

Forschungs- und P+D-Programm Biomasse	Programme de recherche et p+d Biomasse	Bundesamt für Energie BFE Office fédéral de l'énergie OFEN
--	---	---

# **Vergärung von Biomasse: Auswirkungen auf die Abfallwirtschaft des Kantons Tessin**

**Eine Fallstudie**

Projekt Nr.: 42840 Vertrag Nr.: 82769

Ausgearbeitet durch

**Ernst Basler + Partner AG**

Im Auftrag des  
**Bundesamtes für Energie**

Schlussbericht Oktober 2001



**Auftraggeber:**

Forschungs- und P+D Programm Biomasse des  
Bundesamtes für Energie

**Auftragnehmer:**

Ernst Basler + Partner AG  
Zollikerstrasse 65  
8702 Zollikon

**Autoren:**

Dr. Guido Beltrani  
Hans-Christian Angele  
Dr. Oliver Schelske  
Marc Cavigelli

Dieses Dokument ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie erarbeitet worden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist alleine der/die Autor/in/en verantwortlich.

**Bundesamt für Energie BFE**

Worblentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen • Postadresse: CH-3003 Bern  
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 • office@bfe.admin.ch • www.admin.ch/bfe

Vertrieb:

ENET  
Egnacherstrasse 69 · CH-9320 Arbon  
Tel. 071 440 02 55 · Tel. 021 312 05 55 · Fax 071 440 02 56  
enet@temas.ch · www.energieforschung.ch · www.energie-schweiz.ch

# **Inhaltsverzeichnis**

1	Fragestellung und Abgrenzungen .....	1
1.1	Fragestellung .....	1
1.2	Abgrenzungen.....	1
2	Daten und Grundlagen .....	2
2.1	Die Abfallwirtschaft des Kantons Tessin .....	2
2.2	Vergärung von Biomasse in der Schweiz .....	7
3	Szenarien für die Abfallwirtschaft des Kantons Tessin.....	9
3.1	Szenario 1: Verbrennung und Kompostierung.....	9
3.2	Szenario 2: Verbrennung, Vergärung und Kompostierung .....	10
3.3	Übersicht .....	12
4	Ökonomische und ökologische Bewertung der Szenarien.....	13
4.1	Wirtschaftlicher Vergleich .....	14
4.2	CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	18
4.3	Fazit .....	26
5	Literatur.....	27

## **Anhänge**

- A1 RomOpur (VO) und Kompogas (VN): Kostensenkungen durch Verbesserungen in Technik u.a.
- A2 Daten und Berechnungen zu den klimawirksamen CO<sub>2</sub>-Emissionen
- A3 Kontaktierte Experten

# 1 Fragestellung und Abgrenzungen

## 1.1 Fragestellung

Die Vergärung ist eine vielversprechende Möglichkeit für die energetische Verwertung von biogenen Abfällen. Auf Grund verschiedener Hemmnisse wird jedoch heute nur ein Bruchteil der biogenen Abfälle vergärt. Ein wesentliches Hindernis liegt daran, dass die Vergärung im Vergleich zu anderen Alternativen wie die Kompostierung einen niedrigeren Bekanntheitsgrad aufweist. Aus diesem Grund hat das Bundesamt für Energie der Biomasse im Rahmen des Programmes Energie Schweiz einen grösseren Stellenwert zugeordnet.

Als Unterstützung zu den vorgesehenen Marketing-Anstrengungen sollen auch Grundlagen erarbeitet werden, die das ökonomische und ökologische Potenzial der Vergärung realistisch abschätzen. Die vorliegende Studie soll dazu dienen, die ökonomischen und ökologischen Auswirkungen einer (hypothetischen) verbreiteten Verwertung der kompostierbaren Abfälle durch Vergärung auf die Abfallwirtschaft einer bestimmten Region grob abzuschätzen.

Als Musterregion für die Fallstudie wurde der Kanton Tessin ausgewählt. Dafür gibt es zwei Hauptgründe: Einerseits wird zur Zeit die Vergärung im Tessin gar nicht praktiziert, zum anderen verfügt der Kanton noch über keine eigene Kehrichtverbrennungsanlage (KVA). Der Bau einer KVA wird zur Zeit geplant. Unter diesen Bedingungen ist es besonders interessant, die möglichen Auswirkungen einer starken Ausbreitung der Vergärung zu untersuchen, weil dies theoretisch auch einen Einfluss auf die Dimensionierung der KVA haben könnte. Dabei sind diese Überlegungen nur als Fallbeispiel aufzufassen. Es geht also gar nicht darum, dem Kanton Tessin vorzuschreiben, wie seine Abfälle zu behandeln sind.

## 1.2 Abgrenzungen

Diese Studie wird mit einem kleinen Budget und in kurzer Zeit realisiert. Es geht also hier nicht darum, exakte Daten zu liefern und Alternativen sorgfältig zu bewerten, sondern neue Möglichkeiten aufzuzeigen und zur Diskussion zu stellen.

In der Analyse werden als Abfallfraktionen der eingesammelte Kehricht und die biogenen Abfälle betrachtet. Als Teilfraktionen der biogenen Abfälle werden nur Grüngut (bzw. Gartenschnitt) und Küchenabfälle erfasst. Andere biogene Abfallfraktionen wie Papier, Karton, und Holz werden nicht berücksichtigt.

## 2 Daten und Grundlagen

### 2.1 Die Abfallwirtschaft des Kantons Tessin

#### 2.1.1 Mengen, Kosten und Finanzierung

In der folgenden Tabelle werden die wesentlichen Daten über aktuelle Mengen und Kosten der Abfallwirtschaft im Kanton Tessin angegeben.  
Ohne anderweitige Angabe beziehen sich die Daten auf das Jahr 1999:

Abfallfraktion	Gesammelte Menge (in kt)	Entwicklungs- prognose (in kt)		kg/Einwohner kg/Einwohner <sup>3)</sup>	Durchschnitt CH in kg/Einwohner <sup>3)</sup>	Werte 1989 (Einführungsjahr separate Sammlung) in kg/Einwohner	Kosten Samm- lung/Transport + Beseitigung/Ver- wertung (Fr./t)
		2010	2020				
1. Kehricht	104	---	---	339	---	---	302
2. Sperrgut	9	---	---	31	---	---	391
3. Industrie, Gewerbe, Handel (Direktanliefe- rungen)	18	---	---	---	---	---	---
4. Total brennbare ge- mischte Abfälle / Besei- tigung (1.+2.+3.)	131	99-135	101-137	423	363	498	312
5. Separatsammlungen Ohne biogene Abfälle	36	---	---	118	202	---	---
6. Biogene Abfälle	24 <sup>1)</sup>	---	---	79	71	20 (1992)	170
7. Total Verwertung (Se- paratsammlungen, 5.+6.)	60	60-100 <sup>2)</sup>	60-100 <sup>2)</sup>	197	273	93	163
<b>Total Siedlungsabfall (4.+7.)</b>	<b>191</b>	<b>180-220</b>	<b>180-220</b>	<b>620</b>	<b>636</b>	<b>592</b>	<b>---</b>

1) Inklusive Gewerbe und Direktanlieferer, exklusive Direktverwertung von privaten und Betrieben

2) Steigerungspotenzial im Vergleich zur heutigen Situation liegt v.a. bei der Fraktion Papier

3) Die Daten im Jahr 2000 haben sich nicht geändert, mit Ausnahme von den Separatsammlungen (ohne biogene Abfälle), die von 202 kg/Einwohner auf 209 kg/Einwohner gestiegen sind  
**Tabelle 1:** Daten über die Abfallwirtschaft des Kantons Tessin; Quellen.[3], [5], [6], eigene Schätzung (kursiv)

Die Kosten für Sammlung/Transport und Beseitigung (Verbrennung/Deponierung inkl. Rückstandsentsorgung) des Kehrichts lassen sich wie folgt aufteilen:

<b>Kosten</b>	<b>Fr./t</b>	<b>Anteil in %</b>
Sammlung und Transport	116	38
Beseitigung	186	62
<b>Total</b>	<b>302</b>	<b>100</b>

Tabelle 2: *Kostenteiler Sammlung und Transport / Beseitigung [6]*

Es muss berücksichtigt werden, dass die Kosten in der obigen Tabelle sich auf das Jahr 1999 beziehen, in dem der gesamte Kehricht im Tessin deponiert wurde. Seit 2000 ist eine beträchtliche Kostenerhöhung eingetreten. Bis zur Inbetriebnahme der geplanten KVA dürfte mit Beseitigungskosten von rund 200 Fr./t und mit zusätzlichen Transportkosten (Transport in die Deutschschweiz) von 50 – 100 Fr./t gerechnet werden.

Die Finanzierungsarten der kommunalen Kehrichtabfuhr für das Jahr 1998 werden in der nachfolgenden Tabelle dargelegt:

	<b>Nur Volumen- oder Gewichtsgebühr</b>	<b>Volumen-/ Gewichtsgebühr mit Grundgebühr</b>	<b>Nur Grundgebühr oder Finanzierung aus Steuermitteln</b>	<b>Gesamt</b>
Anzahl Gemeinden	1	2	242	245
Einwohnerzahl	7'966	10'105	283'398	301'469

Tabelle 3: *Finanzierung der kommunalen Kehrichtabfuhr (Quelle: [4])*

Im Laufe des Jahres 2001 sollte im kantonalen Parlament ein Gesetzesentwurf diskutiert werden, gemäss dem die Einführung einer Pflicht für die Gemeinden zur Einführung der Sackgebühr vorgesehen ist.

Der Kostendeckungsgrad der kantonalen Abfallwirtschaft liegt bei 58%.

### 2.1.2 Organisation

Die Sammlung, der Transport, die Beseitigung und die Verwertung für die zwei betrachteten Abfallfraktionen sind in Tessin wie folgt organisiert (Quellen: [5], [6]):

#### **Kehricht**

##### Beseitigung

Die Kehrichtbeseitigung erfolgt seit dem Jahr 2000 zum Teil in KVAs und zum Teil in Deponien. Da der Kanton Tessin zur Zeit nicht über eine eigene KVA verfügt, wird der zu verbrennende Kehricht (heute ca. 50'000-60'000 t/a) in die Deutschschweiz exportiert. Der restliche Teil wird

in 3 Deponien<sup>1)</sup> auf kantonalem Boden beseitigt. Zur Zeit wird eine KVA in der Gemeinde Giubiasco mit einer maximalen Kapazität von 150'000 t/a geplant, die voraussichtlich im Jahr 2005 in Betrieb sein wird. Ab diesem Zeitpunkt soll die gesamte Kehrichtmenge in dieser KVA verbrannt werden. Es ist vorgesehen, dass, neben dem Kehricht, in der KVA auch rund 2'000-3'000 t/a Bauabfälle und Autoschrott sowie rund 3'000 t/a zusätzlicher Kehricht aus der Mesolcina verbrannt werden sollen.

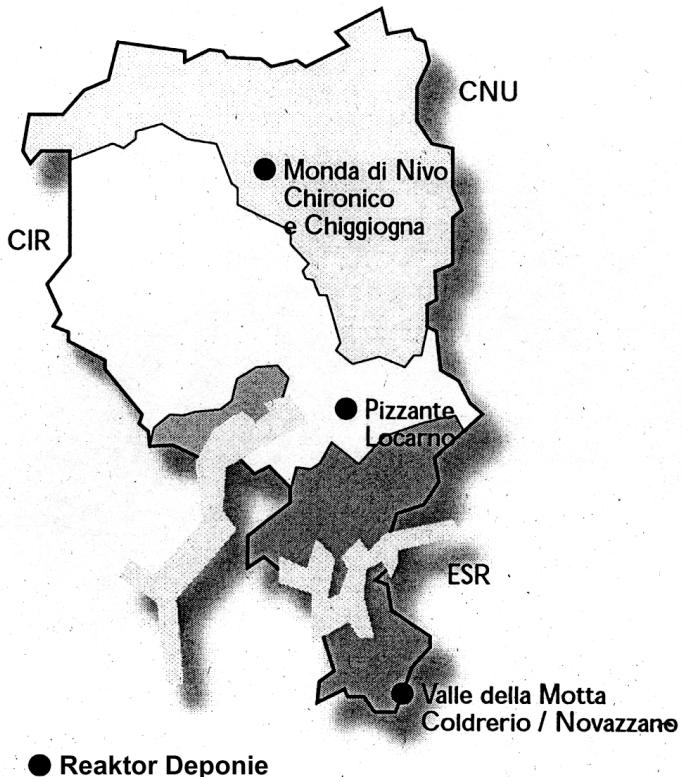
Der Siedlungsabfall wird zur Zeit durch 3 Organisationen beseitigt:

1. Ente per lo Smaltimento dei rifiuti del Sottoceneri (ESR): verantwortlich für die Beseitigung für die Region Sottoceneri; Deponie Valle della Motta (Gemeinden Coldrerio und Novazzano); ab dem Jahr 2000 auch Export in die Kantone Zürich und Thurgau
2. Consorzio distruzione rifiuti di Riazzino (CIR): verantwortlich für die Beseitigung für die Regionen Bellinzonese, Gambarogno, Locarnese e Valli; Deponie Pizzante 2 (Gemeinde Locarno); ab dem Jahr 2000 auch Export in die Kantone Zürich und Thurgau
3. Consorzio nettezza urbana di Biasca e Valli (CNU): verantwortlich für Sammlung, Transport und Beseitigung für die Region Biasca e Valli; bis vor kurzem in der Deponie Monda di Nivo (Gemeinden Chironico und Chiggiogna); ab dem Jahr 2000 auch Export in die Kantone Zürich und Thurgau

Für die künftige Beseitigung in der KVA sind zwei bis drei Umschlagplätze in Bioggio, Valle della Motta und eventuell in Riazzino geplant. Für die Region Biasca e Valli ist kein Umschlagplatz, sondern eine Direktanlieferung geplant.

---

1) Inzwischen ist die Deponie Monda di Nivo geschlossen worden.



*Abbildung 1: Tätigkeitsgebiet der drei regionalen Organisationen ESR, CIR und CNU und Standort bestehender Deponien im Tessin*

### Sammlung und Transport

Die Sammlung und der Transport erfolgen entweder durch regionale Konsortien (24% der kantonalen Bevölkerung) oder eigenständig durch die Gemeinden (76% der kantonalen Bevölkerung).

### Biogene Abfälle

#### Verwertung

Die Verwertung der biogenen Abfälle erfolgt heute ausschliesslich durch offene Kompostierung und ausgesprochen dezentral. Verwertet wird nur Gartenschnitt. Küchenabfälle von privaten Haushalten werden nicht gesammelt, um Geruchsemissionen in der Nähe der Kompostieranlagen zu vermeiden.<sup>2)</sup> Küchenabfälle von Restaurations- und ähnlichen Betrieben werden zum Teil durch die Firma Roga SA von Rancate gesammelt und verwertet, zum Teil durch Tierhaltungsbetriebe direkt verwertet. Der Umfang der verwerteten Küchenabfälle beträgt rund 500 t/a.

2) Vereinzelte Gemeinden (z.B. Ascona) akzeptieren geringfügige Mengen von Küchenabfällen in den Kompostieranlagen.

1998 existierten 5 Kompostierplätze, die mehr als 1000 t/a behandelten, 18 weitere Kompostierplätze mit mehr als 100 t/a behandeltem Grüngut, und weitere 106 kommunale Kompostierplätze mit weniger als 100 t/a behandeltem Grüngut. Die Kompostierung erfolgte 1999 wie folgt:

	Anzahl Gemeinden	Bevölkerung Einwohnerzahl	%	Menge in Kt
Individuelle Kompostierung (Gemeinde verfügt nicht über spezifische Organisation)	62	9'504	3.1	k.A.
Regionale Kompostierung	47	97'706	32.0	9.2
Kommunale Kompostierung	104	116'558	38.1	7.5
Abgabe an Landwirtschaftsbetriebe <sup>1)</sup>	34	81'878	26.8	7.4
<b>Total</b>	<b>247</b>	<b>305'646</b>	<b>100.0</b>	<b>24.1</b>

1) Die Landwirtschaftsbetriebe verwerten dann die biogenen Abfälle vermutlich mittels Feldrandkompostierung (keine genauen Daten vorhanden)

Tabelle 4: Organisationssysteme der Kompostierung

Der produzierte Kompost wird zum grossen Teil von Landwirtschafts- und Gärtnereibetrieben sowie von öffentlichen Gartenanlagen verwendet. Einzelne Kompostieranlagen verkaufen den produzierten Kompost, was allerdings eher die Ausnahme darstellt.

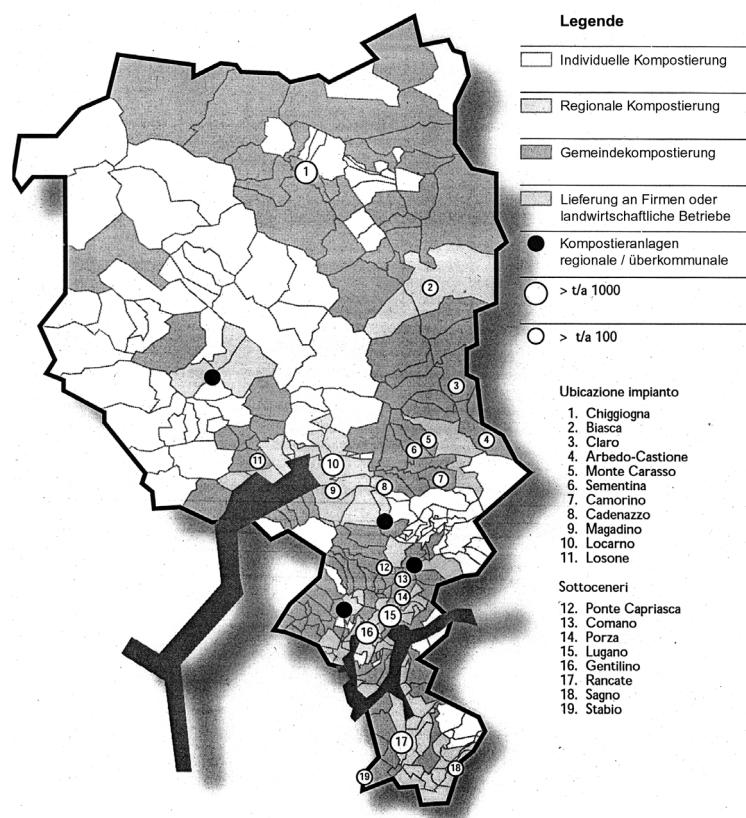


Abbildung 2: Status Quo Kompostieranlagen im Tessin

## Sammlung und Transport

Die Sammelsysteme in den Gemeinden sind sehr unterschiedlich:

- Direktabgabe der Gartenabfälle beim Kompostierplatz durch die Bevölkerung (Bringsystem)
- Sammlung des Grüngutes in Behältern
- Organisierte Sammeltouren und Anlieferungen zum Kompostierplatz (Holsystem)

Dementsprechend sind auch die Gesamtkosten für Sammlung, Transport und Verwertung von Grüngut von Gemeinde zu Gemeinde sehr unterschiedlich: Sie betragen weniger als 100 Fr./t in den billigsten und mehr als 300 Fr./t in den teuersten Gemeinden.

### 2.1.3 Regionale Unterschiede in den Mengen und Kosten

Die Kehrichtbeseitigung und die Grüngutverwertung erfolgen nicht in allen Regionen im selben Ausmass und zu denselben Kosten. Entsprechend der unterschiedlichen Organisationssysteme und der demographischen Beschaffenheit jeder Region waren im Jahre 1999 beträchtliche Unterschiede festzustellen:

	<b>ESR</b>	<b>CIR</b>	<b>CNU</b>	<b>Tessin</b>
Kehrichtmenge in kt	51	35	8	104 <sup>1)</sup>
Kosten in Fr./t Kehricht, davon	321	290	237	302
• Sammelkosten in Fr./t	105	119	170	116
Grüngutmenge in kt	13	7	1	24 <sup>1)</sup>
Kosten in Fr./t Grüngut	143	224	115	170

1) Das Total entspricht nicht der Summe über die drei Konsortien, weil nicht alle Gemeinden erfasst wurden

Tabelle 5: Regionale Unterschiede in Abfallanfall und Behandlungskosten (Quelle: [6])

Es soll insbesondere bemerkt werden, dass die Separatsammlung und Verwertung des Grüngutes deutlich günstiger ist als die Kehrichtentsorgung.

## 2.2 Vergärung von Biomasse in der Schweiz

### 2.2.1 Daten zur Kompostierung und Vergärung

Gesamtschweizerisch wurden 2000 rund 510'000 t kompostierbare Abfälle in zentralen Stellen separat gesammelt (Quelle: [3]).

Die Verwertung der separat gesammelten kompostierbare Abfälle erfolgte wie folgt (Quelle: [1] und [3]):

- Ca. 92% kompostiert
- 8% vergärt (bei einer Gesamtmenge von 510'000 t/a: rund 41'000 t/a)

Zusätzlich zu den in zentralen Stellen kompostierten Abfällen kann man mit rund 275'000 t biogenem Material, das dezentral kompostiert wird, rechnen (Quelle: [1]).

Schliesslich gelangt ein Teil der biogenen Abfälle in den Hauskehricht. Es wird geschätzt, dass dieser Teil rund 23% beträgt (Quelle: [1]; gesamtschweizerischer Durchschnitt für die Jahre 1992/93). Im Kehricht verbleibt also ungenutzt ein Anteil von 23% bestehend aus Grüngut und Küchenabfällen.

Die Streuung der regionalen Werte für die separat gesammelten kompostierbaren Abfälle ist sehr hoch. So wurden im Jahr 1997 in der Stadt Zürich 27 kg/Einwohner gesammelt, während im Bezirk Affoltern (ZH) 114 kg/Einwohner gesammelt wurden. Sehr hohe Sammelergebnisse wurden im Kanton Zug erreicht, wo (inkl. Gewerbe und Direktanlieferer) über 200 kg/Einwohner gesammelt wurden (Quelle: [2]).

Es ist allerdings anzumerken, dass Vergleiche mit dem Kanton Tessin nur begrenzt möglich sind, da beträchtliche Unterschiede hinsichtlich Topographie und politischer Struktur (Tessin ist ein Bergkanton mit vielen kleinen Gemeinden) sowie touristischer Nutzung, Finanzkraft und Mentalität bestehen.

### **2.2.2 Technische Optionen für die Vergärung**

In der Schweiz existieren folgende technische Verfahrensoptionen für die Vergärung biogener Abfälle:

1. Thermophile, einstufige Vergärung mit Nachrotte. Die Austragung des Gärgetes kann nach Wunsch des Kunden offen oder in einer Halle erfolgen. Entsprechende Anlagen werden z.B. von der Firma Kompogas in Oetelfingen (ZH) produziert
2. Kombination von einstufiger Vergärung mit voll geschlossener Kompostierung. Entsprechende Anlagen werden z.B. von der Firma BRV in Bôle (NE) erstellt.
3. Thermophile, mehrstufige Vergärung mit intensiver Vorrotte, überdeckter und anschliessend offener Kompostierung.<sup>3)</sup> Entsprechende RomOpur-Anlagen befinden sich z.B. in Frauenfeld, Kefikon oder Winterthur.

Für eine technische Beschreibung dieser Verfahren vgl. [2].

---

3) Die RomOpur-Anlagen existieren auch in Varianten mit geschlossener Kompostierung.

### **3 Szenarien für die Abfallwirtschaft des Kantons Tessin**

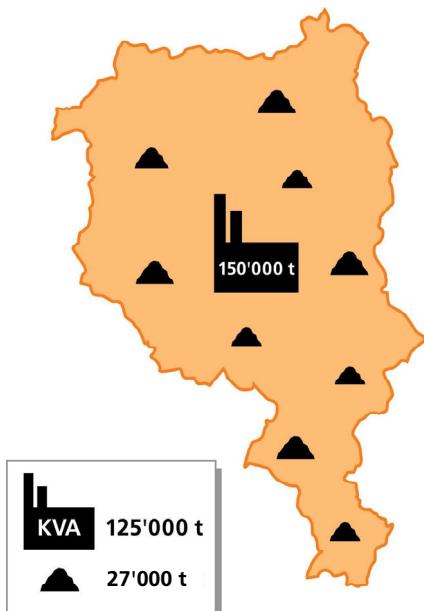
Um die Auswirkungen einer hypothetischen grossangelegten Vergärung der kompostierbaren Abfälle im Kanton Tessin zu untersuchen, werden im Folgenden zwei Grundszenarien verglichen. Als Untersuchungsjahr für den Vergleich der ökonomischen und ökologischen Auswirkungen der zwei untersuchten Abfallbehandlungssysteme wird das Jahr 2010 ausgewählt. Als Basisjahr für die Realisierung der Neuinvestitionen (neue KVA, neue Vergärungsanlagen) wird das Jahr 2004 festgelegt.

#### **3.1 Szenario 1: Verbrennung und Kompostierung**

Das Szenario 1 stellt sozusagen den angepassten Status Quo dar, der auf Grund der zur Zeit geplanten KVA zu erwarten ist. In diesem Szenario wird der Kehricht (inklusive Küchenabfälle) in der KVA verbrannt, während das Grüngut weiterhin in offenen Anlagen kompostiert wird.

Es wird von folgenden Annahmen ausgegangen:

1. Gesamtmenge brennbare gemischte Abfälle, die in der KVA verbrannt werden sollen: 105-145 kt/a (vgl. auch Prognosen 2010 in Tabelle 1 und Bemerkungen in Kap. 2.1.2)
2. Gesamtmenge Kehricht: 80-110 kt/a (eigene Schätzung)
3. Weiterhin keine Verwertung von Küchenabfällen
4. Anteil kompostierbare biogene Abfälle im Kehricht: 23% (18-25 kt/a), nicht separat verwertet (siehe 3.)
5. Gesammelte Grüngutmenge: 24-30 kt/a (eigene Schätzung basierend auf den Prognosen 2010 für alle Separatsammlungen, vgl. Tabelle 1)



### Szenario 1

*Abbildung 3: Anlagen für die Beseitigung des Kehrichts und die Verwertung des Grün-  
guts im Szenario 1; nur qualitative Beschreibung, keine genaue Standortangabe für die  
Kompostieranlagen*

### 3.2 Szenario 2: Verbrennung, Vergärung und Kompostierung

Im Szenario 2 geht man davon aus, dass Grün-  
gut zu einem guten Teil in Vergärungsanlagen  
verwertet wird. Die Bedeutung der offenen Kompostierung nimmt dementsprechend ab. Ver-  
gärt wird – neben dem Gartenschnitt – auch ein Teil der Küchenabfälle. Es wird also angenom-  
men, dass ein Teil der Küchenabfälle nicht mehr in den Kehrichtsack geworfen wird, sondern  
gesammelt und in Vergärungsanlagen zugeführt wird.

Es wird von folgenden Annahmen ausgegangen:

1. Gesamtmenge Sperrgut, Abfälle aus Industrie, Gewerbe und Handel: 25-35 kt/a (eigene Schätzung, vgl. Tabelle 1)
2. Gesamtmenge Kehricht + Küchenabfälle: 80-110 kt/a (vgl. Szenario 1)
3. Küchenabfälle von privaten Haushalten, die der Vergärung zugeführt werden: 4-16 kt/a (5-15% von 2.)
4. Küchenabfälle von Restaurants- und ähnlichen Betrieben, die der Vergärung zugeführt wer-  
den: 1 kt/a (eigene Schätzung, vgl. auch Kap. 2.1.2)

5. Anteil verbleibender kompostierbarer biogener Abfälle im Kehricht: 8-18% (Differenz von 23%<sup>4)</sup> und 3.)
6. Gesamtmenge Kehricht: 64-106 kt/a (2.-3.)
7. Gesammelter Gartenschnitt: 24-30 kt/a (vgl. Szenario 1)
8. Anteil des Gartenschnitts, welcher weiterhin kompostiert wird: 30-70% (7-21 kt/a)
9. Anteil des Gartenschnitts, welcher der Vergärung zugeführt wird: 30-70% (7-21 kt/a)
10. Gesamthaft können 12-38 kt/a biogener Abfälle vergärt werden (3.+4.+9.)
11. Gesamtmenge an separat gesammelten biogenen Abfällen: 29-47 kt/a (3.+4.+7.)
12. Gesamtmenge brennbare gemischte Abfälle, die in der KVA verbrannt werden sollen: ca. 90-140 kt/a (1.+6.)

Geht man von einer Wohnbevölkerung von 305'000-330'000 Personen im Jahr 2010 aus, dann würde die pro Kopf Menge der kompostierten und vergärteten biogenen Abfälle 88-154 kg/Einwohner betragen. Dies ist in Anbetracht der in anderen Schweizer Regionen separat gesammelten Grüngutmenge ein durchaus realistisches Szenario (für aktuelle Daten aus anderen Regionen vgl. Kap. 2.2.1).

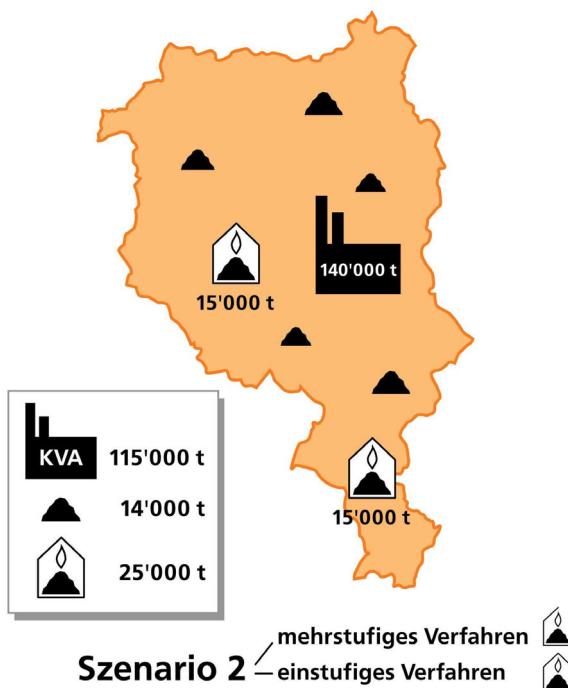
Es wird weiterhin angenommen, dass:

13. die zur Vergärung zugeführten biogenen Abfälle in Vergärungsanlagen mit einer Kapazität von je 15'000 t/a (Gesamtkapazität: 15'000-45'000 t/a) verwertet werden
14. Die KVA in diesem Szenario eine maximale Kapazität von 140'000 t/a aufweisen wird (siehe 12.).

Als geeignete mögliche Standorte für die Vergärungsanlage könnten Lugano, Rancate und Locarno gewählt werden.

---

4) 23% entspricht dem Anteil von biogenen Abfällen (Grüngut und Küchenabfällen) im Kehricht, vgl. Kap. 2.2.1.



*Abbildung 4: Anlagen für die Beseitigung des Kehrichts und die Verwertung der biogenen Abfälle im Szenario 2; nur qualitative Beschreibung, keine genauen Standortangaben für die Kompostier- und Verwertungsanlagen*

### Szenario 2a

- 15.a Im Szenario 2a wird zusätzlich angenommen, dass die Verwertung mit dem RomOpur-Verfahren erfolgt.

### Szenario 2b

- 15.b Im Szenario 2b wird zusätzlich angenommen, dass die Verwertung mit dem Kompogas-Verfahren (voll geschlossene Vergärung) erfolgt.

### 3.3 Übersicht

Szenario 1 unterscheidet sich von Szenario 2a/2b im wesentlichen durch einen durchschnittlich höheren Anteil an brennbaren gemischten Abfällen, einen höheren Anteil an kompostierten biogenen Abfällen, das Nicht-Vorhandensein von Vergärungsanlagen und eine geringfügig höhere geplante maximale Kapazität der KVA (vgl. Tabelle 6):

	<b>Szenario 1</b>		<b>Szenarien 2a/2b</b>	
	Unsicherheitsbe- reich	Durchschnitts- wert	Unsicherheitsbe- reich	Durchschnitts- wert
1. Kehrichtanfall in kt/a	80-110	95	64-106	85
2. Sperrgut/Direktan- lagerungen in kt/a	25-35	30	25-35	30
3. Brennbare gemischte Abfälle in kt/a	ca. 105-145	125	ca. 90-140	115
4. Kompostierte biogene Abfälle in kt/a	24-30	27	7-21	14
5. Vergärte biogene Abfälle in kt/a	0	0	12-38	25
6. Total (brennbare gemisch- te und biogene Abfälle) in kt/a (3.+4.+5.)	ca. 130-175	152	ca. 130-175	152
7. Maximale Kapazität der KVA in kt/a	150	150	140	140
8. Auslastungsgrad der KVA in % (3./7.)	70-97	83	64-100	82
9. Maximale Kapazität der Vergärungsanlagen in kt/a	0	0	15-45	30
10. Auslastungsgrad der Ver- gärungsanlagen in % (5./9.)	---	---	80-85	---

Tabelle 6: Übersicht über die relevanten Abfallmengen und -entsorgungseinrichtungen pro Szenario

## 4 Ökonomische und ökologische Bewertung der Szenarien

Im vorliegenden Kapitel werden die Annahmen für eine ökonomische und ökologische Bewertung der Szenarien getroffen. Dabei werden folgende Abkürzungen verwendet:

- KO: Verfahren der offenen Kompostierung (in Mieten oder Boxen).
- VO: Thermophile, mehrstufige Vergärung mit intensiver Vorrotte, überdeckter und anschlie-ssend offener Kompostierung (RomOpur).
- VN: Thermophile, einstufige Vergärung mit Nachrotte (KompoGas).
- KVA: Verbrennung in KVA.

## 4.1 Wirtschaftlicher Vergleich

Für die Kostenerfassung ist Folgendes zu beachten:

- Die Investitionskosten umfassen: Bauteile / Halle etc., stationäre Maschinen und mobile Maschinen<sup>5)</sup>
- Die Fixkosten umfassen: Kapitalzinsen, Abschreibungen Bau, Abschreibungen stationäre Maschinen, Abschreibungen mobile Maschinen, Reparatur und Wartung, Versicherungen
- Die variablen Kosten umfassen: Arbeiten Dritter, Ausbringungskosten Kompost, Personalkosten, Administration / Analysen etc., Betriebsstoffe etc. / Fremdstoffentsorgung und Gemeinkosten
- Der Energieverkauf umfasst: Verkauf Fremdwärme, Verkauf Strom, Verkauf Biogas

### 4.1.1 Neuinvestitionskosten

Für die Investitionskosten wird von folgenden Annahmen ausgegangen:

	<b>Neuinvestitionskosten in Fr./t</b>	<b>Szenario 1: Skalenfaktor für 150 kt/a KVA</b>	<b>Szenario 2a/2b: Skalenfaktor für 140 kt/a KVA</b>
KVA mit 100 kt/a Kapazität	1'770	1.4	1.3
KO	0 <sup>1)</sup>	---	---
VO mit 15 kt/a Kapazität	416	---	---
VN mit 15 kt/a Kapazität	430	---	---

1) Keine Neuinvestitionen erforderlich

Tabelle 7: Angenommene Daten für Modellrechnung; Quellen: [2] für die KVA, aktuelle Kostenübersichten für VO und VN (vgl. Anhang A1, Tabelle 17, Spalten "VO neu" und "VN neu") sowie eigene Annahmen für die Skalenfaktoren

### 4.1.2 Nettojahreskosten Kehricht

#### Beseitigung (Verbrennung inklusive Rückstandsentsorgung)

Für bestehende KVAs gelten folgende Angaben:

	<b>KVA Weinfelden</b>	<b>KVA Bazenheid</b>	<b>KVA St.Gallen</b>	<b>Annahmen für Standard-KVA aus [2]</b>
Kapazität in kt/a	120	80	70	100
Fixkosten in Fr./t	147	160	144	229
Variable Kosten in Fr./t	43	79	53	77
Energieverkauf in Fr./t	-65	-26	-26	(-21) bzw. -63 <sup>1)</sup>
<b>Total Kosten in Fr./t</b>	<b>125</b>	<b>213</b>	<b>171</b>	<b>(285) bzw. 243</b>

1) Der Energieverkauf von 21 Fr./t resultiert aus einem (fiktiven) Verbrennungsprozess mit nur biogenen Abfällen. Verwendet man einen Standardmix an gemischten brennbaren Abfällen, so beträgt der Ertrag aus dem Energieverkauf rund dreimal mehr.

Tabelle 8: Daten über schweizerische KVAs

5) Die Kosten für Landkauf und Asphaltfläche werden nicht berücksichtigt.

Aufgrund dieser Daten werden folgende Annahmen für eine neue durchschnittliche KVA getroffen:

	<b>Spezifische Kosten für 100 kt/a KVA 100% Auslastung</b>	<b>Totale Kosten für 100 kt/a KVA</b>	<b>Szenario 1: Skalenfaktor für 150 kt/a KVA mit durchschnittlicher 83% Auslastung</b>	<b>Szenario 2a/2b: Skalenfaktor für 140 kt/a KVA mit durchschnittlicher 82% Auslastung</b>
Fixkosten	170 Fr./t	17 Mio. Fr.	1.4	1.3
Variable Kosten	60 Fr./t	6 Mio. Fr.	1.1	1.1
Energieverkauf	-40 Fr./t	-4 Mio. Fr.	1.25	1.15
<b>Total</b>	<b>190 Fr./t</b>	<b>19 Mio. fr.</b>		

Tabelle 9: Angenommene Daten für Modellrechnung

### Sammlung und Transport

Für die Sammlung und den Transport einer Tonne Kehricht werden heute 116 Fr./t ausgegeben. Künftig besteht ein (kleines) Kostenoptimierungspotenzial: Es wird geschätzt, dass die Sammlungs- und Transportkosten im Jahre 2010 100-120 Fr./t betragen werden. Mit der Berücksichtigung der künftigen Transportkosten vom regionalen Umschlagplatz zum Standort der KVA von rund 20-30 Fr./t kann man künftig mit rund 120-150 Fr./t Sammlung- und Transportkosten rechnen. Als Durchschnittswert wird mit **Sammlungs- und Transportkosten von 135 Fr./t** gerechnet.

#### 4.1.3 Nettojahreskosten Kompostierung

### Verwertung

Die Jahreskosten einer grösseren, offenen Kompostieranlage (10'000 t/a) teilen sich wie folgt auf:

	<b>Angaben für Standard-KO aus [2]</b>
Kapazität in K t/a	10
Fixkosten in Fr./t	63
Variable Kosten in Fr./t	63
Kompostverkauf in Fr./t	0
<b>Total Kosten in Fr./t</b>	<b>125</b>

Tabelle 10: Kostenstruktur einer Kompostieranlage gemäss [2]

Im Vergleich zu den in [2] angenommenen Jahreskosten von 125 Fr./t liegen in Tessin die Kosten einer Kompostieranlage etwas niedriger. Heutzutage werden von den grösseren existierenden Kompostieranlagen (ca. 2'000 t/a) rund 100 Fr./t als Verwertungsgebühr verlangt. Es wird daher angenommen, dass der Verwertungspreis in einer Kompostierungsanlage **100 Fr./t** betragen

wird. Gemäss den Angaben in Tabelle 10 wird angenommen, dass die Nettojahreskosten sich je zur Hälfte auf fixe und variable Kosten aufteilen. Mit Bezug auf die Abgabe des Kompostes an Landwirten und anderen Abnehmern wird, so wie in Tabelle 10, angenommen, dass daraus kein Erlös resultiert. Dies entspricht einerseits der Situation in den meisten Kantonen, andererseits auch dem aktuellen Normalfall im Tessin (vgl. Kap. 2.1.2).

### **Sammlung und Transport**

Für die Sammlung von Grüngut und Transport zu einer Kompostieranlage wird von rund **70 Fr./t** ausgegangen. Die Annahme ist wie folgt zu begründen: Die heutigen Sammel-, Transport- und Verwertungskosten pro t Grüngut betragen im Tessin 170 Fr./t (vgl. Tabelle 1). Geht man von künftig gleichbleibenden Gesamtkosten von rund 170 Fr./t und von ca. 100 Fr./t für die Verwertung, dann verbleiben rund 70 Fr./t zu Lasten von Sammlung und Transport.

#### **4.1.4 Nettojahreskosten Vergärung**

##### **Verwertung**

Um die Angaben aus [2] zu den Nettojahreskosten von Vergärungsanlagen zu aktualisieren, wurden Gespräche mit Anbietern von Standard-VO und Standard-VN-Anlagen geführt und aktuelle Kostenübersichten eingeholt. Darauf aufbauend wird von folgenden spezifischen Kosten ausgegangen (vgl. hierzu auch Anhang A1):

	<b>Angaben für Standard-VO</b>	<b>Angaben für Standard-VN</b>
Kapazität in kt/a	15	15
Fixkosten in Fr./t	42	43
Variable Kosten in Fr./t	58	47
Energieverkauf in Fr./t	-29	-29
Kompostverkauf in Fr./t <sup>1)</sup>	0	0
<b>Total Kosten in Fr./t</b>	<b>71</b>	<b>61</b>

1) Vgl. die Diskussion in Abschnitt 4.1.3

*Tabelle 11: Angenommene Daten für Modellrechnung*

### **Sammlung und Transport**

Für die Sammlung- und Transportkosten der biogenen Abfälle zu den Vergärungsanlagen wird aufgrund neuerer Daten (Quelle: [7]) davon ausgegangen, dass sie tiefer sind als die heutigen Sammel- und Transportkosten für Kehricht, und rund **90 Fr./t** betragen werden. Im Vergleich zu den Sammlung und Transportkosten für die Kompostierung (70 Fr./t) resultiert ein Mehrpreis von 20 Fr./t, der mit dem längeren Transportdistanzen zu den Vergärungsanlagen begründet werden kann.

#### 4.1.5 Übersicht Kosten

	Relevante Mengen (skaliert) in kt/a Szenario 1 <sup>1)</sup>	Relevante Mengen (skaliert) in kt/a Szenario 2 <sup>1)</sup>	Spezifische Kosten in Fr./t	Kosten Szenario 1 in Mio. Fr.	Kosten Szenario 2a (VO) in Mio. Fr.	Kosten Szenario 2b (VN) in Mio. Fr.
<b>Kehricht</b>			<b>325</b>	<b>38.23</b>	<b>35.58</b>	<b>35.58</b>
Beseitigung			190	25.40	24.10	24.10
Fixkosten	140	130	170	23.80	22.10	22.10
Variable Kosten	110	110	60	6.60	6.60	6.60
Energieverkauf	125	115	-40	-5.00	-4.60	-4.60
Sammlung + Transport	95	85	135	12.83	11.48	11.48
<b>Kompostierung</b>			<b>170</b>	<b>4.59</b>	<b>2.38</b>	<b>2.38</b>
Verwertung	27	14	100	2.70	1.40	1.40
Fixkosten	27	14	50	1.35	0.70	0.70
Variable Kosten	27	14	50	1.35	0.70	0.70
Kompostverkauf	27	14	0	0.00	0.00	0.00
Sammlung + Transport	27	14	70	1.89	0.98	0.98
<b>Vergärung VO</b>			<b>161</b>	<b>0.00</b>	<b>4.03</b>	<b>0.00</b>
Verwertung	0	25	71	0.00	1.78	0.00
Fixkosten	0	25	42	0.00	1.05	0.00
Variable Kosten	0	25	58	0.00	1.45	0.00
Energieverkauf	0	25	-29	0.00	-0.73	0.00
Sammlung + Transport	0	25	90	0.00	2.25	0.00
<b>Vergärung VN</b>			<b>151</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>3.78</b>
Verwertung	0	25	61	0.00	0.00	1.53
Fixkosten	0	25	43	0.00	0.00	1.08
Variable Kosten	0	25	47	0.00	0.00	1.18
Energieverkauf	0	25	-29	0.00	0.00	-0.73
Sammlung + Transport	0	25	90	0.00	0.00	2.25
<b>Total Nettojahreskosten</b>				<b>42.82</b>	<b>41.98</b>	<b>41.73</b>
<b>Investitionen</b>						
KVA	140	130	1770	247.8	230.1	230.1
VO	0	30	416	0.0	12.5	0.0
VN	0	30	430	0.0	0.0	12.9
Informationen <sup>2)</sup>				0.0	5.0	5.0
<b>Total</b>				<b>247.8</b>	<b>247.6</b>	<b>248.0</b>

- 1) Die relevanten Mengen sind in Tabelle 6 angegeben. Im Falle der KVA, sind die relevanten Mengen für die Beseitigung und die Investitionen anhand der Skalierungsfaktoren aus Tabelle 7 und Tabelle 9 berechnet.
- 2) Es wird davon ausgegangen, dass im Szenario 2 in der Bevölkerung ein gewisser Informationsbedarf zum neuen Verwertungssystem für biogene Abfälle (Vergärung) bestehen wird. Deswegen wird angenommen, dass im Szenario 2 die Summe von 5 Mio. Fr. für Öffentlichkeitsarbeit eingesetzt werden soll.

Tabelle 12: Übersicht Kosten pro Szenario

## 4.2 CO<sub>2</sub>-Emissionen

### 4.2.1 Einleitung

Im folgenden Teil dieser Fallstudie werden die Klimaauswirkungen der verschiedenen Entsorgungsmöglichkeiten auf die Umwelt beleuchtet. Ziel der Betrachtungen ist es, eine erste Abschätzung der Auswirkungen der Szenarien 1 (Verbrennung und Kompostierung) und 2b (Verbrennung, Kompostierung und Vergärung nach dem Kompogas-Verfahren) auf die Umwelt zu erstellen.<sup>6)</sup> Da jedoch die Berechnung aller Umweltauswirkungen sehr aufwändig ist und je nach verwendetem Verfahren stark unterschiedliche Ergebnisse liefert (vgl. dazu Kap. 4.2.8), wird hier nur auf die klimawirksamen CO<sub>2</sub>-Emissionen eingegangen. Im Lichte der aktuellen Bedeutung der Klimaproblematik scheint die Auswahl dieser Umweltauswirkung als Beispielsgröße gerechtfertigt.

Als klimawirksam werden nur die Emissionen betrachtet, welche aus nicht erneuerbaren (also vor allem fossilen) Quellen entstehen. CO<sub>2</sub>-Emissionen aus biogenen Quellen werden nicht berücksichtigt, da sie das CO<sub>2</sub> beim Wachstum erst binden, bevor sie es in verschiedenen Prozessen wieder an die Atmosphäre freigeben.

Die Inputmengen für die einzelnen Prozesse sind aus dem Kapitel 3.3 entnommen.

Zuerst werden die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen berechnet. Für die Produkte aus den verschiedenen Prozessen (KVA, Vergärungs- und Kompostieranlage) werden Gutschriften von diesen CO<sub>2</sub>-Emissionen abgezogen. Diese Gutschriften rechnen sich nach den durch die Substitution eingesparten CO<sub>2</sub>-Mengen. Beispielsweise produziert die KVA Wärme. Dadurch kann Heizöl in den durch die Fernwärme beheizten Häusern gespart werden. Durch die Substitution des Heizöls werden die Emissionen, die durch die Verbrennung des Heizöls entstanden wären, als CO<sub>2</sub>-Gutschrift von den Emissionen der KVA abgezogen.

### 4.2.2 Annahmen und Datenquellen

Für die vorliegende Untersuchung wurden folgende Annahmen getroffen:

- Es werden nur direkte, klimawirksame CO<sub>2</sub>-Emissionen berücksichtigt. Emissionen, welche aus biogenen Quellen stammen, werden nicht gerechnet.
- Die Verwertung von biogenen Abfällen ist CO<sub>2</sub>-neutral.
- Die Sammlung und der Transport der Abfälle werden nicht berücksichtigt.

---

6) Das Szenario 2a wird der Einfachheit halber nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse sollten aber vergleichbar mit denjenigen von Szenario 2b sein.

- Verluste beim Transport und der Verteilung von Wärme und Strom werden nicht berücksichtigt.
- Die graue Energie ist nicht berücksichtigt.
- Die Gutschrift für Strom bezieht sich auf die Substitution von Strom aus dem Schweizer Strommix resp. aus dem europäischen Strommix (UCPTE). Als Datengrundlage für die Emissionsfaktoren dienen die Daten des Ökoinventars für Energiesysteme [10].
- Die Gutschrift für Raumwärme bezieht sich auf den Ersatz von Heizöl EL resp. Erdgas. Die Emissionsfaktoren sind aus der Quelle [8] entnommen.
- Die Gutschrift für das Biogas aus den Vergärungsanlagen bezieht sich auf den Ersatz von Benzin beim Betrieb von Personenwagen. Die in aus der Vergärungsanlage gewonnene Biogasmenge wird bei dieser Berechnung weder verstromt noch in Wärme umgewandelt, sondern ausschliesslich als Treibstoff für Personenwagen eingesetzt. Die ersetzen Emissionen werden nach den Emissionsfaktoren aus der Quelle [9] berechnet.
- Die Strom und Wärmeproduktion der KVA werden für beide Szenarien als gleich gross angenommen. Obwohl beim Szenario 2b mit einer geringeren Inputmenge zu rechnen ist, kann durch die veränderte Abfallzusammensetzung (weniger organisches, feuchtes und schlecht brennbares Material) eine höhere Energieausbeute erreicht werden.
- Aus einer Tonne Grünabfall entstehen unabhängig vom Verwertungsprozess 500 kg Kompost (vgl. [2]).

#### 4.2.3 Beschreibung der beiden Szenarien

In der folgenden Abbildung sind die beiden Szenarien 1 und 2b schematisch dargestellt. Die Flüsse oberhalb der Pfeile symbolisieren jeweils das Szenario 1, die Flüsse unterhalb das Szenario 2b.

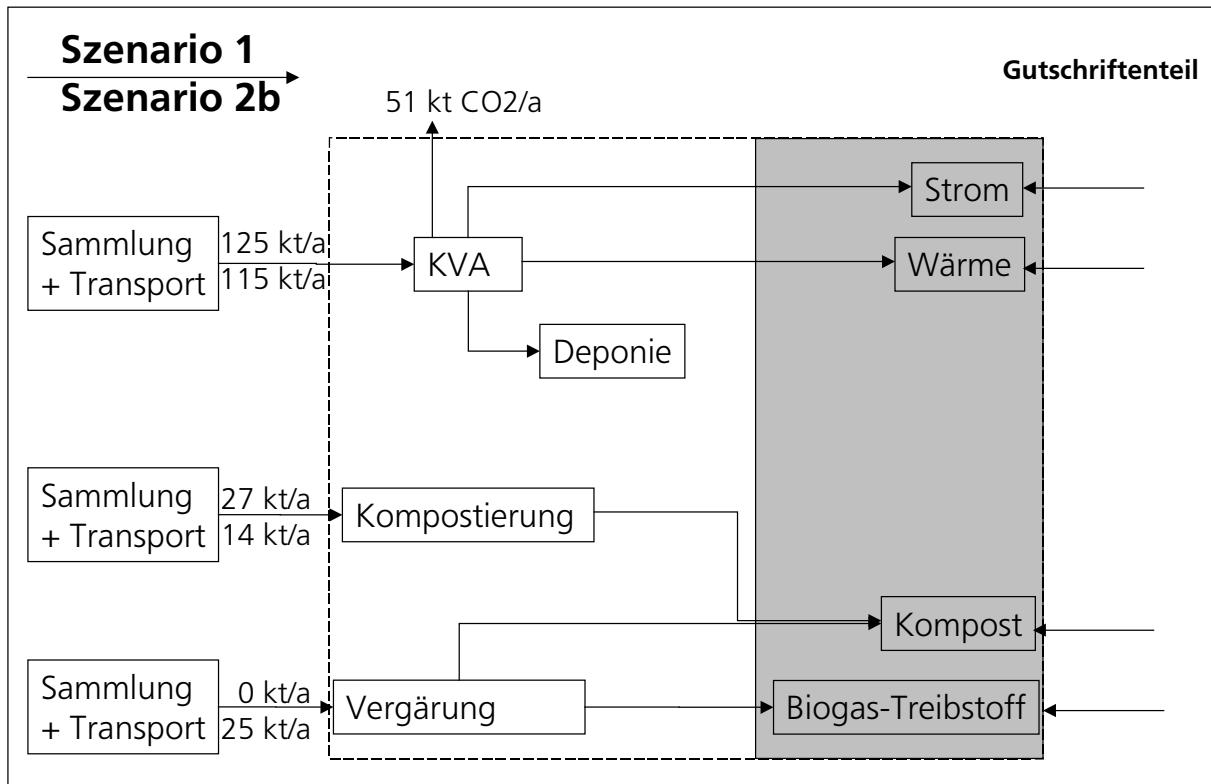


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Szenarien und ihre Inputmengen

Beim Szenario 1 wird auf die Vergärung völlig verzichtet. Beim Szenario 2b werden 25'000 Tonnen Abfall pro Jahr vergärt. Diese Menge wird von der Kompostierung und der KVA auf die Vergärung umgeleitet.

Da sich die KVA im Tessin erst in einer frühen Planungsphase befindet, sind die technischen Daten im Detail nicht bekannt. Aus diesem Grund werden Erfahrungswerte von bestehenden KVAs als Berechnungsgrundlage verwendet:

	KVA Tessin (geschätzt)
Verbrannte Abfallmenge (Szenario 1/2b) [t/a]	125'000 / 115'000
Heizwert Abfall [MJ/t Abfall]	13'000 / 14'000
Jahresleistung [GJ/a]	1'600'000
Energieproduktion total [MWh/a]	440'000
Dampfverkauf an Dritte [MWh/a]	132'000
Stromabgabe ans öffentliche Netz [MWh/a]	44'000

Tabelle 13: Technische Daten KVA

Die in der Tabelle 13 aufgelisteten Daten gelten für die KVA in beiden Szenarien, obwohl die KVA im Szenario 1 mit 10'000 Tonnen pro Jahr mehr beschickt wird. Die Annahme, dass die Energieproduktion trotzdem gleich gross sein wird, stützt sich darauf, dass vor allem organisches, feuchtes und damit schlecht brennbares Material beim Szenario 2b von der KVA in den Prozess der Vergärung transferiert wird. Damit erhöht sich der Heizwert des Inputmaterials.

#### **4.2.4 Szenario 1**

In der folgenden Tabelle sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen und Gutschriften zusammengefasst. Die detaillierte Rechnung ist im Anhang A2 angegeben. Bei der Kompostierung war die Quantifizierung der Substitutionsleistung im Rahmen dieser Studie nicht möglich, da die Emissionen bei der Herstellung von gleichwertigem Mineraldünger nicht bekannt sind.

<b>Prozess</b>	<b>Menge</b>	<b>Emissionsfaktor CO<sub>2</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub>-Emission</b>
<b>KVA</b>			
Verbrannte Abfallmenge	[t/a]	125'000	
Fossile CO <sub>2</sub> -Emission	[t CO <sub>2</sub> /a]		0.413 t CO <sub>2</sub> / t Abfall +51'500
Dampfverkauf an Dritte	[MWh/a]	132'000	
Gutschrift Wärme (Öl)	[t CO <sub>2</sub> /a]		0.263 t CO <sub>2</sub> /MWh -34'690
Gutschrift Wärme (Gas)	[t CO <sub>2</sub> /a]		0.198 t CO <sub>2</sub> /MWh -26'136
Stromabgabe ans öffentl. Netz	[MWh/a]	44'000	
Gutschrift CH-Strommix	[t CO <sub>2</sub> /a]		0.022 t CO <sub>2</sub> /MWh -974
Gutschrift UCPTE-Strommix	[t CO <sub>2</sub> /a]		0.503 t CO <sub>2</sub> /MWh -22'150
<b>Kompostierung</b>			
Kompostierte Abfallmenge	[t/a]	27'000	
Gutschriften			Keine Angaben Keine Angaben
<b>Vergärung</b>			
Vergärte Abfallmenge	[t/a]	0	
Produzierte Biogasmenge	[Tausend Fz km/a] <sup>1)</sup>	0	
Gutschrift Ersatz von Benzin	[t CO <sub>2</sub> /a]		0.227 t CO <sub>2</sub> /1'000 Fz km 0
<b>Total</b>			<b>-5'340 bis +24'390</b>

1) Fz kmla: Fahrzeugkilometer pro Jahr

Tabelle 14: CO<sub>2</sub>-Emissionen und CO<sub>2</sub> Gutschriften der KVA Tessin im Szenario 1

Bei den direkten Emissionen der KVA wird nur der fossile Anteil berechnet. Dieser beträgt bei einer mittleren Abfallzusammensetzung etwa 50% des gesamthaft emittierten CO<sub>2</sub>.

Je nachdem, welche Energieträger substituiert werden, entstehen sehr verschiedene Gesamtemissionen. Im besten Fall (UCPTE-Strom und Heizöl wird ersetzt) können etwa fünftausend Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr eingespart werden. Werden jedoch der CH-Strommix, bei dessen Produktion deutlich weniger CO<sub>2</sub> emittiert wird, sowie Erdgas als Wärmeträger ersetzt, verursacht das Entsorgungssystem gemäss Szenario 1 Emissionen von etwa 24'000 Tonnen.

#### 4.2.5 Szenario 2b

Prozess	Menge	Emissionsfaktor CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> -Emission
<b>KVA</b>			
Verbrannte Abfallmenge	[t/a]	115'000	
Fossile CO <sub>2</sub> -Emission	[t CO <sub>2</sub> /a]		+51'500
Dampfverkauf an Dritte	[MWh/a]	132'000	
Gutschrift Wärme (Öl)	[t CO <sub>2</sub> /a]		-34'690
Gutschrift Wärme (Gas)	[t CO <sub>2</sub> /a]		-26'136
Stromabgabe ans öffentl. Netz	[MWh/a]	44'000	
Gutschrift CH-Strommix	[t CO <sub>2</sub> /a]		-974
Gutschrift UCPTE-Strommix	[t CO <sub>2</sub> /a]		-22'150
<b>Kompostierung</b>			
Kompostierte Abfallmenge	[t/a]	14'000	
Gutschriften		Keine Angaben	Keine Angaben
<b>Vergärung</b>			
Vergärte Abfallmenge	[t/a]	25'000	
Produzierte Biogasmenge	[Tausend Fz km/a]	25'000	
Gutschrift Ersatz von Benzin	[t CO <sub>2</sub> /a]		-5'675
<b>Total</b>			<b>-11'015 bis +18'715</b>

Tabelle 15: CO<sub>2</sub>-Emissionen und CO<sub>2</sub> Gutschriften im Szenario 2b

Die fossilen Emissionen der KVA verändern sich nicht, obwohl die Inputmenge um 10'000 Tonnen pro Jahr kleiner wird. Die Differenz des Inputflusses in die KVA wird durch den biogenen Anteil, der in Szenario 2b der Vergärung zugeführt wird, gebildet. Die Fracht an fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen bleibt daher gleich, weil nur biogenes Material transferiert wird.

#### 4.2.6 Vergleich der beiden Szenarien 1 und 2b

In der folgenden Abbildung 6 werden die beiden Szenarien miteinander verglichen. Die Angaben über den Pfeilen, welche die Stoff- und Energieflüsse darstellen, beziehen sich jeweils auf das Szenario 1. Die Zahl unterhalb gibt die Flüsse des Szenarios 2b wieder. Die Spalte ganz rechts gibt die CO<sub>2</sub>-Einsparungen der Produkte welche durch die Substitution von gleichwertigen fossilen Energieträgern erreicht werden. Bei den Zahlen handelt es sich um gemittelte und gerundete Angaben aus den Tabellen. Es wird also nicht mehr zwischen Strom aus dem Schweizer- und aus dem UCPTE-Strommix und zwischen der Wärmeproduktion durch Erdgas und Erdöl unterschieden. Beim Kompost war die Quantifizierung des CO<sub>2</sub>-Ersatzes im Rahmen dieser Studie nicht möglich, da die Emissionen bei der Produktion von zum Kompost gleichwertigem Mineraldünger nicht bekannt sind.

Bei diesem Vergleich schneidet das Szenario 2b aus zwei Gründen besser ab: Zum einen verschafft die Produktion von Biogas-Treibstoff dem Szenario 2b einen Vorsprung an eingesparten CO<sub>2</sub>-Emissionen von 5'700 t/a. Zum anderen wird im Szenario 2b gesamthaft mehr Kompost produziert (5'500 t/a mehr). Obwohl die CO<sub>2</sub>-Einsparung durch die Produktion nicht quantifiziert werden konnte, ergeben sich hier ebenfalls Vorteile für das Szenario 2b.

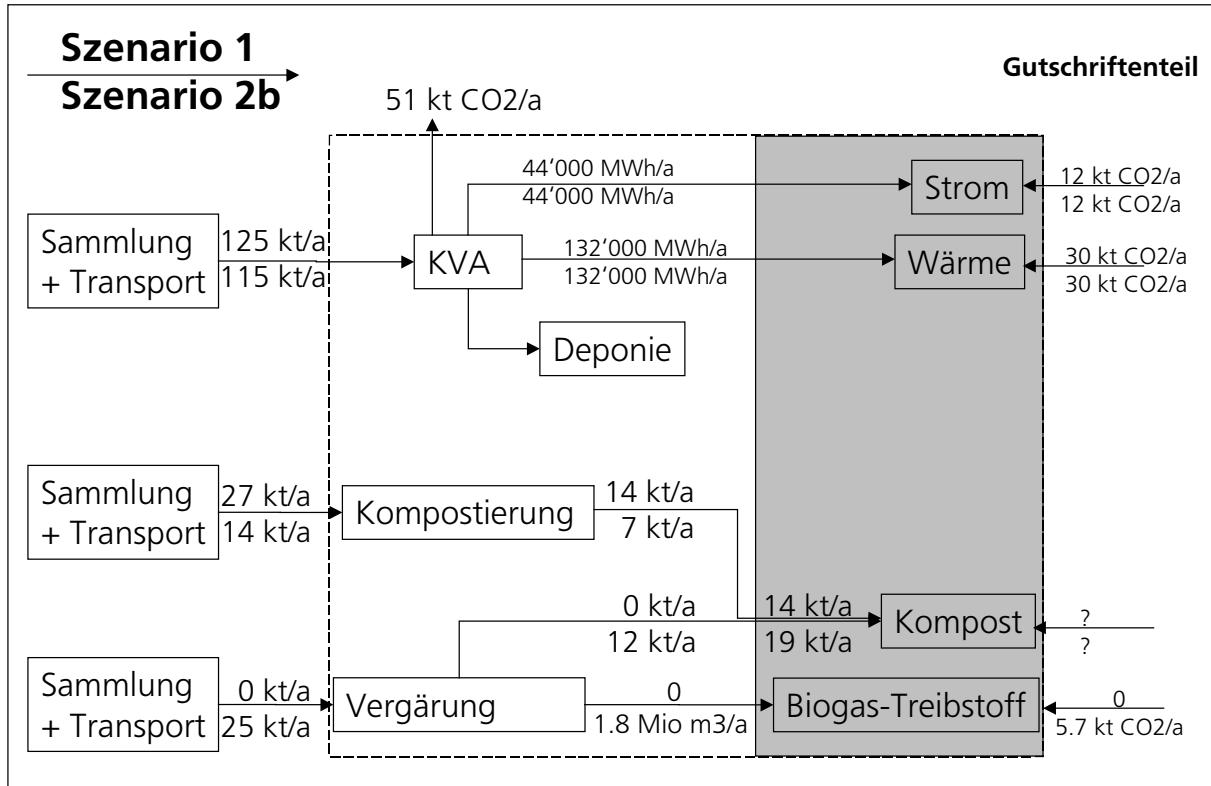


Abbildung 6: Vergleich der beiden Szenarien

In der folgenden Graphik werden die Vorteile für das Szenario 2b mit + gekennzeichnet. Sind die beiden Szenarien gleichwertig, wird dies mit 0 gekennzeichnet.

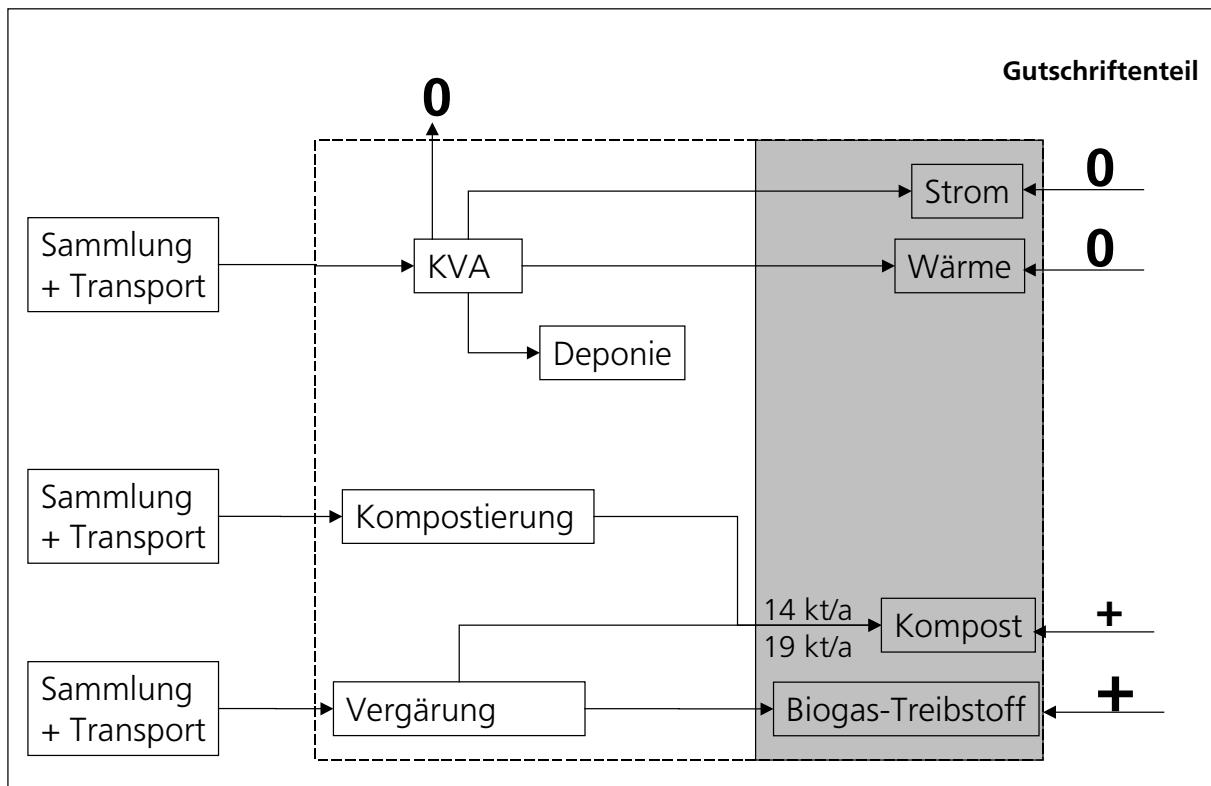


Abbildung 7: Vorteile des Szenarios 2b

#### 4.2.7 Folgerungen

Durch das Szenario 2b entstehen grössere Einsparungen von CO<sub>2</sub>. Augenfällig ist die Einsparung durch die Produktion von Biogas-Treibstoff, aber auch die zusätzliche Produktion von Kompost. In keinem der untersuchten Bereiche entsteht durch das Szenario 2b eine Verschlechterung der Situation.

#### 4.2.8 Gesamte ökologische Auswirkungen

In der Studie [2] wurden mit umfassenden Ökobilanzierungen versucht, die gesamten ökologischen Auswirkungen der verschiedenen Anlagetypen (Kehrichtverbrennung, Kompostierung, Vergärung) miteinander zu vergleichen. Die Ergebnisse variieren stark, je nach angewandter Ökobilanzierungsmethode (Ecoindicator 95+ oder Umweltbelastungspunkte).

Im Vergleich der vier Verfahren "offene Kompostierung" (KO), VN-Anlage, VO-Anlage und KVA schneidet die VN-Anlage nach der Methode Ecoindicator 95+ bei weitem am besten ab, bei der Methode der Umweltbelastungspunkte liegt sie knapp an zweiter Stelle. Die Autoren der Studie ziehen daraus folgende Schlussfolgerung: "Aus dem ökologischen Blickwinkel ist die voll geschlossene Vergärung mit Nachrotte VN das vorteilhafteste Verfahren" ([2], S. 101).

#### 4.3 Fazit

Zusammenfassend lässt sich festhalten:

- Die ökonomische Betrachtung zeigt, dass sich die Investitionskosten und Nettojahreskosten der verschiedenen Szenarien kaum unterschieden. Szenario 2a (VO) liefert mit totalen Investitionskosten von 247.6 Mio. Fr. das tiefste Ergebnis, Szenario 1 (KVA) und Szenario 2b (VN) liegen mit Kosten in Höhe von 247.8 Mio. Fr. bzw. 248 Mio. Fr. nur minimal über dem Szenario 2a. Bei den Nettojahreskosten hingegen erweist sich das Szenario 2b (VN) mit 41.73 Mio. Fr. als die kostengünstigste Variante, gefolgt vom Szenario 2a (VO) mit 41.98 Mio. Fr. und dem Szenario 1 mit 42.82 Mio. Fr.

Das Ergebnis ist auf die beträchtlichen Kostensenkungen, die beim Betrieb der Vergärungsanlagen (VO und VN) in den vergangenen Jahren erzielt worden sind, auf die Effizienzverbesserungen in der Energieproduktion und daraus resultierend einen höheren Energieverkauf zurückzuführen (siehe Anhang A1).

- Die ökologische Betrachtung vergleicht die Szenarien 1 und 2b miteinander. Hier besticht das Szenario 2b durch eine deutliche Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen (rund 5'700 t/a) und eine gesamthaft höhere Kompostproduktion (>5'500 t/a).
- Als Fazit lässt sich daher feststellen, dass durch die Szenarios 2a und 2b sich keine oder kaum ökonomische Verschlechterungen einstellen, dass aber deutliche ökologische Nutzen zu erzielen sind.

## 5 Literatur

- [1] Bundesamt für Energie - Programm Biomasse: Biogene Güter in der Schweiz: Massen- und Energieflüsse. Februar 2001.
- [2] Bundesamt für Energie - Forschungsprogramm Biomasse: Ökologischer, ökonomischer und energetischer Vergleich von Vergärung Kompostierung und Verbrennung fester biogener Abfallstoffe. November 1999.
- [3] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft: Abfallmengen und Recycling 2000 im Überblick. Mai 2001 ([http://www.buwal.ch/abfall/data\\_2000.htm](http://www.buwal.ch/abfall/data_2000.htm)).
- [4] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft: Finanzierung der kommunalen Kehrichtabfuhr 1998 ([http://www.buwal.ch/abfall/data\\_1998.htm](http://www.buwal.ch/abfall/data_1998.htm)).
- [5] Repubblica e Cantone del Ticino, Dipartimento del Territorio: Piano di gestione dei rifiuti, Gennaio 1999.
- [6] Repubblica e Cantone del Ticino, Dipartimento del Territorio: Censimento rifiuti 1999-2000.
- [7] Professur für Stoffhaushalt und Entsorgungstechnik der ETH Zürich, Abt. VIII, Studienrichtung UmweltingenieurenInnen: Diplomarbeit Entorgungssystem der Stadt Zug. Analyse und Optimierung nach ökologischen und ökonomischen Kriterien. Verfasst von Markus Arnet und Simon Furter. Leitung und Betreuung von Prof. Dr. P. Baccini und Dr. H. Belevi.
- [8] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft: Handbuch: Emissionsfaktoren für statioäre Quellen, 1995.
- [9] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft: Ökoprofile von Treibstoffen, Umwelt-Materialien Nr. 104, 1998.
- [10] ESU, Datenbank der Ökoinventare für Energiesysteme, 1996.

## A1 RomOpur (VO) und Kompogas (VN): Kostensenkungen durch Verbesserungen in Technik u.a.

Kosten	VO gemäss [2]	VO neu <sup>1)</sup>	VN gemäss [2]	VN neu <sup>1)</sup>
<b>Investitionen Fr.</b>				
Landkauf	210'000	---	150'000	---
Kosten Asphaltfläche	750'000	---	225'000	---
Baukosten (Halle, etc.)	2'400'000	2'000'000 <sup>2)</sup>	3'050'000	1'500'000 <sup>2)</sup>
Stationäre Maschinen	3'000'000	4'240'000 <sup>3)</sup>	5'120'000	4'950'000 <sup>3)</sup>
Mobile Maschinen	900'000	---	500'000	---
<b>Total Investitionen</b>	<b>7'260'000</b>	<b>6'240'000</b>	<b>9'045'000</b>	<b>6'450'000</b>
<b>Investitionen Fr/t</b>	<b>726</b>	<b>416</b>	<b>905</b>	<b>430</b>
 <b>Betriebskosten Fr./Jahr</b>				
Kapitalzinsen <sup>4)</sup>	217'800	187'200	271'350	193'500
Abschreibungen Bau <sup>5)</sup>	126'000	80'000	131'000	60'000
Abschreibungen stat. Maschinen <sup>6)</sup>	300'000	282'667 <sup>3)</sup>	512'000	330'000 <sup>3)</sup>
Abschreibungen mob. Maschinen	180'000	---	100'000	---
Reparatur und Wartung	109'500	76'100 <sup>7)</sup>	145'150	64'500 <sup>7)</sup>
Versicherungen <sup>8)</sup>	28'200	---	35'580	---
<b>Total fixe Kosten</b>	<b>961'500</b>	<b>625'967</b>	<b>1'195'080</b>	<b>648'000</b>
 <b>Ausbringungskosten Kompost</b>				
Administration, Analysen etc.	42'000	30'000 <sup>9)</sup>	42'000	30'000 <sup>9)</sup>
Personalkosten <sup>10)</sup>	50'000	---	50'000	---
Arbeiten Dritter	300'000	520'000	300'000	360'000
Betriebsstoffe etc.	25'000	---	25'000	---
Fremdstoffe entsorgen	45'000	70'000 <sup>11)</sup>	45'000	50'000 <sup>12)</sup>
Gemeinkosten	24'000	---	24'000	10'000 <sup>12)</sup>
<b>Total variable Kosten</b>	<b>486'000</b>	<b>870'000</b>	<b>486'000</b>	<b>700'000</b>
 <b>Energieverkauf</b>				
Erlöse Kompost <sup>15)</sup>	75'000	430'000 <sup>14)</sup>	106'000	430'000 <sup>14)</sup>
<b>Total Betriebskosten</b>	<b>1'372'500</b>	<b>1'065'967</b>	<b>1'575'080</b>	<b>918'000</b>
 <b>Verarbeitungskosten Fr./t</b>				
Fixkosten/t	96.15	41.73	119.51	43.20
Variable Kosten/t	48.60	58.00	48.60	46.67
Energieverkauf/t	-7.50	-28.67	-10.60	-28.67
<b>Kosten pro t</b>	<b>137.25</b>	<b>71.06</b>	<b>157.51</b>	<b>61.20</b>

Tabelle 16: Vergleich der Kosten VO und VN; pro Anlagetyp werden die Zahlen aus [2] mit aktuellen Zahlen aus neuen Kostenübersichten der Anlageproduzenten verglichen

- 1) VO neu gemäss RomOpur aktuelle Kostenübersicht, VN neu gemäss Kompogas aktuelle Kostenübersicht. Die Kapazität der Anlagen beträgt hier 15'000 Jahrestonnen gegenüber 10'000 Jahrestonnen in [2]
- 2) Gemäss mündlicher Mitteilung von Herrn Würgler (Kompogas) max. 1'500'000; gemäss mündlicher Mitteilung von Herrn Caviezel (RomOpur) 2'000'000
- 3) Stationäre und mobile Maschinen zusammen erfasst, bei RomOpur inkl. ca. 360'000 Fr. Maschinenkosten des Kompostierbetriebs. Insgesamt werden in der RomOpur Kostenübersicht Kompostierbetriebskosten von 470'000 Fr. angegeben. Zusätzlich zu den Maschinenkosten von ca. 360'000 Fr. entfallen rund 80'000 Fr. auf eine halbe bis eine Arbeitskraft für den Kompostierbetrieb und rund 30'000 Fr. auf die Ausbringung des Komposts (mündliche Mitteilung von Herrn Caviezel).
- 4) Annahmen gemäss [2]: Zinssatz sei 5% von 60% des Neuwertes bei 100% Fremdkapital
- 5) Annahmen gemäss [2]: 4% der Baukosten pro Jahr, gemäss Annahmen in [2]
- 6) Annahmen gemäss [2]: Abschreibungsdauer 15 Jahre
- 7) Annahmen: VN: Jährlich 1% der Investitionskosten (mündliche Mitteilung von Herrn Würgler); VO: RomOpur Kostenübersicht
- 8) Gemäss Angaben der Anlagenvertreter heute vernachlässigbar
- 9) Zwischen 20'000 und 40'000 gemäss mündlicher Mitteilung von Herrn Würgler
- 10) 2 Stellen, Vollkostenrechnung, bei VO neu (RomOpur) zusätzlich eine Stelle für Kompostierbetrieb (siehe auch Anmerkung 3.)
- 11) Gemäss Kostenübersicht RomOpur. Die Entsorgung der Fremdstoffe ist in „Betriebsstoffe etc.“ enthalten.
- 12) Gemäss mündlicher Mitteilung von Herrn Würgler (Kompogas)
- 13) Gemäss Kostenübersicht RomOpur, aus Gründen der Vergleichbarkeit hier auch für VN übernommen
- 14) Die VN neu (Kompogas) produziert mit einer standardisierten 15 kt/a Anlage 3'066'000 Kwh/a, wovon mindestens 2.4 Mio in Verkauf gelangen, und der Rest für den Betrieb der Anlage verwendet wird (mündliche Mitteilung von Herrn Würgler); der Strompreis wird mit 16 Rp/Kwh bewertet. Der Strom liesse sich auch als Ökostrom zu 25 Rp/kwh verkaufen. In der RomOpur Kostenübersicht (VO neu) wird der Energieerlös explizit angegeben (Verkauf minus Zukauf von Energie für den Betrieb der Anlage). Die zwei Zahlen sind gleich.
- 15) RomOpur weist in der Kostenübersicht einen Komposterlös von rund 160'000 Fr. aus, der hier aus Gründen der Vergleichbarkeit weggelassen wird. Zudem bezahlen die Abnehmer nur in wenigen Kantonen für den Kompost (mündliche Mitteilung von Herrn Edelmann).

## A2 Daten und Berechnungen zu den klimawirksamen CO<sub>2</sub>-Emissionen

### Daten zur Vergärung

100m<sup>3</sup> Biogas /t Abfall \*25'000 t Abfall \* 0.8 (Anteil nicht verstromt) \* 0.9 (Wirkungsgrad für Erdgasqualität) = 1.8 Mio m<sup>3</sup>/a

(Quelle: mündliche Mitteilung Herr Edelmann)

### Durch Produktion von Biogas erreichbare CO<sub>2</sub>-Einsparung:

**700'000 l Benzinäquivalente/10'000 t-Anlage<sup>1)</sup> \* 2.5 Anlagen \* 100Fzkm/7l Benzin \* 0.227 kg CO<sub>2</sub>/Fzkm<sup>2)</sup> = 5.675 Mio. kg CO<sub>2</sub>/a ≈ 5'700 t CO<sub>2</sub>/a**

<sup>1)</sup> Quelle: www.kompogas.ch

<sup>2)</sup> Quelle: [9]

Die Emissionsfaktoren der KVA und die Gutschriften für den Dampfverkauf stammen aus [8]. Die Gutschriften für die Stromproduktion stammen aus [10].

	KVA Weinfelden	KVA Bazenheid	KVA St. Gallen	KVA Tessin	
<b>verbrannte Abfallmenge [t/a]</b>	118'096	70'356	74'917	125'000	1)
<b>Heizwert Abfall [MJ/t Abfall]</b>	12'600	13'400	12'132	<b>13'000</b>	<b>Geschätzt</b>
<b>Jahresleistung [MJ/a]</b>	1.49E+09	9.43E+08	9.09E+08	1.60E+09	gerechnet: Abfall*Heizwert Umrechnung der Leistung in Energie =(Leistung /3600s/h)
<b>Energieproduktion total [MWh/a]</b>	413'336	261'881	252'470	440'000	gerechnet: 30%*Energ.total
<b>Dampfverkauf an Dritte [MWh/a]</b>	165'643	22'300	55'935	132'000	<b>Geschätzt</b>
<b>Dampfverkauf an Dritte [%]</b>	40.1	8.5	22.2	<b>30</b>	gerechnet: 10% *Energ.total
<b>Elekt.abgabe ans öffentl. Netz [MWh/a]</b>	29'662	12'043	24'300	44'000	gerechnet: 10% *Energ.total
<b>Elekt.abgabe ans öffentl. Netz [%]</b>	7.2	4.6	9.6	<b>10</b>	<b>Geschätzt</b>

1) beim Szenario 2b wird weniger verbrannt, wegen der verbesserten Abfallzusammensetzung  
wird die Wärme und Stromproduktion als mind. gleichwertig angenommen

	KVA Tessin	Emissions- faktor	Einheit
<b>verbrannte Abfallmenge</b>	125'000 [t/a]	412.5	[kg CO2/t Abfall]
<b>Fossile CO2 Emissionen</b>	<b>50'000'000</b> [ <b>kg CO2/a</b> ]	73	[kg / GJ]
<b>Dampfverkauf an Dritte</b>	132'000 [MWh/a]	55	[kg / GJ]
Gutschrift Wärme (Öl)	<b>34'689'600</b> [ <b>kg CO2/a</b> ]		2)
Gutschrift Wärme (Erdgas)	<b>26'136'000</b> [ <b>kg CO2/a</b> ]		2)
<b>Elekt.abgabe ans öffentl. Netz</b>	44'000 [MWh/a]		2)
Gutschrift CH-Strom (Mittelspannung)	<b>973'526</b> [ <b>kg CO2/a</b> ]	6.146	[kg / GJ]
Gutschrift UCPTE-Strom (Mittelspannung)	<b>22'150'022</b> [ <b>kg CO2/a</b> ]	139.836	[kg / GJ]

2) Emissionsfaktor aus Buwal: Handbuch, Emissionsfaktoren für stat. Quellen S.241/ S.46 / S.42 [8]

### **A3 Kontaktierte Experten**

1. Daniele Zulliger, Stv. Direktor des Büros für Reinigungsanlagen und Abfälle, Sektion Luftreinhaltung und Gewässerschutz, Departement für Raumentwicklung des Kantons Tessin (sostituto capo dell'Ufficio degli impianti di depurazione e dei rifiuti, Sezione della protezione dell'aria e dell'acqua, Dipartimento del territorio del Cantone Ticino)
2. Dr. Mario Camani, Direktor der Sektion Luftreinhaltung und Gewässerschutz, Departement für Raumentwicklung des Kantons Tessin (capo della Sezione della protezione dell'aria e dell'acqua, Dipartimento del territorio del Cantone Ticino)
3. Dr. Werner Edelmann, arbi – Arbeitsgemeinschaft Bioenergie, Maschwanden
4. Mario Caviezel, BETEC Bioenergie AG (RomOpur-Anlagen)
5. Daniel Würgler, Kompogas AG, Glattbrugg