtung schneidet eine leicht optimierte Vergärung besser ab.

#### Variantenvergleich

Bei der Gesamtauswertung (Eco- indicator 99) liegt die Variante 0 (Status Quo) an erster Stelle, gefolgt von der Variante A, B und C. Auch beim Weglassen der Schwermetallbetrachtung ändert sich die Reihenfolge nur zwischen der Variante A und B. Bei einer Auswertung mittels Umweltbelastungspunkten (UBP 97) liegt die Variante A an erster Stelle, gefolgt von der Variante 0, B und C.



## 7.2 Fazit und Schlussfolgerungen

- Bereits heute werden 47'400 Tonnen biogene Abfälle aus der Stadt Zürich verwertet. Davon werden 21'000 Tonnen energetisch in den KHKW, 5'750 Tonnen energetisch und stofflich in Vergärungsanlagen und 17'650 Tonnen stofflich durch Kompostierung verwertet. Weitere 3'000 Tonnen werden der Schweinemast zugeführt. Damit werden 26'750 Tonnen oder 56% der Gesamtmenge energetisch verwertet.
- Biogene Abfälle können im KHKW energetisch verwertet werden. Durch die gute energetische Ausbeute in den Anlagen der Stadt Zürich (Wirkungsgrad, Abwärmenutzung im Fernwärmenetz, Stromerzeugung) ist die energetische Ausnutzung besser als in einer durchschnittlichen KVA und besser als in einem Gärwerk.
- Bei der Verbrennung der Biomasse werden 100% des organischen Anteils in Energie umgewandelt, während bei der Vergärung nur ca. 50% des organischen Anteils der energetischen Nutzung zugänglich werden. Die restlichen 50% fallen als stofflich verwertbares Gärgut an.
- Alle untersuchten Varianten sind energetisch schlechter als der Ist-Zustand, die Unterschiede gegenüber dem Gesamtnutzen sind allerdings gering.
- Die biogenen Abfälle sind unabhängig vom Verwertungsverfahren CO<sub>2</sub>-neutral. Unterschiede in der CO<sub>2</sub>-Bilanz der Varianten ergeben sich durch unterschiedlichen Sammelaufwand sowie unterschiedliche Produkte und deren Verwertung.
- Bei Betrachtung der CO<sub>2</sub>-Bilanz ist die Variante "gemeinsame Sammlung von Gartenabraum und Küchenabfällen mit Behandlung in einem kombinierten Kompostier- und Vergärwerk" leicht besser als der Ist-Zustand. Die Unterschiede gegenüber dem Gesamtnutzen sind gering.
- Unter den getroffenen betriebswirtschaftlichen Annahmen haben alle untersuchten Varianten höhere Kosten zur Folge als der Ist-Zustand. Die jährlichen Mehrkosten gegenüber den Ist-Kosten betragen zwischen 400'000.- CHF und 1'500'000.- CHF (oder zwischen 5 und 20%).
- Das sich in Erneuerung befindliche Kehrlichtheizkraftwerk ist gesamtökologisch gesehen im Vorteil gegenüber einem optimierten Gärwerk.
- Bei den Varianten liegen die Varianten 0 und A ökologisch in etwa gleich auf. Dies ist dem Umstand zuzusprechen, dass bei der Variante A Material, welches jetzt kompostiert wird, vergärt werden kann.
- Aufgrund der Gesamtergebnisse dieser energetischen, CO<sub>2</sub>-bilanztechnischen, ökonomischen und ökologischen Untersuchungen der verschiedenen Verfahren und Varianten resultieren bei einer getrennten Sammlung von biogenen Abfällen aus den Haushalten der Stadt Zürich keine Vorteile.



## 8 Literaturliste

- ATAL, 1997 Kompost und Energie aus biogenen Siedlungsabfällen; Amt für technische Anlagen und Lufthygiene und Amt für Gewässerschutz und Wasserbau Zürich
- AWEL, 2002 Kompostier- und Vergärungsanlagen im Kanton Zürich, Jahresberichte 2001 und 2002
- AWEL, 2004 Kompostier- und Vergärungsanlagen im Kanton Zürich, Jahresberichte 2003 und 2004
- AWZ Kompostierberatung, 1997  
BFE 2001 Supplément August 1997 AWZ  
Vergärung von Biomasse: Auswirkungen auf die Abfallwirtschaft des Kantons Tessin, EBP, Oktober 2001
- Bircher et.al., 2000 Nachhaltiger Umgang mit Grüngut im Siedlungsgebiet, Universität Zürich
- Brand et.al., 2004 Telefonische Auskunft K. Müller AG und andere privater Transportunternehmer
- Brand, 2004 Telefonische Auskunft K. Müller AG  
BAfU, 1993 Schriftenreihe Umwelt Nr. 248, Abfall, Zusammensetzung der Siedlungsabfälle in der Schweiz, 1992/93
- Edelmann und Schleiss, 2001 Ökologischer, energetischer und ökonomischer Vergleich von Vergärung, Kompostierung und Verbrennung fester biogener Abfälle, ausgearbeitet durch Arbeitsgemeinschaft Bioenergie, arbi, Baar, und Umwelt- und Kompostberatung Schleiss, Baar, im Auftrag von BFE und BAfU
- ERZ, 2002 ERZ Geschäftsbericht 2002
- ERZ ELOG, 2003 interne Betriebsdaten
- ERZ K+K, 1995-2003 interne Betriebsdaten
- ERZ K+K, 2002 interne Betriebsdaten
- ERZ K+K, 2003 interne Betriebsdaten
- ERZ K+K, 2004 interne Betriebsdaten
- ERZ KHKW Angaben aus ERZ, Engineering KHKW
- ERZ KHKW, 2003 interne Betriebsdaten
- ERZ KHKW, 2004a Schätzungen, Produkte + Verkauf
- ERZ KHKW, 2004b Tel. durchgeführter Städtevergleich, Produkte + Verkauf
- ERZ Kompostierberatung, 2000 Standortbestimmung der dezentralen Kompostierung im Jahre 2000
- ERZ Kompostierberatung, 2004 Schätzungen
- Estermann, 2005 Tel. Auskunft, Herr Estermann, Leiter M7
- Euwid, 2004 Punkteprogramm, Genossenschaftsbund Migros  
Euwid, Recycling und Entsorgung,  
Re Nr. 9 v. 24.2. 2004
- FAC, 1993 Hinweise zur Kompostanwendung,  
Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene
- FAC, 1995 Kompost und Klärschlamm. Weisungen und Empfehlungen der Eidg. Forschungsanstalt für



Fischer, 2005	Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC) im Bereich der Abfalldünger Telefonische Auskunft Herr Fischer, Verantwortlicher für die Grünabfuhr bei der Stadt Winterthur
Frischknecht und Barton, 2004	Telefonische Auskunft Migros und Coop
Gemeinderat von Zürich, 1997	GR Nr. 97/287 v. 9.7.1997
Kettler, 2005	Telefonische Auskunft Rolf Kettler, BAfU, 27. Mai 2005
Lemann, 2004	Heizwertberechnungen, Abfall- Verfahren- Umweltechnik (AVUT), 2004
Marty, 2004	Telefonische Auskunft, Verband der Küchenabfallverwerter
Müller, 1994	Kompost biologisch!, Kompost und Energie; Alfred Müller AG, Baar; 1994
Schleiss, 2004a	Telefonische Auskunft, Angaben und Schätzungen im Februar 2004
Schleiss, 2004b	Mündliche Auskunft an ERZ K+K im August 2004
Schleiss et.al., 2005	Ökobilanz zu Varianten der Grüngutentsorgung in der Stadt Zürich, im Auftrag von ERZ
Stadtrat, 2000	Auszug aus dem Protokoll des Stadtrates von Zürich, vom 17. Mai 2000
Statistik Stadt Zürich, 2003	Statistisches Jahrbuch 2003
Statistik Stadt Zürich, 2005	Analysen 1 / 2005
Steiger, 2003	Schriftenreihe Umwelt Nr. 356, Abfall, Erhebung der Kehrrechtzusammensetzung 2001/02, BAfU
Steinfeldt et.al., 2002	Ökonomische Bewertung von Systemen zur Verwertung von biologisch-organischen Abfällen; Schriftenreihe des IÖW
StoV. 1992	Stoffverordnung, Verordnung über Umweltgefährdende Stoffe vom 9. Juni 1986
Utiger, 2004	Auskunft auf e-Mail Anfrage, VEGAS, Vergärungsanlage Seeland AG, Aarberg
VKS/AWEL, 2002	Kompostnutzen ein Plausibilitäts-Check, UC Uebersax Consulting
VSK-Richtlinie, 2001	Qualitätseigenschaften von Komposten und Gärgut aus der Grüngutbewirtschaftung; VKS-Richtlinie; 2001
Wagner, 2004	Mündliche Auskunft, AWEL
Wehrli, 2003	Wehrli M.; Vergleich Kompostierwerk Werdhölzli mit sieben anderen Anlagen; ERZ; 2003
Wolfisberg, 2001	Tel. Auskunft Firma Ricoter Erdaufbereitung AG, Aarberg/Frauenfeld; an Roman Zangerle und Adrian Aebersold, ERZ; Markt für Torfersatz- und Erdersatzprodukte im Grossraum Zürich
Zenger 2002:	Zusammensetzung der Siedlungsabfälle aus Kommunalabfuhr, CSD Ingenieure und Geologen AG, im Auftrag des AWEL
Zenger, 2004	Telefonische Auskunft
Ziegler, 2004	Zürcher Kompost aus Sicht der Abnehmer, ETH Zürich



Weitere Literatur, nicht direkt im Bericht vermerkt:

- ERZ Kompostierberatung, 2000: Standortbestimmung der dezentralen Kompostierung im Jahre 2000
- GUD, 2003: Umweltbericht Stadt Zürich
- Hupe et.al., 2004: Biologische Bioabfallverwertung: Kompostierung kontra Vergärung; Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, [www.ifas-hamburg.de](http://www.ifas-hamburg.de)
- Schleiss, 2002: Dr. Konrad Schleiss, Kompostvermarktung in der Schweiz, im Auftrag des BAfU, Januar 2002
- Strässle, 2002: Vergären statt Kompostieren; Umwelt Focus