



lebensministerium.at

# KLIMARELEVANZ UND ENERGIEEFFIZIENZ DER ENERGETISCHEN UND STOFFLICHEN VERWERTUNG BIOGENER ABFÄLLE



lebensministerium.at

lebensministerium.at

lebensministerium.at

lebensministerium.at

lebensministerium.at

lebensministerium.at

lebensministerium.at

lebensministerium.at



lebensministerium.at

# Klimarelevanz und Energieeffizienz der energetischen und stofflichen Verwertung Biogener Abfälle

## **IMPRESSUM**

**Medieninhaber und Herausgeber:**

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

**Projektleitung:** Christoph Lampert

**AutorInnen:** Christoph Lampert, Maria Tesar, Peter Thaler

# INHALT

## Inhaltsverzeichnis

<b>INHALT</b> .....	<b>3</b>
<b>KURZFASSUNG</b> .....	<b>7</b>
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>11</b>
<b>2 SYSTEMBESCHREIBUNG UND METHODIK</b> .....	<b>12</b>
<b>3 AUFKOMMEN UND BEHANDLUNG BIOGENER ABFÄLLE</b> .....	<b>15</b>
<b>3.1 Definition und Herkunft der in dieser Studie betrachteten Abfallarten</b> .....	<b>15</b>
3.1.1 Getrennt gesammelte biogene Abfälle (Biotonne) .....	15
3.1.2 Grünabfälle .....	15
3.1.3 Küchen- und Kantinenabfälle .....	15
3.1.4 Marktabfälle .....	15
<b>3.2 Aufkommen der in dieser Studie betrachteten Abfallarten</b> .....	<b>16</b>
<b>3.3 Behandlungswege (Überblick Anlagen zur Behandlung biogener Abfälle und Einsatzmengen)</b> .....	<b>16</b>
3.3.1 Behandlung in Kompostieranlagen .....	16
3.3.2 Behandlung in Vergärungsanlagen.....	17
<b>3.4 Verwertungs-/Entsorgungswege der erzeugten Endprodukte (inkl. Mengen)</b> .....	<b>17</b>
<b>3.5 Zuordnung zu Verfahren</b> .....	<b>17</b>
3.5.1 Zuordnung von Abfällen zur Kompostierung.....	17
3.5.2 Zuordnung von Abfällen zur Vergärung .....	18
<b>4 BERECHNUNG DER ENERGIEBILANZ</b> .....	<b>19</b>
<b>4.1 Energieaufwand offene Kompostierung</b> .....	<b>19</b>
<b>4.2 Energieaufwand teilgeschlossene Kompostierung</b> .....	<b>19</b>
<b>4.3 Energiebilanz Vergärung</b> .....	<b>20</b>
4.3.1 Eigenenergiebedarf Nassvergärung .....	21
4.3.2 Eigenenergiebedarf Trockenvergärung .....	25
4.3.3 Energieaufwand Biomethanherzeugung .....	26
4.3.4 Erzeugte Nettoenergiemenge .....	27
<b>5 THG- UND NH<sub>3</sub>-EMISSIONEN</b> .....	<b>32</b>
<b>5.1 THG und NH<sub>3</sub>-Emissionen bei der Behandlung</b> .....	<b>32</b>
5.1.1 Emissionen bei der offenen Kompostierung .....	32
5.1.2 Emissionen bei teilgeschlossener Kompostierung.....	32
5.1.3 Emissionen bei den Vergärungsverfahren.....	33
5.1.4 Emissionen bei der Biogasaufbereitung zu Biomethan .....	37

<b>5.2</b>	<b>THG- und NH<sub>3</sub>-Emissionen bei Transport und Aufbringung</b> .....	<b>38</b>
5.2.1	Emissionen beim Transport .....	38
5.2.2	Emissionen bei der Ausbringung von Komposten und Gärresten .....	39
<b>6</b>	<b>EMISSIONSGUTSCHRIFTEN</b> .....	<b>42</b>
<b>6.1</b>	<b>Gutschriften für Strom-, Wärme und Biomethaneinspeisung</b> .....	<b>42</b>
<b>6.2</b>	<b>Substitution von Mineraldüngern</b> .....	<b>43</b>
6.2.1	Nährstoffgehalte und Nährstoffverfügbarkeit .....	44
<b>6.3</b>	<b>Vermeidung von Lachgasemissionen bei Aufbringung von Handelsdüngern</b> .....	<b>45</b>
<b>6.4</b>	<b>Kohlenstoffspeicherung durch Aufbringung von Komposten und Gärresten</b> .....	<b>46</b>
<b>7</b>	<b>ENERGIEBILANZ UND ENERGIEEFFIZIENZ DER BEHANDLUNG BIOGENER ABFÄLLE</b> .....	<b>47</b>
<b>7.1</b>	<b>Energieeffizienz der Nassvergärung ohne Separierung des Gärrestes</b> .....	<b>47</b>
7.1.1	Energiebilanz der Nassvergärung ohne Separierung des Gärrestes.....	47
7.1.1	Energieeffizienz der Nassvergärung ohne Separierung des Gärrestes.....	48
<b>7.2</b>	<b>Energiebilanz und Energieeffizienz der Vergärung mit Separierung des Gärrests</b> .....	<b>50</b>
<b>8</b>	<b>THG-BILANZ DER BEHANDLUNG BIOGENER ABFÄLLE</b> .....	<b>52</b>
<b>8.1</b>	<b>THG-Emissionen bei der Behandlung und Verwertung biogener Abfälle</b> .....	<b>52</b>
<b>8.2</b>	<b>THG-Gutschriften durch die Behandlung und Verwertung biogener Abfälle</b> .....	<b>53</b>
<b>8.3</b>	<b>Gesamt-THG-Bilanzen der Behandlung biogener Abfälle</b> .....	<b>54</b>
8.3.1	THG-Bilanz der Kompostierung .....	55
8.3.2	THG-Bilanzen der Nassvergärung mit Kompostierung des Gärrestes.....	56
8.3.3	THG Bilanzen der Trockenvergärung mit Kompostierung des Gärrestes.....	58
8.3.4	THG Bilanzen der Nassvergärung ohne Kompostierung des Gärrestes.....	59
8.3.5	Vergleich der THG-Bilanzen der betrachteten Verfahren .....	62
<b>9</b>	<b>EMPFEHLUNGEN ZUR BEHANDLUNG BIOGENER ABFÄLLE</b> .....	<b>66</b>
<b>9.1</b>	<b>Empfehlungen zur Zuordnung von Abfällen zu Behandlungsverfahren</b> .....	<b>66</b>
<b>9.2</b>	<b>Empfehlungen zur Verbesserung der THG-Bilanzen bei der Behandlung biogener Abfälle</b> .....	<b>66</b>

<b>10</b>	<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>69</b>
<b>11</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>70</b>
<b>12</b>	<b>ANHANG.....</b>	<b>76</b>



## KURZFASSUNG

Getrennt gesammelte biogene Abfälle werden entweder aerob in Kompostanlagen oder anaerob in Vergärungsanlagen behandelt.

Beide Behandlungsverfahren verursachen Emissionen von Treibhausgasen (Methan, Lachgas, z.T. CO<sub>2</sub> aus fossilen Quellen) z.B. beim Energieaufwand für die Behandlung, Prozessemissionen, Emissionen während der Lagerung, unvollständige Verbrennung in den Gasmotoren, Aufbereitungsverluste, etc.

Den Emissionen stehen Gutschriften gegenüber, etwa durch den Ersatz von Handelsdünger und durch die C-Fixierung im Boden. Bei der Vergärung kommen zusätzliche Gutschriften durch die Einspeisung von Strom, Wärme oder durch zu Biomethan aufbereitetem Biogas hinzu.

Ziel des Projektes ist es, die Kompostierung und Vergärung von biogenen Abfällen in Hinblick auf Klimarelevanz und Energieeffizienz zu vergleichen.

Im Rahmen der Studie wurden keine Messungen und Probenahmen durchgeführt. Daten wurden vor allem durch Literaturrecherche erhoben.

Als Behandlungswege wurden folgende Varianten betrachtet:

- offene Kompostierung
- teilgeschlossene Kompostierung
- Trocken- und Nassvergärung; bei der Nassvergärung wurde zwischen Verfahren „mit Separierung des Gärrestes“ und „ohne Separierung des Gärrestes“ unterschieden. Bei den Vergärungsvarianten wurden die Nutzungen des Biogases zur
  - Stromerzeugung,
  - Stromerzeugung mit Nutzung der Abwärme und
  - Aufbereitung von Biogas zu Biomethan

unterschieden.

### Nettoenergiegewinn und Energieeffizienz der Behandlungsverfahren

Der Nettoenergiegewinn ist bei der Aufbereitung von Biogas zu Biomethan am höchsten und beträgt im Mittel 599 kWh/ t biogener Abfall, wobei jedoch große Unterschiede zwischen den einzelnen Ausgangssubstraten auftreten (425 kWh/t Biotonne, 856 kWh/t Küchen- und Kantinenabfälle).

Der Nettoenergiegewinn ist bei der Nutzung von Biogas zur Strom- und Wärmeerzeugung auch bei vollständiger Abgabe der Wärme an externe Nutzer rund 15 % geringer.

Der Nettoenergiegewinn bei Nutzung des Biogases in einem Blockheizkraftwerk bei ausschließlicher Stromgewinnung liegt je nach Abfall zwischen 159 (Biotonne) und 342 kWh/t (Speisereste), im Mittel bei 230 kWh/t Ausgangsmaterial.

Im Schnitt über alle biogenen Abfälle wird bei der Erzeugung von Biomethan 48 % des Energieinhalts des Abfalls (38 % bei Grünschnitt bis 62 % bei Speiseresten), bei der Erzeugung von Strom und vollständiger Nutzung der erzeugten Wärme 41 % des Energieinhalts genutzt (33 % bei Grünschnitt bis 53 % bei Speiseresten). Wird ausschließlich Strom aus Biogas erzeugt, so wird im Schnitt nur 18 % des Energieinhalts des Abfalls genutzt (15 % bei Grünschnitt bis 25 % bei Speiseresten).

Wird der Gärrest kompostiert, so sinkt die Nettoenergiegewinn im Mittel um 44 kWh/t. Die Energieeffizienz sinkt im Vergleich zur Behandlung ohne Separierung des Gärrestes um 3 bis 4 Prozentpunkte.

#### THG-Bilanzen

Die höchsten THG-Emissionen (bis 155 kg CO<sub>2-eq</sub>/t Speisabfälle) und die höchsten THG-Gutschriften (bis 302 kg CO<sub>2-eq</sub>/t Speisabfälle) weisen die Varianten mit Erzeugung von Biomethan auf. Die geringsten Emissionen treten bei der teilgeschlossenen Kompostierung (60 kg CO<sub>2-eq</sub>/t) auf, die geringsten Gutschriften sind bei der offenen und bei der teilgeschlossenen Kompostierung mit 24 kg CO<sub>2-eq</sub>/t zu verzeichnen.

Die Vergärung mit Aufbereitung des Biogases zu Biomethan weist mit Werten bis zu -188 kg CO<sub>2-eq</sub>/t (Speisabfälle) die beste THG-Bilanz auf. Diese liegen um 30 bis 40 kg CO<sub>2-eq</sub>/t Ausgangsmaterial über den Varianten, in denen aus dem Biogas Strom erzeugt wird und die Wärme vollständig genutzt wird.

Die Vergärung ohne Separierung des Gärrestes hat einen deutlich besseren Saldo als die Vergärung mit Separierung und anschließender Kompostierung, solange die Emissionen vom Gärrestlager kleiner als 5 % sind.

Die Vergärung mit Separierung des Gärrestes von biogenen Abfällen mit relativ geringem Gasertrag (kleiner rund 55 kg Methan/t Ausgangsmaterial z.B. Biotonne) weist bei alleiniger Erzeugung von Strom eine schlechtere THG-Bilanz auf als die Kompostierung.

Die Kompostierung von Abfällen weist dann eine bessere THG-Bilanz als die Nassvergärung ohne Separierung auf, wenn hohe THG-Emissionen vom Gärrestlager auftreten und nur Strom genutzt wird.



### Empfehlungen

Die Vergärung von biogenen Abfällen weist in vielen Fällen eine bessere THG-Bilanz auf als die Kompostierung.

Eine gasdichte Abdeckung des Gärrestlagers mit energetischer Nutzung des Restgases ist als Stand der Technik vorzuschreiben, da Emissionen vom Gärrestlager stark die THG-Bilanz der Vergärung beeinflussen.

Bei der Standortfindung von Vergärungsanlagen ist auf die Möglichkeit einer weitgehenden Nutzung der erzeugten Wärme Augenmerk zu legen. Die Nutzung der erzeugten Wärme verbessert bei Biogasanlagen deutlich die THG-Bilanz.

Bei der Aufbereitung von Biogas zu Biomethan sollen Verfahren mit geringem Strom/Wärmebedarf und geringem Methanschlupf zur Anwendung kommen.

Durch eine gezielte Rotteführung können die THG-Emissionen aus der Kompostierung verringert werden.



## 1 EINLEITUNG

Die Behandlung getrennt gesammelter biogener Abfälle erfolgt entweder aerob in Kompostanlagen oder anaerob in Vergärungsanlagen. Während in Kompostanlagen nur Kompost erzeugt wird, wird in Vergärungsanlagen zusätzlich Biogas erzeugt, welches wiederum direkt in Strom und Wärme umgewandelt werden oder durch die Anreicherung des Methans zu Biomethan aufbereitet werden kann. Wird der Gärrest separiert, kann auch bei der Vergärung Kompost erzeugt werden.

Die Behandlung der biogenen Abfälle ist mit klimarelevanten Emissionen verbunden, einerseits durch den Energiebedarf für die Behandlung und andererseits durch Emissionen, die durch die ablaufenden biologischen Prozesse verursacht sind sowie durch technische Verluste bei der Aufbereitung / Nutzung des gebildeten Biogases (Methanschlupf bei der Verbrennung oder der Gasaufbereitung). Ebenso entstehen Emissionen bei der Aufbringung von Komposten und Gärresten.

Den Emissionen stehen bei den einzelnen Verfahren Gutschriften gegenüber, z. B. durch die Einspeisung von Strom, Wärme oder zu Methan aufbereitetem Biogas, wodurch andere Energieträger entsprechend eingespart werden können. Weitere Gutschriften ergeben sich etwa durch die Zufuhr von Nährstoffen in die Böden, wodurch mineralische Handelsdünger eingespart werden können, oder durch die Fixierung von Kohlenstoff in langfristig stabilen Humusverbindungen in Komposten.

Ziel des Projektes ist es, die Kompostierung mit der Vergärung von biogenen Abfällen in Hinblick auf Klimarelevanz und Energieeffizienz miteinander zu vergleichen um Entscheidungsgrundlagen für die weitere Ausrichtung der Behandlung dieser Abfälle zu schaffen.

Folgende biogenen Abfälle werden im Rahmen dieser Studie betrachtet:

- Getrennt gesammelte biogene Abfälle (Biotonne)
- Grünabfälle (Straßenbegleitgrün, Parkabfälle, Friedhofsabfälle, Grünabfälle aus dem privaten Bereich)
- Küchen- und Kantinenabfälle
- Marktabfälle

## 2 SYSTEMBESCHREIBUNG UND METHODIK

Folgende Verfahren werden betrachtet:

- Offene Kompostierung: passiv (konvektiv) belüftete Mieten, Belüftung erfolgt durch regelmäßiges Umsetzen; Zeilenmieten oder Trapezmieten, Erzeugung von Fertigkompost; Einsatz des erzeugten Kompostes in der Landwirtschaft;
- Teilgeschlossene Kompostierung: Geschlossene, aktiv belüftete Intensivrotte, offene passiv belüftete Nachrotte; Erfassung der Abluft in der Intensivrotte; Reinigung der Abluft in einem Biofilter; Erzeugung von Fertigkompost; Einsatz des erzeugten Kompostes in der Landwirtschaft;
- Nassvergärung<sup>1</sup> mit Separierung der Feststoffe: teilgeschlossene Kompostierung des festen Gärrestes und anschließende Aufbringung in der Landwirtschaft, Reinigung des Presswassers in einer kommunalen Kläranlage<sup>2</sup>;
- Trockenvergärung mit Separierung der Feststoffe: kontinuierliche Trockenvergärung<sup>3</sup>; teilgeschlossene Kompostierung des festen Gärrestes und anschließende Aufbringung in der Landwirtschaft, Reinigung des Presswassers in einer kommunalen Kläranlage;
- Nassvergärung (Co-Vergärung): Nassvergärung ohne Separierung der Feststoffe: Ausbringung des Gärrestes in die Landwirtschaft

Bei allen Vergärungsverfahren wurden folgende Verwertungswege des erzeugten Biogases untersucht:

- Verstromung des Biogases, ohne Nutzung der Abwärme

---

<sup>1</sup> Verfahren, bei denen das Substrat im Fermenter eingangs einen Trockensubstanzanteil von 10 - 15% aufweist, vollständige Durchmischung findet statt

<sup>2</sup> Behandlung von Presswasser in kommunalen Kläranlagen: Die Einleitung von Abwasser, dessen Beschaffenheit mehr als geringfügig von der des häuslichen Abwassers abweicht, in die wasserrechtlich bewilligte Kanalisation eines anderen wird als Indirekteinleitung bezeichnet. Unter welchen Voraussetzungen derartige Abwässer in die Kanalisation eingeleitet werden dürfen wird in der Indirekteinleitungsverordnung (IEV) ((BGBI. II Nr. 222/1998 i.d.g.F) vorgegeben. Gemäß der IEV bedarf die Einleitung von Abwässern aus der biologischen Abfallbehandlung einer wasserrechtlichen Bewilligung.

<sup>3</sup> Verfahren bei dem das Inputmaterial im Fermenter eingangs einen Trockensubstanzanteil von 20 - 40% aufweist; keine vollständige Durchmischung findet statt (Pfropfenstrom)

- Verstromung mit Nutzung der Abwärme
- Aufbereitung des Biogases zu Biomethan

Eingangsdaten für die Berechnungen wurden über Literaturrecherche gewonnen. Es wurden keine eigenen Messungen durchgeführt.

Bei den eingesetzten und substituierten fossilen Energieträgern sowie bei Strom wurden die Vorketten zur Erzeugung dieser Energieträger berücksichtigt. Dazu wurde das Emissionsmodell GEMIS (Globales Emissionsmodell Integrierter Systeme)<sup>4</sup> bzw. die teilweise an österreichische Bedingungen angepasste Version GEMIS Österreich Vers.4.5 verwendet.

Betrachtet wurden die klimarelevanten Gase Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>; aus fossilen Quellen, wie Diesel, Erdgas), Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O).

Als Zeithorizont für die Klimarelevanz der einzelnen Treibhausgase wurde 100 Jahre gewählt. Für Methan wurde dementsprechend ein Treibhausgasfaktor (Äquivalenzfaktor) von 25 und für Lachgas von 298 verwendet (IPCC 2007).

Im Bericht angegebene Emissionen an THG sind immer als CO<sub>2-eq</sub> zu verstehen.

Für die Gutschrift aus der erzeugten Strommenge bzw. für die Emissionen bei zugekauftem Strom wurde der österreichische Strommix 2008 angesetzt.

Als Bezugsgröße für den Vergleich der Behandlungsverfahren wurde 1 t biogenes Inputmaterial gewählt. Werden in einem Prozess zusätzliche Inputmaterialien benötigt, z.B. Strukturmaterial für die Kompostierung der Pressrückstände, so werden diese Materialien nicht in die Berechnung der THG-Emissionen bzw. der Gutschriften einbezogen. Analog wird bei einer Co-Vergärung, bei der biogene Abfälle in untergeordneten Mengen einem anderen Gärsubstrat zugegeben werden, das Hauptgärsubstrat nicht berücksichtigt.

In der Literatur sind allerdings vielfach nur Emissionswerte für die bei der Behandlung erzeugten Endprodukte ausgewiesen (z.B. Emissionen bei der Ausbringung von 1 t Kompost). Um Emissionen, Gutschriften etc. jedoch auf die gewählte Bezugsgröße (eine Tonne Ausgangsmaterial) beziehen zu können (z.B. THG-Emissionen je t Speisereste bei der Trockenvergärung mit Kompostierung des Gärrestes) werden Massenbilanzen der einzelnen Verfahren benötigt. Ausgangspunkt für die Massenbilanz ist eine Tonne aufbereiteter biogener Abfall.

Für die offene Kompostierung sowie die teilgeschlossene Kompostierung wurden für alle vier betrachteten biogenen Abfälle folgende Annahmen für die Massenbilanzen getroffen:

- aus 1 Tonne aufbereitetem Ausgangsmaterial werden 350 kg Kompost (FS) erzeugt

---

<sup>4</sup> GEMIS berücksichtigt alle wesentlichen Prozesse von der Primärenergie- und Rohstoffgewinnung bis zur Nutzenergie- und Stoffbereitstellung und bietet somit die Möglichkeit, neben den produktspezifischen lokalen Emissionen auch die vorgelagerten Emissionen zu berücksichtigen.

Die Behandlung von allfällig anfallendem Sickerwasser wurde bei der Berechnung der THG-Emissionen nicht berücksichtigt.

Für die teilgeschlossene Kompostierung von bei der Nass- und Trockenvergärung separierten Gärresten wurden folgende Annahmen für die Massenbilanzen getroffen:

- die biogenen Ausgangsmaterialien haben vor der Vergärung einen TS-Gehalt von 35 %
- der Verlust an TS durch die Vergärung der einzelnen Ausgangsmaterialien ergibt sich durch den erwarteten Gasertrag und den Anteilen an CH<sub>4</sub> und CO<sub>2</sub> im Biogas.
- bei der Feststoffseparierung gelangen unabhängig vom Ausgangsmaterial 80 % der nach der Vergärung verbleibenden TS in den festen Gärrest, 20 % in die flüssige Phase
- der TS-Gehalt des festen Gärrests beträgt unabhängig vom Ausgangsmaterial 35 %
- Der Rotteverlust bei der Kompostierung der festen Gärrückstände beträgt unabhängig vom vergorenen Ausgangsmaterial 40 % der Feuchtmasse

Unter diesen Annahmen werden je Tonne biogener Abfälle letztlich zwischen 225 und 300 kg Kompost aus dem Gärrest erzeugt.

Bei der Nassvergärung ohne Separierung des Gärrestes wurden folgende Annahmen für die Massenbilanzen getroffen:

- Die organische Substanz des Gärrestes wird nach der Aufbringung auf dem Feld aerob stabilisiert („kompostiert“) und damit teilweise in stabile Humusverbindungen überführt.
- Die produzierte Kompostmenge aus den separierten festen Gärresten ist um 20 % niedriger<sup>5</sup> als der aus dem nicht separierten Gärrest gebildete „Kompost“ der Nassvergärung ohne Separierung

Die Entsorgung der abgetrennten Reststoffe aus der Kompostierung sowie der Gärgut/Gärrestaufbereitung wird nicht berücksichtigt.

---

<sup>5</sup> Bei der Vergärung mit Separierung gelangen 20% der TS in die flüssige Phase, die im Falle ohne Separierung vollständig auf das Feld gelangt

### **3 AUFKOMMEN UND BEHANDLUNG BIOGENER ABFÄLLE**

Folgende biogenen Abfälle werden im Rahmen dieser Studie betrachtet:

- Getrennt gesammelte biogene Abfälle (Biotonne)
- Grünabfälle (Straßenbegleitgrün, Parkabfälle, Friedhofsabfälle, Grünabfälle aus dem privaten Bereich)
- Küchen- und Kantinenabfälle
- Marktabfälle

#### **3.1 Definition und Herkunft der in dieser Studie betrachteten Abfallarten**

##### **3.1.1 Getrennt gesammelte biogene Abfälle (Biotonne)**

Die in Biotonnen getrennt gesammelten biogenen Abfälle setzen sich aus organischen Küchenabfällen bzw. Speisereisten, aus Pflanzenresten und organischen Abfällen aus Hausgärten, wie beispielsweise Grasschnitt, Laub, Blumen, Fallobst bzw. sperrigen Grünabfällen wie Strauch- und Baumschnitt zusammen.

##### **3.1.2 Grünabfälle**

Grünabfälle setzen sich im Wesentlichen aus Gras, Laub, Strauch- und Baumschnitt zusammen und stammen sowohl aus dem nicht-privaten als auch dem privaten Bereich. Darunter fallen kommunale Garten- und Parkabfälle (Grünanlagen, Parks und Sportstätten, Straßenbegleitgrün, Flussläufe), getrennt erfasste Grünabfälle aus Haus- und Schrebergärten sowie biogene Abfälle aus dem Friedhofsbereich.

##### **3.1.3 Küchen- und Kantinenabfälle**

Küchen- und Kantinenabfälle stammen aus Betrieben der Gastronomie, aus der Beherbergung, aus Catering-Einrichtungen sowie Großküchen von Schulen, Krankenhäusern, Kasernen, Heimen, etc.. Es handelt sich um pflanzliche und tierische Abfälle aus der Zubereitung und dem nicht vollständigen Verzehr von Nahrungsmitteln (vornehmlich Kochreste bzw. Tellerreste) einschließlich gebrauchten Speiseöls.

##### **3.1.4 Marktabfälle**

Marktabfälle sind Abfälle aus dem Lebensmittelhandel bzw. von Lebensmittelgroß- oder Lebensmitteldetailmärkten. Sie bestehen aus einem Gemisch aus pflanzlichen und tierischen Rückständen aus dem Waren-

angebot des Handels und der Märkte, aus Verpackungen (zumeist aus Holz, Kartonagen und Kunststoffen), aus original verpackten und abgelaufenen oder nicht abgelaufenen Lebensmitteln sowie in geringeren Anteilen aus Restmüll.

### 3.2 Aufkommen der in dieser Studie betrachteten Abfallarten

Auf Basis von Angaben in (*BMLFUW 2009*) beträgt das Aufkommen der in dieser Studie betrachteten Abfälle im Jahr 2008 rd. **2 Mio. t**.<sup>6</sup> Nur ein Teil des Aufkommens wird tatsächlich getrennt erfasst und einer Verwertung zugeführt. Ein nicht unbedeutender Anteil der Grünabfälle verbleibt am Anfallsort und verrottet dort ohne Einbringung in Verwertungsanlagen (*BMLFUW 2009*).

Biotonne: Insgesamt wurden im Jahr 2008 in Österreich **475.623 t** Abfälle über die Biotonne gesammelt (*BMLFUW 2009*). Gemäß Untersuchungen von ADMILUA (2009) beträgt der Anteil an Küchenabfällen im Biotonnematerial etwa 45 %.

Grünabfälle: Das Aufkommen von Grünabfällen aus dem nicht privaten Bereich betrug im Jahr 2008 **656.000 t**, wobei etwa 245.000 t auf Garten- und Parkabfälle, 207.000 t auf Friedhofsabfälle und 204.000 t auf Straßenbegleitgrün entfielen. Zusätzlich dazu wurden **470.300 t** Grünabfälle aus dem privaten Bereich getrennt gesammelt (*BMLFUW 2009*).

Küchen- und Kantinenabfälle: Das Aufkommen an Küchen- und Kantinenabfällen betrug im Jahr 2008 **103.500 t**. (*BMLFUW 2009*).

Marktabfälle: Das Aufkommen an Marktabfällen wird in (*BMLFUW 2009*) mit maximal **247.000 t** angegeben<sup>7</sup>.

### 3.3 Behandlungswege (Überblick Anlagen zur Behandlung biogener Abfälle und Einsatzmengen)

#### 3.3.1 Behandlung in Kompostieranlagen

Insgesamt besitzen die österreichischen Kompostieranlagen eine Kapazität von knapp 1.500.000 t/a (ARGE Kompost/Biogas). Neben biogenen Abfällen werden auch andere Abfallarten wie 30.000 t/a Wirtschaftsdünger (*BMLFUW 2010*), ~10 % des Klärschlamm-Aufkommens und ~45.000 t/a Gärrest aus Abfallvergärungsanlagen kompostiert.

---

<sup>6</sup> Zusätzlich zu den genannten Abfallströmen wird ein Aufkommen an biogenen Abfällen von jährlich etwa **1.500.000 t** einer Eigenkompostierung zugeführt. Diese Abfälle sind in ihrer Zusammensetzung jener der getrennt gesammelten Abfälle aus Haushalten vergleichbar (*BMLFUW 2010*).

<sup>7</sup> Marktabfälle werden nur zum Teil getrennt erfasst



### 3.3.2 Behandlung in Vergärungsanlagen

In Österreich sind derzeit 5 Großanlagen zur Vergärung biogener Abfälle in Betrieb: Die Anlage Salzburg – Siggerwiesen ist als Trockengärverfahren (System DRANCO) konzipiert, ebenso wie die Vergärungsanlage Lustenau und die Anlage Roppen (jeweils System KOMPOGAS, thermophil). Die Anlage Wels (System LINDE, thermophil) und die Anlage Wien entsprechen dem Nassgärverfahren. Zusammen haben diese 5 Anlagen eine Behandlungskapazität von etwa **80.000 Jahrestonnen** Bioabfall (BMLFUW 2006, Betreiberangaben).

Zur Menge der in Co-Vergärungsanlagen eingesetzten biogenen Abfälle liegen keine Angaben vor. Nach (BMLFUW 2010) befanden sich 2009 186 Biogasanlagen, die keine reinen NAWAROS<sup>8</sup>-Anlagen sind, mit einer Gesamtkapazität von mehr als 393.000 Tonnen in Betrieb (Datenstand November 2009).

### 3.4 Verwertungs-/Entsorgungswege der erzeugten Endprodukte (inkl. Mengen)

Die Erhebung der Verwertung der erzeugten Komposte und des Gärguts wird derzeit durch die ARGE Kompost & Biogas Österreich im Auftrag des Lebensministeriums durchgeführt. Mit Redaktionsschluss lag eine umfangreiche Liste mit Anlagen und Inputmengen vor, die aber teilweise noch durch die ARGE Kompost & Biogas verifiziert werden müssen.

### 3.5 Zuordnung zu Verfahren

#### 3.5.1 Zuordnung von Abfällen zur Kompostierung

Biogene Abfälle eignen sich gut für die Kompostierung, wobei jedoch Strauchschnitt und Äste nur schwer biologisch abbaubar sind.

Eine geordnete Kompostierung setzt eine entsprechende Zusammensetzung des Ausgangsmaterials voraus (C:N-Verhältnis, Wassergehalt, etc.). Eine zielgerichtete Mischung verschiedener biogener Abfälle ist deshalb zumeist notwendig. In entsprechenden Mischungen können alle betrachteten biogenen Abfälle kompostiert werden.

Da Strauchschnitt und Äste nährstoffarm und nur schwer biologisch abbaubar sind, steht eine thermische Verwertung im Vordergrund. Es muss jedoch ausreichend Strukturmaterial erhalten bleiben, um eine qualitativ hochwertige Kompostierung biogener Materialien oder fester Gärreste durchführen zu können.

---

<sup>8</sup> NAWARO: **N**achwachsende **R**ohstoffe

### 3.5.2 Zuordnung von Abfällen zur Vergärung

Mit wenigen Ausnahmen eignen sich kompostierbare Materialien auch für die Vergärung. Ligninreiche (holzige) Materialien, wie Baum- und Strauchschnitt, sind jedoch für die Vergärung nicht geeignet, da Lignin anaerob nicht abgebaut werden kann. Materialien mit höherem Rohfaseranteile (z.B. Grasschnitt mit spätem Erntezeitpunkt) erschweren den anaeroben Abbau und führen zu geringeren Gaserträgen.

Material aus der Biotonne, Grünschnitt, Landschaftspflegematerial, auch Stroh, Gras und andere (landwirtschaftliche) Abfälle sind typischerweise schlecht oder nicht rührbar und weisen oft einen hohen Anteil an Störstoffen auf. Für einen störungsfreien Reaktorbetrieb ist daher eine weitestgehende Voraufbereitung dieser Abfälle notwendig.

#### **Grünabfälle aus dem nicht privaten Bereich**

Bei Strauchschnitt und Ästen steht eine energetische Nutzung im Vordergrund, da diese Materialien nährstoffarm und biologisch schwer abbaubar sind (hoher Ligninanteil von 20 – 30 %). Der Einsatz erfolgt z.B. im Brennstoffmix mit anderen Materialien.

Ausreichend Strukturmaterial muss jedoch erhalten bleiben, um eine qualitativ hochwertige Kompostierung biogener Materialien oder fester Gärreste durchführen zu können.

Andere Grünabfälle (Grünanlagen, Parks und Sportstätten, Straßenbegleitgrün, Flussläufe, etc.) sind strukturreiche, fasrige Abfälle und damit für Trockengär-systeme geeignet. Eine Nassvergärung ist nach Zerkleinerung des Abfalls möglich.

#### **Küchen- und Kantinenabfälle (Speisereste)**

Diese Abfälle sind stärker wasserhaltig und pastös mit einem hohen Anteil an leichtabbaubaren Stoffen und dadurch vor allem zur Nassvergärung geeignet.

#### **Biotonnematerial**

Dieses Material kann unterschiedliche Mengen an Grünabfallanteilen aufweisen (z.B. saisonal variabel).

Für eine Nassvergärung ist eine Zerkleinerung notwendig.

Bei Biotonnematerial mit hohem Grünabfallanteil ist vor der Vergärung eine Klassierung sinnvoll, bei der das Überkorn abgetrennt und einer Kompostierung oder einer energetischen Verwertung zugeführt wird.

Im Fall eines hohen Anfalls an Strauch- und Baumschnitt kann eine getrennte Erfassung sinnvoll sein.

## 4 BERECHNUNG DER ENERGIEBILANZ

Für die Kompostierung wird keine Energiebilanz erstellt, da bei diesem Verfahren die organische Masse aerob unter Bildung von CO<sub>2</sub> abgebaut wird und die entstehende Wärme energetisch nicht genutzt werden kann. Es wird nur der Energieaufwand dargestellt.

### 4.1 Energieaufwand offene Kompostierung

Bei der offenen Kompostierung wird Energie für die Materialaufbereitung, das Auf- und Umsetzen der Mieten und das Absieben des Kompostes benötigt. In der Literatur konnten nur wenige Energieangaben gefunden werden.

Tabelle 1: Energiebedarf der offenen Kompostierung in kWh je t biogener Abfall

Elektrischer Energiebedarf	Treibstoff	Gesamtenergiebedarf	Literatur
2,8 – 3,6		25,75	SPRINGER 2009
		45 (30 – 60)*	EPEA 2008
27*	33*		SCHMIDT & KEHRES 2009
3,75	31,6		LECHNER ET AL. 2005

\*Kompostanlagen (nicht unterschieden ob offen oder teilgeschlossene Anlagen)

Angesetzte Werte für den Energiebedarf der offenen Kompostierung in den weiteren Berechnungen: Gesamtenergiebedarf 35 kWh / t Ausgangsmaterial; davon 30 kWh/t Diesel, 5 kWh/t Strom

### 4.2 Energieaufwand teilgeschlossene Kompostierung

Bei der teilgeschlossenen Kompostierung wird Energie für die Materialaufbereitung und das Aufsetzen der Mieten, für Belüftung (Druck- oder Saugbelüftung) in der Hauptrotte (Heißrotte), Hallenentlüftung, für den Betrieb des Biofilters und die Absiebung des Kompostes benötigt.

Die eingesetzte Lüftungstechnik und die Führung des Luftstroms sind entscheidende Parameter für die Höhe des Energieverbrauchs (MAILE 2008). Bei belüfteten Verfahren beträgt der Anteil an elektrischer Energie im Schnitt rund 60 % des gesamten Energieverbrauchs (SPRINGER 2009).

Tabelle 2 Energiebedarf der (teil)geschlossenen Kompostierung in kWh je t biogener Abfall

Elektrischer Energiebedarf	Treibstoff	Gesamtenergiebedarf	Literatur
----------------------------	------------	---------------------	-----------

		100	EDELMANN & SCHLEISS 2001
		60 - 80	MARGULL & STEGMANN 1996
		60 - 80	HEIN & SCHNEBLE 2008
		30 - 120 (Tafelmiete)	UEC 2010
		30 - 40 (Boxen, Container)	
		20 - 30 (Tunnelverfahren)	
		30 - 100 (kleine Anlagen 5.000-6.000 t)	BIDLINGMAIER & MÜSKEN 1995
		40 - 80 (mittl. Anlagen 10 – 12.000 t)	
		20 - 60 (große Anlagen 20-25.000 t)	
		45	KERN & RAUSSEN 2009
		22	SPRINGER 2009
	15*	37*	
	(7 – 52)	(10 – 16,5) (22 -62*)	
		25 – 50	RECYCLINGPORTAL 2010

\*Angaben in Literaturquelle sind auf 1 t Output bezogen; Umrechnung der Durchschnittswerte auf das Ausgangsmaterial mit einem Masseverlust von 65 %

Angesetzte Werte für den Energiebedarf der teilgeschlossenen Kompostierung: Gesamtenergiebedarf 70 kWh / t Ausgangsmaterial; davon 15 kWh/t Diesel, 55 kWh/t Strom

### 4.3 Energiebilanz Vergärung

Energiebilanzen wurden für die Nass- und Trockenvergärung sowohl für die Erzeugung von Strom und Wärme in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) als auch für die Erzeugung von Biomethan erstellt. Bei den Energiebilanzen werden die Aufwendungen an Energie für die Erzeugung des Biogases bzw. des Biomethans sowie für die Kompostierung der anfallenden festen Gärreste der extern abgegebenen Energiemenge (in Form von Strom, Wärme, Biomethan) gegenüber gestellt.

Bezugsgröße der Energiebilanzen ist 1 t Ausgangsmaterial an biogenen Abfällen.

Vergärungsanlagen benötigen für die Erzeugung von Biogas sowohl elektrische Energie als auch Wärmeenergie.

Elektrischer Energie wird vor allem für das Durchmischen der Gärreaktoren, den Betrieb des Blockheizkraftwerkes sowie die Aufbereitung der Abfälle benötigt. Zusätzlich wird Strom u.a. für die Einbringung des Substrats und für Pumpen benötigt.

Wärme wird benötigt um die zugeführte Substratmenge auf das Temperaturniveau im Fermenter anzuwärmen und andererseits, um die Temperatur im Fermenter konstant zu halten.

Wird aus dem Biogas Biomethan erzeugt, so ist ein zusätzlicher Energieeinsatz für die Aufbereitung notwendig. Bei der Biomethanherzeugung ist zu berücksichtigen, dass diese Anlagen normalerweise erst ab einer Mindestgröße zusätzlich zur Gasaufbereitung ein eigenes BHKW betreiben. Wird kein eigenes BHKW betrieben, so muss die Energie für den Eigenstrombedarf durch Stromzukauf und der Wärmebedarf durch das erzeugte Biogas oder durch den Zukauf von Energieträgern gedeckt werden.

#### 4.3.1 Eigenenergiebedarf Nassvergärung

Die folgende Tabelle sind Literaturdaten über den Stromeigenverbrauch von Nassvergärungsanlagen angeführt.

*Tabelle 3: Stromeigenverbrauch von Nassvergärungsanlagen mit BHKW in kWh je t biogener Abfall*

Stromeigenverbrauch	Stromeigenverbrauch in % der erzeugten Strommenge	Literatur
100 (einstufig mesophiles Verfahren)		EPEA 2008
98 (BTA-Verfahren)		LIEBLE ET AL. 2003
89		HOPPENHEIDT ET AL. 2000
85 (Anlagen mit 10.000 t Input), 75 (Anlagen mit 20.000 t Input) 65 (Anlagen mit 40.000 t Input)		KERN & TURK 2007
	20 %	VOGT 2008
50		MARGULL & STEGMANN 1996
7,4 – 47	5,0 - 20,6 %	FNR 2009

Durchschnitt 26	Durchschnitt: 7,9 %	
	5-9 % bei optimierten Anlagen; bei biogenen Abfällen etwas höher	PUCHAS ET AL. 2008
	10 %	IE 2007
16 – 57	4,6 bis 17,4 %	LEHNER ET AL. 2009
	Literaturwerte: 2 – 10 %, Durchschnitt 5,8 % Angaben der Anlagenhersteller für eine Standardanlage: 5 – 8 %, Durchschnitt 6,5 %.	DACHS & REHM 2006
48		KERN & RAUSSEN 2005
	15 %	KERN & RAUSSEN 2009
	11 %	SCHLEISS 1999
0,51 - 51	0,53 - 14 %, im Mittel 6 %	FAL 2005
	2,5 %	ARGE BIOGAS

Die Bandbreite der Eigenstromverbräuche ist sowohl in Hinblick auf die absoluten Werte (kWh/t Input) als auch auf die relativen Werte (% der Eigenstromproduktion) groß. Ein wesentlicher Grund dafür ist, dass die Anlagen in ganz unterschiedlichem Ausmaß biogene Materialien einsetzen (nur Bioabfälle – Cofermentation mit Gülle – nur nachwachsende Rohstoffe, etc.). Der elektrische Energieverbrauch für Anlagen mit Bioabfall als Gärsubstrat ist deutlich höher als bei den anderen Anlagen, da zusätzlicher Aufwand bei der Aufbereitung der Abfälle hinzukommt. In (JUNGBLUTH ET AL. 2007) teilt sich die Energie zwischen Aufbereitung (Zerkleinerung, Störstoffabtrennung, tlw. Hygienisierung), Vergärung und Entwässerung im Verhältnis 37,5 : 50 : 10 auf. Hinzu kommen Unterschiede in der technischen Ausstattung der Anlagen (z.B. unterschiedliche Rührwerke).

Angesetzter Wert für die Berechnungen: Stromeigenverbrauch Nassvergärung: 70 kWh/ t Input

Die wesentlichen Stromverbraucher bei der Nassvergärung mit anschließender energetischer Nutzung des Biogases in einem BHKW sind die Rührwerke (bei Nassvergärung) und die BHKWs (Notkühler, Gasverdichter, Umwälzpumpen der Motorkühlung, Raumlüftung, etc.).

In der folgenden Tabelle sind die anteiligen Energieverbräuche von zwei wesentlichen Stromverbrauchern angeführt.

*Tabelle 4: Hauptstromverbraucher Biogasanlagen*

	Anteil an Eigenstrom	Literatur (in Klammer: Anzahl der in Literatur berücksichtigten Anlagen)
BHKW	44 % (23 % – 60 %)	DACHS & REHM 2006 (5)
BHKW	26 % (9 % - 40 %)	FAL 2005 (8)
BHKW	55 % (31 % - 88 %)	LEHNER & EFFENBERG 2009 (7)
Rührwerk	39 % (29 % – 54 %)	DACHS & REHM 2006 (5)
Rührwerk	38 % (15 % – 57 %)	FAL 2005 (8)
Rührwerk	25 % (5 % - 58 %)	LEHNER & EFFENBERG 2009 (8)

Der Stromverbrauch des BHKW ist zu einem großen Teil abhängig von der verwerteten Gasmenge, insbesondere, wenn Wärme primär für den Eigenverbrauch produziert wird.

Bei den Rührwerken kann davon ausgegangen werden, dass deren Stromverbrauch nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit der Gasproduktion stehen.

Es liegen keine Daten vor, die es erlauben, den Eigenstrombedarf belastbar mit dem Gasertrag in Abhängigkeit vom Gärsubstrat zu koppeln.

Der Eigenstromverbrauch je Tonne Inputmaterial wird deshalb für die Berechnungen unabhängig von der gebildeten Gasmenge angesetzt.

Wird eine Separation des Gärrestes durchgeführt, so benötigt diese Energie. Aufgrund der großen Schwankungsbreite und Unsicherheit des gesamten Energieaufwandes bei der Vergärung wird der Energieverbrauch für die Separation jedoch nicht gesondert betrachtet. Der Stromverbrauch von Pressschneckenseparatoren liegt bei rd. 0,4 kWh pro m<sup>3</sup> aufbereitetem Gärrest, bei Dekantern bei 7 kWh pro m<sup>3</sup> (KTBL 2007).

Wärmeeigenbedarf:

Wärme wird benötigt für die Erwärmung des Substrats auf die Prozesstemperatur (ca. 37°C bei mesophilen Verfahren) Hinzu kommt der Wärmebedarf zum Ausgleich der Abstrahlungsverluste des Fermenters, die von der Oberfläche des Fermenters, der Isolierung und der Temperaturdifferenz zwischen Betriebstemperatur im Fermenter und der Umgebungstemperatur abhängen.

Die folgende Tabelle 5 gibt einen Überblick über Literaturdaten zum Wärmeeigenverbrauch von Nassvergärungsanlagen

*Tabelle 5: Wärmeeigenverbrauch von Nassvergärungsanlagen in kWh je t biogener Abfall*

Wärmeeigenverbrauch	Wärmeeigenverbrauch der erzeugten Abwärme	in %	Literatur
120			MARGULL & STEGMANN 1996

Berechnung der Energiebilanz

89		HOPPENHEIDT ET AL. 2000
93 (BTA-Verfahren)		LIEBLE ET AL. 2003
	25 %	VOGT 2008
	30 %	IE 2007
	Bei massiver Cofermentation deutlich unter 20 %	FNR 2004
44 – 94		FAL 2005
48		KERN & RAUSSEN 2005
	20 %	KERN & RAUSSEN 2009
130 (50 – 180)		KERN & TURK 2007
	21 %	SCHLEISS 1999
	2,2 bis 79 %	FAL 2005
	5,5 % - 21,5 %	FNR 2009
	10 %	ARGE BIOGAS

Angesetzter Werte für die Berechnungen des Wärmeeigenbedarfs: 90 kWh/t  
Input

Für die Verdünnung der biogenen Abfälle bei Nassvergärung wird angenommen, dass Prozesswasser verwendet wird, das nicht erwärmt werden muss. Weiters wird der Wärmebedarf für das Erwärmen des Gärgutes und für die Aufrechterhaltung der Reaktortemperatur unabhängig von der gebildeten Gasmenge angesetzt.

Bei der Vergärung von Speiseresten ist eine Hygienisierung des Inputmaterials notwendig (1 h bei 70 °C). Der zusätzliche Wärmebedarf beträgt rund 50 kWh/ t Material. Dafür kann die Abwärme des BHKWs genutzt werden bzw. kann bei Anlagen die Biogas zu Biomethan aufbereiten, das Biogas in geeigneten Brennern zur Erwärmung eingesetzt werden.

Angesetzter Wert für die Hygienisierung von Speiseresten: Wärmebedarf von  
50 kWh/t



### 4.3.2 Eigenenergiebedarf Trockenvergärung

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über Literaturdaten zum Stromeigenverbrauch von Trockenvergärungsanlagen

*Tabelle 6: Stromeigenverbrauch von Trockenvergärungsanlagen in kWh je t biogener Abfall*

Stromeigenverbrauch	Stromeigenverbrauch in % der erzeugten Strommenge	Literatur
85 - 100		HEIN & SCHNEBLE 2008
73 (Valorga-Verfahren)		LIEBLE ET AL 2003
70		GESSLER & KELLER
65 (Anlagen mit 10.000 t Input),		KERN & TURK 2007
55 (Anlagen mit 20.000 t Input)		
45 (Anlagen mit 40.000 t Input)		
	Garagenstromverfahren: 1 % Pfpfenstromverfahren: 5 %	IE 2007
43 - 71		SCHLEISS & EDELMANN 2000
24 – 47 (kontinuierliche Anlagen)		FNR 2009

Angesetzter Wert für die Berechnungen: Stromeigenverbrauch: 70 kWh/ t Input

Für die notwendige Hygienisierung von Speiseabfällen werden die gleichen Annahmen die in Kapitel 4.3.1 bei der Nassvergärung angeführt wurden, getroffen (zusätzlich 50 kWh Strom je Tonne Input).

Wärmeeigenbedarf:

Die folgende Tabelle 7 gibt einen Überblick über Literaturdaten über den Wärmeeigenverbrauch von Trockenvergärungsanlagen

*Tabelle 7: Wärmeeigenverbrauch von Trockenvergärungsanlagen in kWh je t biogener Abfall*

Wärmeeigenverbrauch	Wärmeeigenverbrauch in % der erzeugten Abwärme	Literatur
80 - 100		HEIN & SCHNEBLE

	2008
Kleiner 100 kWh/t bei einstufigen trockenen Verfahren	GESSLER & KELLER 1995
70 (Valorga-Verfahren)	LIEBLE ET AL. 2003
40 (20 – 80)	KERN & TURK 2007
	Sowohl beim Pfpfenstrom- als auch beim Garagenverfahren rd. 20 %

Angesetzte Werte für die Berechnungen: Wärmeeigenbedarf: 70 kWh/t Input
---

### 4.3.3 Energieaufwand Biomethanherzeugung

Der Energieaufwand für die Biomethanherzeugung setzt sich zusammen aus dem Betrieb der Vergärungsanlage (siehe Kapitel 4.3.1 und 4.3.2) und der Aufbereitung des erzeugten Biogases zu Biomethan.

Wegen der hohen Kosten für die Aufbereitung und Konditionierung des Gases und der erforderlichen Messtechnik zur Überwachung der Gasqualität und des Heizwertes ist die Wirtschaftlichkeit maßgeblich von der Anlagengröße abhängig. Basierend auf den heutigen Technologien ist erst bei Anlagengrößen oberhalb von 500 Nm<sup>3</sup>/h Rohgas ein wirtschaftlicher Betrieb zu erwarten (WEILAND 2006).

In Österreich wird an 4 Standorten Biogas zu Biomethan aufbereitet (Stand Oktober 2010). Die Inbetriebnahme eines weiteren Standortes ist für November 2010 geplant. Bei allen in Betrieb befindlichen Anlagen wurde zur bestehenden Nutzung des Biogases zur Erzeugung von Strom und Wärme nachträglich eine Gasaufbereitung installiert. Bei allen Anlagen liegt die verarbeitete Rohgasmenge deutlich unter 500 Nm<sup>3</sup>/h.

Pucking: 6 m<sup>3</sup>/h Biomethan, Netzeinspeisung, Druckwechseladsorption; Inputmaterial: Geflügel- und Schweinegülle, (FGW 2010A)

Bruck an der Leitha: rund 100 m<sup>3</sup>/h Biomethan, Netzeinspeisung, zweistufiges Membranreinigungsverfahren (Gaspermeation) (FGW 2010); Inputmaterial: Gras, Rüben- und Maissilage sowie Reststoffe aus der Nahrungs- und Lebensmittelindustrie

St. Margarethen am Moos: 35 m<sup>3</sup>/h Biomethan, Tankstelle, zweistufiges Membranreinigungsverfahren (Gaspermeation), (FGW 2010), Inputmaterial: nachwachsende Rohstoffe (Mais, Sonnenblume, Gras, etc.)

Eugendorf: 40 m<sup>3</sup>/h Biomethan, Tankstelle und Einspeisung, Druckwechseladsorption, Inputmaterial: Heu, Frischgras und Grassilage (GRASKRAFT 2010).

Engerwitzdorf (Inbetriebnahme geplant: November 2010), ca. 125 m<sup>3</sup> Biomethan /h; Netzeinspeisung gemeinsam mit Biogas (30 % Biogas, 70 % Biome-

than), Aminwäsche; Nachwachsende Rohstoffe, kein BHKW (OÖ FERNGAS 2010)

Für die Berechnungen der Energiebilanz werden folgende Annahmen getroffen:

- Es wird kein eigenes BHKW betrieben (entgegen dem Ist-Stand österreichischer Anlagen, aber entsprechend der in Errichtung befindlichen Anlage Engerwitzdorf.
- Für zugekauften Strom wird der Kumulierte Energieaufwand (KEA) des Österreichischen Strommixes herangezogen (kWh/kWh).
- Da keine Angaben für den Stromverbrauch von Vergärungsanlagen ohne BHKW vorliegen, wurden bei der Nass – und der Trockenvergärung 40 % des Eigenstromverbrauchs abgezogen (siehe Kapitel 4.3.1).
- Die Wärmebereitstellung (Beheizung Fermenter, Hygienisierung bei Speiseabfällen) erfolgt mit dem am Standort erzeugten Rohbiogas mit einem Wirkungsgrad von 90 %.

Bei der Aufbereitung des Biogases zu Biomethan wird nur die Abtrennung des CO<sub>2</sub>-Anteils betrachtet. Allfällige Energieaufwendungen z.B. für die Entschwefelung werden nicht berücksichtigt.

Zur CO<sub>2</sub>-Abtrennung stehen mehrere Verfahren zur Verfügung, wie etwa Druckwechseladsorption (PSA), Druckwasserwäsche (DWW), Aminwaschverfahren oder Membrantrennverfahren.

Zwei der derzeit in Österreich betriebenen Anlagen wenden ein zweistufiges Membrantrennverfahren an, die anderen beiden die Druckwechselabsorption.

Die Aufbereitung von Biogas zu Biomethan benötigt Energie in Form von Strom und teilweise Wärme.

Der zusätzliche Strombedarf für die Abtrennung von CO<sub>2</sub> beträgt bei der Druckwechseladsorption und der Druckwasserwäsche ca. 0,25 bis 0,4 kWh/m<sup>3</sup> Rohgas, für die Aminwäsche ca. 0,1 kWh/m<sup>3</sup> Rohgas. Bei Aminwäschern ist jedoch zusätzlich ein Wärmebedarf von 0,3 bis 0,7 kWh/m<sup>3</sup> Rohgas gegeben (VOGT 2008).

Beim Membrantrennverfahren (Gaspermeation) liegt der Stromverbrauch bei 0,5 kWh/m<sup>3</sup> Rohgas (SCHULTE -SCHULZE 2006).

Vereinfacht wurde folgende Annahme getroffen: der Stromverbrauch zur Aufbereitung von Rohbiogas zu Biomethan beträgt 0,4 kWh/m<sup>3</sup> Rohbiogas

#### **4.3.4 Erzeugte Nettoenergiemenge**

Die erzeugte Nettoenergiemenge, die extern abgegeben werden kann, ergibt sich aus

- dem Energieinhalt des erzeugten Biogases,
- den Wirkungsgraden des Blockheizkraftwerkes (elektrisch, thermisch) im Falle der Erzeugung von Strom und Wärme,
- der erzeugten Biomethanmenge im Falle der Aufbereitung des Biogases zu Erdgasqualität
- abzüglich der Energieaufwände für die Erzeugung des Biogases (siehe Kapitel 4.3.1 und Kapitel 4.3.2 bzw. des Biomethans (siehe Kapitel 4.3.3).

#### 4.3.4.1 Energieinhalt des erzeugten Biogases

Die theoretische, rechnerische Biogasausbeute beträgt bei Kohlenhydraten 747 m<sup>3</sup> pro t abgebauter Glucose (50 % CH<sub>4</sub>-Gehalt), bei Proteinen 700 m<sup>3</sup> pro t (71 % CH<sub>4</sub>-Gehalt) und bei Fetten 1.250 m<sup>3</sup> pro t (68 % CH<sub>4</sub>-Gehalt) (BRAUN 2006).

In (WEILAND 2001) werden ähnliche Biogaserträge und Methangehalte angegeben: Verdauliches Eiweiß: Biogasertrag von 600 – 700 m<sup>3</sup> pro t oTS, 70 – 75 % Methangehalt; Verdauliches Fett: Biogasertrag von 1.000 – 1.250 m<sup>3</sup> pro t oTS, 68 – 73 % Methangehalt; Verdauliche Kohlenhydrate: Biogasertrag von 700 – 800 m<sup>3</sup> pro t oTS, 50 – 55 % Methangehalt.

Protein- und fettreiche Substrate führen somit zu höheren Methankonzentrationen im Biogas.

Die verschiedenen in Biogasanlagen eingesetzten biogenen Abfallströme unterscheiden sich in ihrer Zusammensetzung (Anteile an Kohlenhydraten, Fetten, Proteinen). Auch die Zusammensetzung eines Abfallstroms kann schwanken, z.B. in Abhängigkeit von der Jahreszeit, dem Sammelsystem, etc. Es schwanken daher sowohl Biogasausbeute als auch Biogaszusammensetzung mit dem eingesetzten Substrat in einem weiten Bereich.

In der folgenden Tabelle 8 sind Gaserträge verschiedenen biogener Abfallarten bezogen auf eine Tonne Feuchtsubstanz aus diversen Literaturquellen angeführt.

Tabelle 8: Gaserträge biogener Abfallarten in m<sup>3</sup>/t biogener Abfall

Abfallart	Biogasertrag	Literatur
Bioabfälle	96-120	HUPE ET AL. 1997
Bioabfall	100	BMWA 2007
Bioabfall diskontinuierliche Trockenvergärung	100 (75 – 120)	KERN 2008
Bioabfall kontinuierliche Trockenvergärung	120 (100 – 135)	KERN 2008
Bioabfall Nassvergärung	125 (90 – 145)	KERN 2008

Bioabfall <b>Methanertrag</b>	60	HOPPENHEIDT ET AL. 2000
Bioabfall	100	EPEA 2008
Speisereste (aus Gastronomie, Groß- verpflegungseinrichtungen und Su- permärkten)	170	GRASMUG & BRAUN 2002
Speiseabfall <b>Methanertrag</b>	140	HOPPENHEIDT ET AL. 2000
Speiseabfälle	220	DACHS & REHM 2006
Marktabfälle	45 - 110	FNR 2004
Marktabfälle	60	SCHOLZ 2000
Grassilage	123,2	KELM & TAUBE 2007
Grasschnitt	125	BMWA 2007
Grassilage 1 Schnitt	195	DACHS & REHM 2006
Wiesengras 1 Schnitt	103	DACHS & REHM 2006
Grün- und Rasenschnitt (Pflege von Parkflächen, Straßenrändern)	150 - 200	FNR 2004
Grünschnitt	150 - 200	BEKKER 2007
Gartenabfälle inkl. Abfallstoffe aus öf- fentlichen Grünanlagen	150	SCHOLZ 2000

Tabelle 9 enthält Angaben aus der Literatur über Methangehalte in Biogas aus unterschiedlichen biogenen Abfallströmen.

*Tabelle 9: Methangehalte im Biogas in %*

<b>Abfallart</b>	<b>Methangehalt im Biogas ( %)</b>	<b>Literatur</b>
Bioabfälle	60 - 70	HUPE ET AL. 1997
Bioabfälle	40 – 70	EPEA 2008
Speisereste (aus Gastronomie, Groß- verpflegungseinrichtungen und Su- permärkten)	72	GRASMUG & BRAUN 2002
Marktabfälle	70	GRASMUG & BRAUN 2002
Marktabfälle	60 - 65	BEKKER 2007
Grün- und Rasenschnitt (Pflege von	55 - 65	FNR 2004

Parkflächen, Straßenrändern)

Aus der Literatur ist nicht klar ableitbar, dass biogene Abfälle in der Nass- oder Trockenvergärung unterschiedlich stark abgebaut werden. In (BRAUN 2003) findet sich der Hinweis, dass ein- und zweistufige Anlagen nahezu identische Gasausbeuten erzielen. Die Gärungstemperatur beeinflusst teilweise die Umsatzgeschwindigkeit. Infolge der üblicherweise hohen hydraulischen Aufenthaltszeiten von mehreren Wochen verwischen sich jedoch mögliche Unterschiede mesophiler bzw. thermophiler Verfahren, sodass in beiden Fällen üblicherweise vergleichbare Biogausbeuten aus Bioabfall erzielt werden (BRAUN 2003). Laut (VOGT 2008) unterscheiden sich die verschiedenen Verfahren/Anlagentechniken aus ökologischer Sicht (ökobilanzielle Untersuchungen) nur wenig.

Im Rahmen der Studie wird deshalb hinsichtlich der Biogaserträge und deren Methangehalte der betrachteten biogenen Abfallströme nicht nach dem Verfahren unterschieden. Für die Kalkulationen werden die in Tabelle 10 angeführten Biogaserträge und Methangehalte verwendet.

*Tabelle 10: Gaserträge und Methangehalte biogener Abfälle je t biogener Abfall*

<b>Abfallart</b>	<b>Biogasertrag</b>	<b>Methangehalt im Biogas</b>
Bioabfälle (Biotonne)	110	60 %
Küchen- und Kantinenabfälle	170	70 %
Marktabfälle	110	65 %
Grünabfälle	150	60 %

#### **4.3.4.2 Wirkungsgrad des Blockheizkraftwerkes und Nutzung der erzeugten Energie**

Der Wirkungsgrad des BHKW für die Erzeugung von Strom bzw. von Wärme ist u.a. von der Größe der Anlage abhängig.

*Tabelle 11: Wirkungsgrade von BHKWs (VOGT 2008)*

<b>Elektrische Leistung in kW</b>	<b>Leis-</b>	<b>Elektrischer Wirkungsgrad</b>	<b>Thermischer Wirkungsgrad</b>
30		32 %	52 %
100		32 %	52 %
500		37,5 %	43 %
1.000		40 %	43 %
2.000		41 %	43 %

Die elektrische Leistung der österreichischen Biogasanlagen (289 Anlagen erfasst) beträgt rund 77,7 MW (ÖKOSTROMBERICHT 2010). Dies entspricht einer durchschnittlichen Leistung je Anlage von rund 270 kW.

Im Rahmen dieser Studie werden folgende Werte in den Berechnungen angesetzt:

elektrischer Wirkungsgrad  $\eta_{el} = 35 \%$

thermischer Wirkungsgrad  $\eta_{th} = 45 \%$

Für die Nutzung von Strom und Wärme werden folgende Annahmen getroffen:

- Strom wird abzüglich des Eigenverbrauchs der Biogasanlage ins Stromnetz eingespeist<sup>9</sup>
- Für die Wärmeabgabe (Abwärmeproduktion abzüglich Wärmeeigenverbrauch) werden drei Varianten berechnet:
  - 0 % Wärmeabgabe an externe Verbraucher
  - 50 % Wärmeabgabe an externe Verbraucher
  - 100 % Wärmeabgabe an externe Verbraucher

---

<sup>9</sup> Die Variante nur Wärme zu erzeugen, wie etwa bei der Biogasanlage Wien, wird nicht betrachtet.

## 5 THG- UND NH<sub>3</sub>-EMISSIONEN

### 5.1 THG und NH<sub>3</sub>-Emissionen bei der Behandlung

#### 5.1.1 Emissionen bei der offenen Kompostierung

Bei der offenen Kompostierung entstehen Emissionen bei der Anlieferung und Aufbereitung der zu kompostierenden Abfälle, durch die bei der Behandlung eingesetzten Energieträger (Treibstoffe, Strom) (siehe Kapitel 4.1), sowie beim Abbau der organischen Substanz (Prozessemissionen).

In (CUHLS ET AL. 2008) werden Angaben zu Emissionsfaktoren für die Anlieferung und Aufbereitung der zu kompostierenden Abfälle gemacht. Ebenso werden darin Emissionsfaktoren für Prozessemissionen der offenen Kompostierung für „Bioabfälle und Grünabfälle“ sowie „Grünabfälle“ dargestellt. Im Rahmen dieser Studie wurden für die Emissionsfaktoren der Prozessemissionen für alle betrachteten vier biogene Abfallarten die Faktoren für „Bioabfälle und Grünabfälle“ verwendet, da ansonsten nur für „Grünabfälle“ spezifische Emissionsfaktoren vorliegen. In der folgenden Tabelle 12 sind die Emissionsfaktoren für „Bioabfälle und Grünabfälle“ sowie für Vergleichszwecke die etwas geringeren Faktoren für „Grünabfälle“ angeführt.

Tabelle 12: Emissionsfaktoren bei offener Kompostierung in g/t Input (Cuhls et al. 2008)

	CH <sub>4</sub> in g/t	N <sub>2</sub> O in g/t	NH <sub>3</sub> in g/t
Anlieferung und Aufbereitung	100 (20 – 230)	12 (1,4 – 20)	5,6 (4 – 10)
Prozessemissionen Bioabfälle und Grünabfälle inkl. Anlieferung und Aufbereitung	1.000 (470 – 2.000)	110 (49 – 210)	470 (230 - 920)
Prozessemissionen Grünabfälle inkl. Anlieferung und Aufbereitung	850 (400 – 2.000)	72 (40 – 150)	350 (200 – 800)

#### 5.1.2 Emissionen bei teilgeschlossener Kompostierung

Emissionen entstehen bei der teilgeschlossenen Kompostierung bei der Anlieferung und Aufbereitung der zu kompostierenden Abfälle, durch die bei der Behandlung eingesetzten Energieträger (Treibstoffe, Strom) (siehe Kapitel 4.2), sowie beim Abbau der organischen Substanz (Prozessemissionen).

In (CUHLS ET AL. 2008) werden Emissionsfaktoren für die Prozessemissionen teilgeschlossener Kompostierungsanlagen nach der Abluftreinigung dargestellt.

Tabelle 13: Emissionsfaktoren bei der teilgeschlossenen Kompostierung (mit Abluftreinigung) in g/t Input (Cuhls et al. 2008)

	CH <sub>4</sub> in g/t	N <sub>2</sub> O in g/t	NH <sub>3</sub> in g/t
Prozessemissionen (nach Abluftreinigung) inkl. Anlieferung und	710 (300 – 1.500)	68 (49 – 120)	63 (15 – 110)



## Aufarbeitung

In Österreich wird die Abluft der eingehausten Teile der Kompostierungsanlagen über Biofilter gereinigt. In herkömmlichen Biofiltern mit dem vorrangigen Ziel der Geruchsreduzierung und mit Filtervolumenbelastungen von höher als  $50 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \text{ h})$  wird Methan in der Regel nicht oder nur gering abgebaut ( $\text{CH}_4$ -Reduktion bis maximal etwa 20 %) (CUHLS ET AL. 2008). In stark vernässten oder ungleichmäßig durchlüfteten Biofiltern kann auch eine geringe Methanbildung festgestellt werden.

Im Falle der Kompostierung in geschlossenen Hauptrotteverfahren mit Abluftbehandlung empfiehlt es sich zur Reduktion der  $\text{N}_2\text{O}$ -Bildung im Biofilter eine  $\text{NH}_3$ -Abscheidung in Form schwefelsaurer Wäscher vorzuschalten. Das entstehende Ammoniumsulfat kann als Dünger verwertet werden. Eine Ausnahme ist die reine Grünabfallkompostierung, bei der nur geringe  $\text{NH}_3$ -Emissionen zu erwarten sind.

### 5.1.3 Emissionen bei den Vergärungsverfahren

Emissionen treten bei der Anlieferung und Aufbereitung der Abfälle, bei der Lagerung von Gärresten und durch unvollständige Verbrennung in den Gasmotoren („Methanschluß“) auf. Hinzu kommen bei den Varianten mit Separation des Gärrestes und anschließender Kompostierung des festen Gärrestes Emissionen beim Abpressen und der Bereitstellung des festen Gärrestes sowie Emissionen aus der Kompostierung des festen Gärrestes. Emissionen aus der Behandlung des flüssigen Gärrestes in Kläranlagen werden bei der Bilanzierung nicht berücksichtigt (siehe Kapitel 5.1.3.5).

Die Vergärung von biogenen Abfällen benötigt Energie. Wird das Biogas am Standort direkt genutzt, so kann ein Teil des erzeugten Stroms für die Pumpen, Rührer, etc. verwendet werden, ein Teil der Abwärme des Motors für die Erwärmung des Gärsubstrates und die Heizung der Fermenter. Wird Biogas zu Erdgas aufbereitet und z.B. ins Gasnetz eingespeist, so muss Strom für die Vergärung und die Gasaufbereitung mit entsprechendem THG- und Energieerucksack zugekauft werden.

#### 5.1.3.1 Anlieferung und Aufbereitung von Abfällen

Es wird angesetzt, dass die Emissionen bei der Anlieferung und Aufbereitung gleich wie bei der Kompostierung sind (siehe Kapitel 5.1.1).

#### 5.1.3.2 Lagerung von Gärresten

Aus dem Gärrestlager können in unterschiedlichem Ausmaß Methan-, Lachgas und Ammoniakemissionen auftreten.

Der Gärrest einer Biogasanlage enthält methanbildende Mikroorganismen, die auch in unbeheizten Lagerbehältern einen – wenn auch stark verlangsamten – Abbau verbliebener organischer Substanz und damit verbunden eine Freisetzung von Biogas bewirken. Je kürzer die Verweilzeit des Gärsubstrats in den Fermentern ist, desto höher ist das Restgaspotenzial und damit die potenziellen

Methanemissionen aus der Gärrestlagerung. Infolge von Kurzschlussströmen kann auch nicht abgebautes Substrat aus dem Fermenter ausgetragen werden.

Bei nicht ausreichendem Ausfallgrad des Gärrestes kann es bei einem offenen Gärrestlager zu einem relevanten Verlust an nutzbarem Biogas bzw. Methan kommen (BIOGASHANDBUCH BAYERN – MATERIALIENBAND 2007).

In Ausgasungsversuchen mit Gärresten verschiedener Biogasanlagen konnte in Abhängigkeit vom Anlagentyp (einstufige, zweistufige Anlagen), der Raumbelastung und der hydraulischen Verweilzeit ein Restgaspotential des Substratoutputs zwischen 1 und 30 % nachgewiesen werden (OECHSNER 2006).

Nach (WEILAND 2006) treten je nach Substratmischung, Verfahrenskonzept und Betriebsweise bei der üblichen Lagertemperatur von ca. 20 °C in Bezug auf die Gasproduktion im Fermenter Methanverluste von teilweise mehr als 20 % auf. Bei über der Hälfte der untersuchten Anlagen betragen die Verluste zwischen 5 und 15 % der Methanproduktion. Bei knapp 20 % der Anlagen lagen die Verluste zwischen 15 und 25 %.

Nach (FNR 2005) können Methanemissionen aus dem Endlagerbehälter zwischen 2,5 % und 15 % des produzierten Methans ausmachen.

In einem Rechenbeispiel im (BIOGASHANDBUCH BAYERN – MATERIALIENBAND 2007) für ein Gülle-Maissilagegemisch wird berechnet, dass sich 5 bis 8 % der im Fermenter erzeugten Gasmenge zusätzlich aus dem Gärrest gewinnen lassen müssen, damit sich die Abdeckung des Endlagerbehälters rechnet. „Allein über den zusätzlichen Gasertrag aus dem Gärrest wird sich die Abdeckung eines Endlagers nicht in allen Fällen finanzieren lassen.“

Es liegen keine Daten vor, inwieweit die Biogasanlagen in Österreich abgedeckt sind. Für die Berechnungen wurden deshalb drei Varianten verwendet:

- 2 % Verlust,
- 5 % Verlust und
- 10 % Verlust,

jeweils bezogen auf den Biogasertrag des jeweiligen biogenen Materials.

Lachgas:

Lachgas kann unter anaeroben Bedingungen beim Abbau von Nitrit und Nitrat in Verbindung mit leicht abbaubaren organischen Verbindungen entstehen (Denitrifikation) oder unter aeroben Bedingungen durch die Nitrifizierung des Ammoniums.

Nach (VOGT 2008) und (CUHLS ET AL. 2008) sind Lachgasemissionen bei der Lagerung vernachlässigbar bzw. nicht relevant.

Lachgasemissionen aus Gärrestlagern werden in dieser Studie deshalb nicht berücksichtigt.

Ammoniak:

Aus nicht abgedeckten Gärrestlagern kommt es zu größeren Ammoniakverlusten. Daten liegen jedoch keine vor. In (VOGT 2008) wird angenommen, dass die auf den Ammoniumgehalt bezogenen  $\text{NH}_3$ -Verluste gleich hoch sind wie bei Rinder- (13,5 % des  $\text{NH}_4\text{-N}$ ) und Schweinegülle (18 % des  $\text{NH}_4\text{-N}$ ).

Unter dem Ansatz, dass 15 % des  $\text{NH}_4\text{-N}$  als Ammoniak entweichen, der N-Gehalt im Gärrest 6 kg N/t Ausgangssubstanz beträgt, wovon 75 % als Ammonium vorliegen so ergibt sich eine Ammoniakemission von rund 0,7 kg  $\text{NH}_3$ /t Ausgangsmaterial.

### 5.1.3.3 Methanschlupf Gasmotor

Kohlenwasserstoffemissionen aus dem Gasmotor (Methanschlupf) entstehen durch unvollständige Verbrennung im Motor und durch Ventilüberschneidungen bei Viertakt-Motoren, wodurch das Einlass- und das Auslassventil kurz gleichzeitig geöffnet sind. Bei alten verschlissenen Motoren bzw. bei größerer Ventilüberschneidung durch z.B. ungeeignete Nockenwelle bei umgebauten Dieselmotoren oder falschen Steuerzeiten können deutlich höhere Emissionen auftreten. Schlechtere Biogasqualität mit geringeren Methangehalten führt zu kälterer unvollständiger Verbrennung. Daher können bei sinkenden Methangehalten im Biogas sowie im Teil- bzw. Schwachlastbetrieb von Gasmotoren erhöhte Gesamt-C-, Methan- sowie Formaldehydemissionen auftreten (BIOGASHANDBUCH BAYERN – MATERIALIENBAND 2007).

In Biogas-Blockheizkraftwerken werden sowohl fremdgezündete Gas-Ottomotoren als auch Zündstrahlmotoren eingesetzt. Bei letzteren erfolgt die Selbstzündung des angesaugten und verdichteten Biogas-Luft-Gemisches durch Einspritzen einer bestimmten Menge Zündöl (Dieselkraftstoff, Biodiesel oder Pflanzenöl). Der energetische Anteil des Zündöls bezogen auf die Brennstoffwärmeleistung beträgt dabei bis zu 10 %. Auf diese Weise ist es möglich, auch Biogas mit einem relativ geringen Methangehalt motorisch zu nutzen. Der Nachteil des Zündstrahlmotors liegt in dessen höheren Emissionen (BMW 2007).

Zündgasmotoren weisen im Mittel etwa doppelt so hohe Methanemissionen auf wie Gas-Ottomotoren (LFU BAYERN 2006).

Der Methanschlupf eines 500 kWel-BHKW liegt, bei einer durchschnittlichen  $\text{CH}_4$ -Gehalt von rund 55 % im Reinbiogas, bei 1,79 % der Gesamtjahresmenge Methan (LAABER 2006 zitiert in BRAUN ET AL. 2007).

Eine Aufstellung diverser Literatur über das Ausmaß des Methanschlupfs findet sich in (VOGT 2008).

Für die Berechnungen wird ein Methanschlupf von 1 % der erzeugten Biogasmenge angesetzt.

#### 5.1.3.4 Emissionen Gärrestseparierung und -kompostierung

Bei den Vergärungsverfahren mit Separierung des Gärrestes wird eine Kompostierung des festen Gärrestes in teilgeschlossenen Anlagen sowie die Behandlung der flüssigen Gärreste in einer kommunalen Kläranlage betrachtet.

Da Gärreste aus einem anaeroben Milieu stammen, sind die Methanemissionen in der Zeit bis das Material aerobisiert ist, höher als bei der Kompostierung eines nicht-vergorenen Ausgangsmaterials.

In (CUHLS ET AL. 2008) finden sich für die Trockenvergärung Emissionsfaktoren für das Abpressen des Gärrestes und die Bereitstellung des festen Gärrestes für die Kompostierung sowie für die Haupt- und Nachrotte.

Für die Separierung bei der Nassvergärung werden keine Angaben gemacht. Es wird die Annahme getroffen, dass die Emissionsfaktoren beim Abpressen bei der Nassvergärung jenen der Trockenvergärung entsprechen.

In der folgenden Tabelle sind die Emissionsfaktoren für das Abpressen des Gärrestes sowie für die Kompostierung des festen Gärrestes (Hauptrotte und Nachrotte) wiedergegeben.

*Tabelle 14: Emissionsfaktoren bei der Kompostierung fester Gärreste in g/t biogener Abfall (CUHLS ET AL. 2008)*

	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NH <sub>3</sub>
Abpressung, Bereitstellung Gärprodukt	460	17	8
Hauptrotte und Nachrotte inklusive Anlieferung und Aufarbeitung	1.100	98	104,4

#### 5.1.3.5 Emissionen bei der Behandlung des flüssigen Gärrestes in Kläranlagen

Bei den betrachteten Vergärungsvarianten mit Separierung des Gärrestes wurde angenommen, dass die Behandlung der flüssigen Gärreste in kommunalen Kläranlagen erfolgt. Bei der Behandlung dieser Gärreste wird Energie (Strom) benötigt, zusätzlich entstehen Lachgasemissionen bei der Stickstoffentfernung. Die Relevanz der durch die Behandlung resultierenden Treibhausgasemissionen wird im Folgenden dargestellt.

Eine (angenommene) Presswassermenge von 400 l je Tonne in einer Vergärungsanlage behandelte biogener Abfälle entspricht bei einer Presswasserkonzentration von 13.000 mg CSB/l der Jahres-CSB Fracht von rund 0,12 Einwohnerwerten (EW). Ebenso entspricht eine NH<sub>4</sub>-Konzentration von 1.500 mg/l im Presswasser etwa der Jahres-N-Fracht von 0,12 EW.

In (ÖWAV 2008) beträgt der 75 %-Perzentil Wert des Stromverbrauchs je Einwohnerwert (CSB 110) für Anlagen ab 10.000 EW<sup>10</sup> 36,23 kWh (10.000 – 50.000 EW: 37,21 kWh/EW (CSB 110); 50.000 – 100.000 EW: 33,67 kWh/EW (CSB 110); > 100.000 EW: 24,75 kWh/EW (CSB 110)).

<sup>10</sup> Anlagen dieser Größenordnung verfügen über Kohlenstoff-, Stickstoff- und Phosphorentfernung

Dementsprechend sind für die Behandlung der angenommenen Presswassermenge knapp 4,5 kWh elektrischer Energie notwendig.

Kläranlagen > 50.000 EW verfügen meist über eine anaerobe Schlammstabilisierung, bei der das erzeugte Faulgas energetisch in BHKW genutzt wird. Nach (LINDTNER 2010) sowie (KOHLISCH ET AL. 2010) ist bei energieoptimierten Kläranlagen mit Faulung ein energieautarker Betrieb möglich. In (KOHLISCH ET AL. 2010) wird für 25 Kläranlagen, die nicht energieoptimiert sind, ein Eigendeckungsgrad für Elektrizität von 40 % angegeben.

Bei einer Faulgasmenge von 20 l /EW (CSB 110) je Tag und einem Methan-gehalt im Faulgas von 60 % errechnet sich eine Methangasmenge von 4,38 m<sup>3</sup>/EW und Jahr mit einem Energieinhalt von 43,8 kWh. Damit lassen sich in einem BHKW mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 30 % 13 kWh erzeugen.

Bezogen auf den 75 %-Perzentilwert des Stromverbrauchs ergibt dies eine Eigendeckung von 36 %.

Bei dem berechneten Energiebedarf für die Presswasserbehandlung von knapp 4,5 kWh und der Eigendeckung an Energie von 36 % ergibt sich ein Strombedarf von weniger als 3 kWh Strom/ t biogenes Ausgangsmaterial. Bei einer Emission von 0,253 CO<sub>2-eq</sub> je kWh Strom (GEMIS ÖSTERREICH 4.5) ergibt dies für die Behandlung von Presswasser in einer Kläranlage mit Faulung rund 0,7 kg CO<sub>2-eq</sub> je Tonne biogenes Ausgangsmaterial.

Bei Kläranlagen treten bei der Stickstoffentfernung auch N<sub>2</sub>O-Emissionen auf. Nach (IPCC 1996) können diese Verluste mit 0,01 kg N<sub>2</sub>O-N/kg N im Abwasser abgeschätzt werden. Bei einer N-Fracht von 600g<sup>11</sup> im Presswasser aus 1 Tonne Ausgangsmaterial ergibt sich eine N<sub>2</sub>O-N-Fracht von 6 g /t Ausgangsmaterial bzw. 2,8 kg CO<sub>2-eq</sub>/t Ausgangsmaterial.

Bei den weiteren Berechnungen werden die Emissionen aus den Kläranlagen bei der Behandlung des Presswassers auf Grund der geringen Größe nicht berücksichtigt.

#### **5.1.4 Emissionen bei der Biogasaufbereitung zu Biomethan**

Bei der Aufbereitung des Rohbiogases zu Biomethan entstehen Emissionen durch den Strombedarf<sup>12</sup> bei der Aufbereitung (siehe Kapitel 4.3.3) sowie durch verfahrensbedingte Methanverluste z.B. durch die Regeneration des Adsorbers bzw. Waschmittels.

In (PEHNT & VOGT 2007) werden die Methanverluste bei der Druckwechseladsorption (PSA) und der Druckwasserwäsche bezogen auf die eingesetzte Methanmenge mit 2 % angesetzt, beim Aminverfahren mit 0,1 %. Eine Aufstellung der Bandbreiten der Methanverluste bei einzelnen Verfahren findet sich in (VOGT 2008).

---

<sup>11</sup> 400 l Presswasser je Tonne \* 1.500 mg NH<sub>4</sub>/l

<sup>12</sup> Der Wärmebedarf z.B. beim Aminverfahren wurde nicht berücksichtigt

(BAIER ET AL. 2008) bilanzierte die Methanverluste der Druckwechseladsorptionsanlage der ARA Region Luzern (GALU), bei der Biogas aus der anaeroben Faulung kommunaler Schlämme für die Einspeisung in das Erdgasnetz aufbereitet wird: Von der im Jahr 2007 insgesamt aufbereiteten Methanfracht von 260.000 m<sup>3</sup>N fallen 2.6 % (6.740 m<sup>3</sup>N) als Methanverlust an. Von dieser Menge fallen 88 % während der normalen Produktionsphase der PSA Anlage an. 2 % resp. 10 % des Methanverlustes sind auf Anfahr- resp. Ausfahrprozesse zurück zu führen.

Bei Membranverfahren (Gaspermeation) mit zweistufiger Anordnung der Membrane liegen die Verluste bei 1,5 – 3 % (BIOGAS NETZEINSPEISUNG 2010).

Für die Berechnungen wird ein Methanverlust bei der Biogas-Aufbereitung von 2 % angesetzt.

## 5.2 THG- und NH<sub>3</sub>-Emissionen bei Transport und Aufbringung

### 5.2.1 Emissionen beim Transport

Eine Abschätzung der durchschnittlichen Transportdistanzen zu den Behandlungsanlagen (offene Kompostierung, teilgeschlossene Kompostierung, Nass- und Trockenvergärung mit und ohne Separierung des Gärrestes, mit und ohne Nutzung der Wärme, mit Aufbereitung des Biogases zu Biomethan, etc.) ist nicht möglich.

Die folgenden Berechnungen zeigen jedoch den Einfluss des Transportes auf die THG-Bilanzen.

Die Emissionen beim Transport der biogenen Abfälle zu den Behandlungsanlagen und der erzeugten Produkte zu den Aufbringungsflächen können anhand folgender Annahmen bzw. Werte berechnet werden:

- Verbrauch Transportfahrzeug 35 l Diesel / 100 km
- Ladegewicht: 10 t
- Energieinhalt Diesel: 42 MJ/kg
- Dichte Diesel: 0,835 kg/l
- Emission: 3,568 kg CO<sub>2-eq</sub>/kg Diesel (GEMIS Österreich 4.5)

Unter diesen Annahmen betragen die Transportemissionen rund 0,1 kg CO<sub>2-eq</sub> je Tonnenkilometer (ohne Rückfahrt).

Bei einem Vergleich der THG-Emissionen der betrachteten Verfahren (Kompostierung, Vergärung mit unterschiedlichen Nutzungen des Biogases und unterschiedlicher Behandlung des Gärrestes) sind nur jene Transportstrecken von Interesse, die zusätzlich zurückgelegt werden müssen. Ein Unterschied zwischen zwei Verfahrensvarianten von 10 kg CO<sub>2-eq</sub> wird dann durch die Transportemissionen ausgeglichen, wenn die Transportdistanz zur Anlage mit dem

negativeren Saldo um 50 km länger ist (in Summe 100 km, da Rückfahrt als Leerfahrt erfolgt).

Die berechneten Salden aus Gutschriften minus Emissionen unterscheiden sich bei den einzelnen Verfahren und Abfallströmen enorm (zwischen  $-140 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$  und  $+190 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$  je t Ausgangsmaterial (siehe Kapitel 8.3)). Nur große Unterschiede in den Transportdistanzen zu den Behandlungsanlagen führen deshalb zu stärkeren Änderungen der Gesamtbilanz eines Verfahrens und damit zu einer allfälligen Veränderung der Reihung.

Ob Transporte aus Sicht der THG-Emissionen zu berücksichtigen sind, kann nur regional beurteilt werden (Distanz zur Behandlungsanlage, Distanz zu verfügbaren Aufbringungsflächen etc.).

In der Praxis ist davon auszugehen, dass die Transportdistanzen zu den Behandlungsanlagen aufgrund der Transportkosten möglichst gering gehalten werden.

In diesem Projekt werden die Transportemissionen bei den Bilanzen nicht mit berechnet.

## 5.2.2 Emissionen bei der Ausbringung von Komposten und Gärresten

### 5.2.2.1 Emissionen bei der Ausbringung von Komposten

Nach (CUHLS ET AL 2008) liegen bislang keine Treibhausgasemissionsmessungen für die Applikation von Komposten auf landwirtschaftlich genutzten Flächen und in häuslichen Gartenflächen vor. In (CUHLS ET AL 2008) wird die im Folgenden dargestellte Abschätzung der Emissionsfaktoren für die Ausbringung von Kompost aus Bioabfall vorgeschlagen.

Für die Abschätzung von **N<sub>2</sub>O-Emissionen** durch die aufgebrachten Mineraldünger werden nach (IPCC 2007) 1,25 % von deren Stickstoffgehalt angenommen. In Komposten erfolgt die N-Freisetzung über längere Zeiträume, da nur ein Teil des N in mineralischer/löslicher Form vorliegt und der Rest organisch gebunden ist. Ein Teil des Stickstoffs verbleibt darüber hinaus langfristig in der Humusmatrix des Bodens. Nach (CUHLS ET AL. 2008) wird der freisetzbare Stickstoff (= Mineraldüngeräquivalent) mit dem Gehalt an löslichem Stickstoff und 30 % des organisch gebundenen Stickstoffs angenommen (jeweils 5 % Freisetzung über 6 Jahre).

Die N<sub>2</sub>O-Emissionen werden mit 1,25 % des freigesetzten Stickstoffs angesetzt.

Die **NH<sub>3</sub>-Emissionen** durch die Aufbringung von Komposten sind gering, da im Kompost nur geringe Ammoniummengen enthalten sind. Ammonium, das in geringen Mengen aus organischem Material freigesetzt wird, wird zeitnah von Mikroorganismen oder Pflanzen aufgenommen oder oxidiert (CUHLS ET AL. 2008).

Die Emissionen werden mit 20 % des enthaltenen Ammonium-Stickstoffs angesetzt.

**Emissionen an CH<sub>4</sub>** durch die Applikation von Kompost sind sehr gering und werden mit < 1 g / t Kompost (FS) angesetzt (CUHLS ET AL 2008).

Unter Zugrundelegung von typischen Werten für die emissionsrelevanten Parameter von Komposten (vergleiche BGK 2008) und einer durchschnittlichen Kompostmenge von 350 kg FS pro t biogener Abfall ergeben sich die Emissionsfaktoren für Komposte aus Bioabfall und Grüngut für Methan von kleiner 0,35 g/t biogener Abfall, für N<sub>2</sub>O 10 bis 14 g/t und für NH<sub>3</sub> 10 bis 27 g/t biogener Abfall.

Es wird angenommen, dass bei reifem Kompost die Emissionsfaktoren unabhängig vom Inputmaterial (Biotonne, Grünschnitt, Küchen- und Kantinenabfälle, Marktabfälle) und unabhängig von der angewendeten Technologie (offene oder teilgeschlossene Kompostierung) sind.

*Tabelle 15: Emissionsfaktoren für die Aufbringung von Kompost in g je t biogener Abfall*

	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NH <sub>3</sub>
Kompost	<0,35	12	18,5

### 5.2.2.2 Emissionen bei der Ausbringung von kompostiertem Gärrest

Für die Abschätzung der Emissionsfaktoren für die Ausbringung von Kompost aus Gärrest (aus der Trocken- oder Nassvergärung) wurden ebenfalls die oben beschriebenen Ansätze nach (CUHLS ET AL 2008) verwendet.

Unter Zugrundelegung von typischen Werten für die emissionsrelevanten Parameter von Komposten (vergleiche BGK 2008) und einer durchschnittlichen Kompostmenge von 240 kg FS/t biogener Abfall ergeben sich die in Tabelle 16 dargestellten Emissionsfaktoren für kompostierten Gärrest. Die Faktoren wurden unabhängig von der Art des biogenen Abfalls für die Berechnungen verwendet.

*Tabelle 16: Emissionsfaktoren für die Aufbringung von kompostiertem Gärrest in g je t biogener Abfall*

	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NH <sub>3</sub>
Kompostierter Gärrest	0,3	10	27

### 5.2.2.3 Emissionen bei der Ausbringung von Gärrest

Ammoniakemissionen treten nach Applikation von flüssigen Gärprodukten gemäß (CUHLS ET AL. 2008) während etwa einer Woche auf und sind abhängig vom Ammonium-Gehalt, pH-Wert und der Applikationstechnik. Je bodennaher die Applikation erfolgt, umso weniger Ammoniak wird emittiert.



Gemäß (CUHLS ET AL. 2008) betragen die **NH<sub>3</sub>**-Emissionen bei bodennaher Ausbringung etwa 30 bis 50 % des Ammonium-Gehaltes. Nach (PFUNDTNER 2007) können im ungünstigsten Fall bis zu 70 % des enthaltenen NH<sub>3</sub>-Stickstoffs aus Fermentationsrückständen entweichen.

Die Emissionen an **N<sub>2</sub>O** werden von (CUHLS ET AL. 2008) mit 1,25 % des Mineräldüngeräquivalents (aufgebrachter NH<sub>4</sub>-N + 30 % des organisch gebundenen N) angenommen.

Gärreste sollten möglichst auf unbewachsene Böden ausgebracht und rasch (innerhalb einer Stunde) eingearbeitet werden; lässt sich eine Ausbringung auf bewachsene Böden nicht vermeiden, sollten Gärreste mit Schleppllauch ausgebracht werden (VOGT ET AL. 2008). Die Injektion von Gärresten führt auf Acker zu doppelt, auf Grünland zu dreifach höheren N<sub>2</sub>O-Emissionen im Vergleich zu oberflächlicher Ausbringung (WULF 2003).

**Methanemissionen** werden von (CLEMENS ET AL. 2006 in CUHLS ET AL. 2008) entsprechend den Emissionen bei der Applikation von Rindergülle mit 8 g/t Feuchtsubstanz (FS) Gärrest angenommen.

Für die Berechnungen der Emissionsfaktoren wurden folgende Annahmen getroffen

- N-Gehalte für die eingesetzten Abfallarten: Biotonne: 9 kg/t FS, Küchen- und Kantinenabfälle: 6,5 kg/t FS, Marktabfälle: 7 kg/t FS, Grünschnitt: 3 kg/t FS (vgl. FNR 2004).
- Sämtlicher mit dem Gärsubstrat eingetragener Stickstoff verbleibt im Gärrest
- 60 % des Stickstoffs im Gärrest liegen als NH<sub>4</sub>-N vor (40 % organisch gebunden) (vgl. FNR 2004)
- 50 % des NH<sub>4</sub>-N im Gärrest emittieren

Für die betrachteten biogenen Abfallarten ergeben sich die folgenden Emissionsfaktoren für die Ausbringung der Gärreste: für Methan 7 g/t biogener Abfall, für N<sub>2</sub>O 38 bis 92 g/t und für NH<sub>3</sub> 910 bis 3.280 g/t biogener Abfall.

Für die Berechnungen im gegenständlichen Projekt werden unabhängig von der Art des biogenen Abfalls die folgenden Emissionsfaktoren für die Ausbringung von unsepariertem Gärrest verwendet:

*Tabelle 17: Emissionsfaktoren für die Ausbringung von unsepariertem Gärrest in g je t biogener Abfall*

	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>N<sub>2</sub>O</b>	<b>NH<sub>3</sub></b>
Unseparierter Gärrest	7	85	2.100

## 6 EMISSIONSGUTSCHRIFTEN

Durch die Einspeisung von Strom, Wärme oder zu Methan aufbereitetem Biogas können andere Energieträger entsprechend eingespart werden und die eingesparten THG-Emissionen den jeweiligen Verfahren zur Behandlung biogener Abfälle gutgeschrieben werden. Weiters werden durch die Aufbringung von Komposten und Gärrückständen den Böden Nährstoffe zugeführt, wodurch unter Berücksichtigung der Nährstoffverfügbarkeit entsprechende Mengen an mineralischen Handelsdüngern eingespart werden können und somit Produktionsemissionen bei der Erzeugung dieser Handelsdünger nicht anfallen. Gleichzeitig werden Lachgasemissionen, die bei der Aufbringung N-haltiger Handelsdünger entstehen, vermieden. Eine weitere Gutschrift erfolgt auch durch die Fixierung von Kohlenstoff in langfristig stabilen Humusverbindungen in Komposten.

Der Ersatz von Torf wurde nicht als Gutschrift mit einbezogen<sup>13</sup>.

### 6.1 Gutschriften für Strom-, Wärme und Biomethaneinspeisung

Für die Berechnung der Gutschrift bei der Energiegewinnung aus Biogas wurde wie folgt vorgegangen:

**Strom:** Jede kWh Strom, die eingespeist wird (erzeugte Strommenge minus Stromeigenverbrauch) substituiert 1 kWh Strom mit dem österreichischen Strommix 2008: 0,253 kg CO<sub>2-eg</sub>/kWh (GEMIS Österreich 4.5)

**Wärme:** Bei den Berechnungen wurde drei Varianten bezüglich Wärmeabgabe betrachtet: 0 % Wärmeabgabe, 50 % Wärmeabgabe und 100 % Wärmeabgabe.

Für die 50 %ige und die 100 % Wärmeabgabe wurden unterschiedliche Annahmen getroffen, da eine ganzjährige vollständige Abgabe der Abwärme nur in sehr seltenen Fällen gegeben ist, z.B. wenn industrielle/gewerbliche Abnehmer mit ganzjährigem Wärmebedarf versorgt werden.

Für die Abgabe von 50 % der Wärme wurde in Anlehnung an die Nutzenergieanalyse für die Nutzenergiekategorie Raumheizung und Klimaanlage (STATISTIK AUSTRIA 2010) eine Substitution von jeweils einem Drittel Heizöl extraleicht, Erdgas und Biogene (Holz, Pellets) angesetzt<sup>14</sup>.

---

<sup>13</sup> Nur wenige biogene Abfall- bzw. Reststoffe können mit entsprechender Aufbereitung als Torfersatzprodukte eingesetzt werden. Dies sind vor allem Holzabfälle. Abfallstoffe aus der Fraktion der Grünabfälle, der Garten- und Parkabfälle sowie der Friedhofsabfälle wären nur durch eine Änderung der Sammellogistik – beispielsweise der getrennten Sammlung und Aufbereitung von holzigem Material als Torfersatz verwertbar. Die am erfolgreichsten eingesetzten Rohstoffe zur Erzeugung von Torfersatzstoffen sind Reststoffe aus der Holzverarbeitung und zellulosefaserhaltige Reststoffe aus der Landwirtschaft (REINHOFER ET AL. 2005).

<sup>14</sup> Fernwärme wurde nicht berücksichtigt, da davon ausgegangen wird, dass diese nicht substituiert wird, Strom wurde nicht berücksichtigt, da der Stromanteil deutlich geringer ist und zusätzlich Klimaanlage in der betrachteten Kategorie enthalten sind. Weitere Energieträger sind vernachlässigbar.

Tabelle 18: Annahmen für Wärme-gutschriften (50 % Wärmeabgabe)

Energieträger	Anteil in %	Energieinhalt MJ/kg	Kg CO <sub>2</sub> -eq/MJ*	Wirkungsgrad
Heizöl extra-leicht	33,33 %	42,8	0,086	90 %
Erdgas	33,33 %	50	0,071	90 %
Biogene (Holz, Pellets)	33,33 %	14,5	0	80 %

\* GEMIS Österreich 4.5

Unter diesen Annahmen ergibt sich ein gewichtetes Mittel für die Gutschrift bei 50 % Wärmeabgabe von 0,21 kg CO<sub>2</sub>-eq je kWh Wärmeabgabe.

Für die Gutschrift bei einer 100 %igen Wärmeabgabe wurden die Anteile der Energieträger wie folgt modifiziert:

Heizöl extraleicht 45 %, Erdgas 45 %, Biogene (Holz, Pellets) 10 %.

Unter diesen Annahmen ergibt sich ein gewichtetes Mittel für die Gutschrift bei 100 % Wärmeabgabe von 0,28 kg CO<sub>2</sub>-eq je kWh Wärmeabgabe.

Für die Einspeisung von Biomethan wurde angenommen, dass 1 m<sup>3</sup> Biomethan 1 m<sup>3</sup> Erdgas ersetzt und dadurch CO<sub>2</sub>-eq in Höhe von 0,257 kg/kWh (GEMIS Österreich 4.5) gutgeschrieben werden.

Tabelle 19: Ermittelte Gutschriften für Energieeinspeisung in kg CO<sub>2</sub>-eq/kWh

Strom	Wärme (50 % Wärmeabgabe)	Wärme (100 % Wärmeabgabe)	Biomethan
0,253	0,21	0,28	0,257

## 6.2 Substitution von Mineraldüngern

Die Erzeugung mineralischer Handelsdünger ist energieintensiv, insbesondere die Erzeugung von Stickstoffdüngern. Werden Kompost und Gärrest landwirtschaftlich verwertet, so kann dadurch mineralischer Handelsdünger eingespart werden und die vermiedenen Produktionsemissionen als Emissionsgutschrift verbucht werden.

Die erzielbare Gutschrift für die Substitution von 1 kg N in Handelsdüngern beträgt 7,56 kg CO<sub>2</sub>-eq, die Gutschrift für 1 kg P beträgt 1,15 kg CO<sub>2</sub>-eq (GEMIS Österreich 4.5).

### 6.2.1 Nährstoffgehalte und Nährstoffverfügbarkeit

Im Gegensatz zu Mineraldüngern liegen Stickstoff und Phosphor in Kompost und Gärrest nur teilweise in mineralischer, rasch verfügbarer Form vor. Die Nährstoffverfügbarkeit wird über die Mineraldüngeräquivalenz (MDÄ) ausgedrückt.

#### 6.2.1.1 Nährstoffgehalt und Nährstoffverfügbarkeit in Kompost

Der düngewirksame Stickstoff aus Fertigkompost wird von (CUHLS ET AL. 2008 auf Basis von Ansätzen nach KLUGE 2008 und REINHOLD 2008) mit dem Gehalt an löslichem Stickstoff ( $\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$ ) und 30 % des organisch gebundenen Stickstoffs (jeweils 5 % Freisetzung über 6 Jahre) angegeben.

Laut (LANDWIRTSCHAFTLICHES TECHNOLOGIEZENTRUM AUGUSTENBERG 2008) sind die Gesamtgehalte an Phosphor im Kompost zu 100 % düngewirksam. Ebenso gibt (EPEA 2004) eine 100 %ige Verfügbarkeit an.

Unter Zugrundelegung von typischen Werten für N- und P-Gehalte von Komposten aus Bioabfall und Grüngut (BGK 2008) und einer durchschnittlichen Kompostmenge von 350 kg FS / t biogener Abfall ergeben sich Mineraldüngeräquivalente von 0,76 bis 1,1 kg N / t biogener Abfall und von 1 bis 1,7 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$  / t biogener Abfall (0,44 – 0,74 kg P/t). Im gegenständlichen Projekt wird angenommen, dass sich die Nährstoffgehalte in Komposten aus unterschiedlichen Ausgangsmaterialien nicht unterscheiden. Geringfügige  $\text{NH}_3$ -Verluste bei der Aufbringung (siehe Emissionen Kapitel 5.2.2.1) wurden nicht berücksichtigt.

Für die Berechnungen werden folgende Werte für die Mineraldüngeräquivalenz verwendet: Kompost aus einer Tonne biogener Abfall substituiert 0,93 kg N und 1,3 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0,57 kg P).

#### 6.2.1.2 Nährstoffgehalt und Nährstoffverfügbarkeit in Gärresten

##### Nährstoffgehalt und Nährstoffverfügbarkeit in kompostiertem Gärrest

Für die Abschätzung der Nährstoffverfügbarkeit für Kompost aus Gärrest wurden ebenfalls die in 6.2.1.1 beschriebenen Ansätze nach (CUHLS ET AL. 2008) verwendet.

Unter Zugrundelegung von Angaben zu N- und P-Gehalten von Komposten aus Gärrest aus der Trockenvergärung von Bio- und Grünabfall (BGK 2008) und einer durchschnittlichen Kompostmenge von 240 kg FS/t biogener Abfall ergeben sich Mineraldüngeräquivalente von 0,67 kg N/t biogener Abfall und von 1,2 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$ /t biogener Abfall (0,52 kg P/t). Im gegenständlichen Projekt wird angenommen, dass sich die Nährstoffgehalte in Komposten aus unterschiedlichen Ausgangsmaterialien und unterschiedlichen Vergärungsverfahren (Trocken-

oder Nassvergärung) nicht unterscheiden. Geringfügige  $\text{NH}_3$ -Verluste bei der Aufbringung (siehe Emissionen Kapitel 5.2.2.2) wurden nicht berücksichtigt.

Für die Berechnungen werden folgende Werte für die Mineraldüngeräquivalenz verwendet: Kompost aus festen Gärresten aus einer Tonne biogener Abfall substituiert 0,67 kg N und 1,2 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0,52 kg P).

### **Nährstoffgehalt und Nährstoffverfügbarkeit in nicht-separierten Gärresten**

Für Gärreste wird die Mineraldüngeräquivalenz für Stickstoff nach (CUHLS ET AL. 2008) mit der Menge an eingebrachtem<sup>15</sup>  $\text{NH}_4\text{-N}$  plus 5 % des organisch gebundenen Stickstoff im ersten Jahre der Applikation und jeweils weiteren 5 % des organisch gebundenen Stickstoffs vom 2. bis zum 6. Jahr abgeschätzt.

Für die Berechnungen der Mineraldüngeräquivalenz für Stickstoff wurde folgende Annahme getroffen:

- 60 % des Stickstoffs in den Gärresten liegen als  $\text{NH}_4\text{-N}$ , 40 % organisch gebunden vor (vgl. FNR 2004).

Für die betrachteten biogenen Abfallarten ergeben sich die folgende Werte für die Mineraldüngeräquivalenz der Gärreste: 2,2 bis 6,5 kg N/t FS biogener Abfall.

Laut (LANDWIRTSCHAFTLICHES TECHNOLOGIEZENTRUM AUGUSTENBERG 2008) sind die Gesamtgehalte an Phosphor zu 100 % düngewirksam. Ebenso gibt (EPEA 2004) eine 100 %ige Verfügbarkeit an.

Da P während der Vergärung nicht verloren geht, wird im Endprodukt die gleiche Menge an P je t Ausgangsmaterial wie bei der Kompostierung angesetzt.

Für die Berechnungen werden folgende Werte für die Mineraldüngeräquivalenz verwendet: Nicht-separierter Gärrest aus einer Tonne biogener Abfall substituiert 2,7 kg N und 1,3 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0,57 kg P).

### **6.3 Vermeidung von Lachgasemissionen bei Aufbringung von Handelsdüngern**

Die  **$\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen** bei der Aufbringung von N-Handelsdünger bzw. der Vermeidung durch die Substitution dieser wurden nach (IPCC 2007) mit 1,25 % des eingebrachten verfügbaren Stickstoffs angenommen.

---

<sup>15</sup> „Eingebracht“: Gehalt an  $\text{NH}_4\text{-N}$  im unseparierten Gärrest abzüglich der gasförmigen Verluste bei der Aufbringung

#### **6.4 Kohlenstoffspeicherung durch Aufbringung von Komposten und Gärresten**

Von (SMITH ET AL 2001) wird angenommen, dass etwa 92 % des in Kompost aufgebrauchten Kohlenstoffs innerhalb eines Zeithorizonts von 100 Jahren mineralisiert (zu CO<sub>2</sub> abgebaut) werden und etwa 8 % gespeichert werden.

Für die Abschätzung der Kohlenstoffspeicherung durch das Aufbringen von Kompost und Gärresten werden folgende Annahmen getroffen:

Aus 1 Tonne (FS) biogene Abfälle entstehen bei der Kompostierung 350 kg FS Kompost mit einem durchschnittlichen Kohlenstoffgehalt von 130 kg/t FS (vgl. CUHLS ET AL. 2008).

Aus 1 Tonne (FS) biogene Abfälle entstehen bei der Vergärung mit anschließender Separation und Kompostierung der Feststoffe 264 kg FS Kompost, mit einem durchschnittlichen Kohlenstoffgehalt von 140 kg/t FS (vgl. CUHLS ET AL. 2008)

Aus 1 Tonne (FS) biogene Abfälle entstehen bei der Vergärung 842 kg FS Gärrest mit einem durchschnittlichen Kohlenstoffgehalt von 22,6 kg/t FS (vgl. CUHLS ET AL. 2008).

Für die Berechnungen wurde angesetzt, dass durch die Aufbringung von Kompost aus der Kompostierung 1 Tonne biogener Abfälle 13,3 kg CO<sub>2</sub> gespeichert werden, durch die Vergärung mit anschließender Kompostierung des Gärrests 10,8 kg CO<sub>2</sub> je Tonne biogener Abfall und durch die Ausbringung von flüssigem Gärrest 5,5 kg CO<sub>2</sub> je Tonne biogener Abfall.

## 7 ENERGIEBILANZ UND ENERGIEEFFIZIENZ DER BEHANDLUNG BIOGENER ABFÄLLE

In der Energiebilanz wird im Folgenden der Nettoenergiegewinn der Vergärungsverfahren (= extern abgegebene Energie) dargestellt.

Die Energieeffizienz wurde als Netto-Primärwirkungsgrad (erzielter Nettoenergiegewinn aus dem Energiegehalt des behandelten Abfalls) definiert. Diese wurde für die beiden betrachteten Vergärungsverfahren (Nass-, Trockenvergärung, jeweils mit und ohne Separierung des Gärrestes) und den entsprechenden Produkten (Strom, Strom + Wärme, Einspeisung ins Erdgasnetz) berechnet.

Als Energieinhalt in den Ausgangsmaterialien wurden die Werte in Tabelle 20 verwendet.

Tabelle 20: Energiegehalt biogener Abfälle in MJ/t FS

Biotonne	Speisereste	Marktabfälle	Grünschnitt
3.500	5.000	3.500	6.000

Unter Zugrundelegung der in den Kapiteln 4.3.1 bis 4.3.4 beschriebenen Annahmen ergeben sich die im Folgenden dargestellten Energieeffizienzen für die Vergärung von biogenen Abfällen.

### 7.1 Energieeffizienz der Nassvergärung ohne Separierung des Gärrestes

#### 7.1.1 Energiebilanz der Nassvergärung ohne Separierung des Gärrestes

Der Nettoenergiegewinn je Tonne behandelten biogenen Abfall ist bei der Aufbereitung von Biogas zu Biomethan am höchsten und beträgt im Mittel 599 kWh/ t biogener Abfall. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Ausgangssubstraten sind jedoch beachtlich und schwanken zwischen 425 kWh/t (Biotonne) und 856 kWh/t (Küchen- und Kantinenabfälle).

Der Nettoenergiegewinn ist bei der Nutzung von Biogas zur Strom- und Wärmeerzeugung bei vollständiger Abgabe der Wärme an externe Nutzer rund 15 % geringer: der Nettoenergiegewinn beträgt 363 (Biotonne, Nassvergärung) bis 732 kWh/t (Speisereste Trockenvergärung), im Mittel bei 514 kWh/t Ausgangsmaterial.<sup>16</sup>

Bei Nutzung des Biogases in einem Blockheizkraftwerk mit ausschließlicher Stromgewinnung liegt der Nettoenergiegewinn je nach Material zwischen 159

---

<sup>16</sup> Beim Vergleich der Erzeugung von Strom und Wärme aus Biogas mit der Biomethanproduktion ist zu berücksichtigen, dass bei der Biomethanherzeugung noch keine Umwandlungsverluste angefallen sind.

(Biotonne) und 342 kWh/t (Speisereste), im Mittel bei 230 kWh je t Ausgangsmaterial.

Der Nettoenergiegewinn je Tonne ist für *Küchen- und Kantinenabfälle* unabhängig vom Vergärungsverfahren und der Nutzung des Biogases – und trotz des zusätzlichen Energiebedarfs für die Hygienisierung - am größten (von 342 kWh/t bei ausschließlicher Verstromung bis zu 856 kWh/t Input bei der Erzeugung von Biomethan). *Grünschnitt* liegt im mittleren Bereich gefolgt von Marktabfällen. Verglichen mit Speiseabfällen wird bei *Biotonnematerial* nur etwa die Hälfte an Nettoenergiegewinn je Tonne Input erzielt (Biotonnematerial von 159 kWh/t bei ausschließlicher Verstromung bis zu 425 kWh/t Input bei der Erzeugung von Biomethan).

### **7.1.1 Energieeffizienz der Nassvergärung ohne Separierung des Gärrestes**

Im Schnitt über alle biogenen Abfälle wird bei der Erzeugung von Biomethan 48 % des Energieinhalts des Abfalls (38 % bei Grünschnitt bis 62 % bei Speiseresten), bei der Erzeugung von Strom und vollständiger Nutzung der erzeugten Wärme 41 % genutzt (33 % bei Grünschnitt bis 53 % bei Speiseresten). Wird aus Biogas ausschließlich Strom erzeugt, so wird im Schnitt nur 18 % des Energieinhalts des Abfalls genutzt (15 % bei Grünschnitt bis 25 % bei Speiseresten).

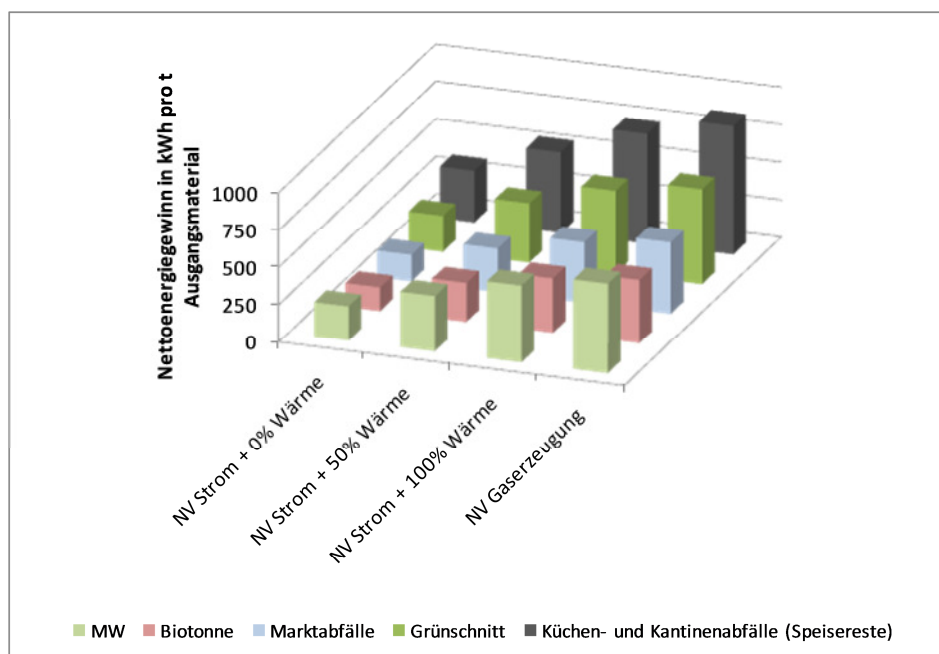
Bei der Vergärung von Küchen- und Kantinenabfällen ist die Energieeffizienz am höchsten (25 % bei ausschließlicher Verstromung bis zu 62 % bei der Erzeugung von Biomethan). Marktabfälle und Biotonnematerial liegen im mittleren Bereich. Bei Grünabfällen beträgt die Energieeffizienz 15 % bei ausschließlicher Verstromung und 38 % bei der Erzeugung von Biomethan.

Tabelle 22 und Abbildung 1 zeigen zusammenfassend die Ergebnisse für den Nettoenergiegewinn und die Energieeffizienz bei der Nassvergärung von biogenen Abfällen ohne Separierung des Gärrestes für unterschiedliche Nutzungsarten der im erzeugten Biogas enthaltenen Energie.



Tabelle 21: Nettoenergiegewinn bei der Nassvergärung von biogenen Abfällen ohne Separierung des Gärrests (kWh / t Input und Energieeffizienz<sup>17</sup>)

	Erzeugung von Strom und Wärme mittels BHKW		Erzeugung von Biomethan	
	Anteil der an externe Verbraucher abgegebenen Wärme			
	0 %	50 %	100 %	
Biotonne	159	261	363	425
	16 %	27 %	37 %	44 %
Küchen- und Kantinenabfälle	342	537	732	856
	25 %	39 %	53 %	62 %
Marktabfälle	178	292	406	478
	18 %	31 %	42 %	49 %
Grünschnitt	242	397	553	635
	15 %	24 %	33 %	38 %
<b>Durchschnitt</b>	<b>230</b>	<b>372</b>	<b>514</b>	<b>599</b>
	<b>18 %</b>	<b>30 %</b>	<b>41 %</b>	<b>48 %</b>



<sup>17</sup> Energieeffizienz: Netto-Primärwirkungsgrad (erzielter Netto-Nutzen aus dem Energiegehalt des behandelten Abfalls)

Abbildung 1: Nettoenergiegewinn bei der Nassvergärung von biogenen Abfällen ohne Separierung des Gärrestes (kWh / t Input) (NV.. Nassvergärung)

## 7.2 Energiebilanz und Energieeffizienz der Vergärung mit Separierung des Gärrestes

Im Unterschied zur Energieeffizienz bei der Vergärung ohne Separierung des Gärrestes werden hier die Energieaufwände für die teilgeschlossene Kompostierung des Gärrestes (Diesel, Stromeigenverbrauch) mit berücksichtigt. Diese Aufwände betragen je nach biogenem Ausgangsmaterial zwischen 38 und 50 kWh<sup>18</sup>, im Mittel 44 kWh / t biogenes Ausgangsmaterial.

Die Energieeffizienz verringert sich durch die Kompostierung des festen Gärrestes im Vergleich zur Vergärung ohne Separierung um 2,5 – 5,5 %.

Im Schnitt über alle biogenen Abfälle wird bei der Erzeugung von Biomethan 45 % des Energieinhalts des Abfalls (36 % bei Grünschnitt bis 59 % bei Speiseresten), bei der Erzeugung von Strom und vollständiger Nutzung der erzeugten Wärme 38 % genutzt (31 % bei Grünschnitt bis 50 % bei Speiseresten). Wird ausschließlich Strom aus Biogas erzeugt, so wird im Schnitt nur 15 % des Energieinhalts des Abfalls genutzt (12 % bei Grünschnitt bis 22 % bei Speiseresten).

Die Art des Vergärungsverfahrens (nass oder trocken) hat unter den getroffenen Annahmen einen sehr geringen Einfluss auf den Nettoenergiegewinn.

Tabelle 22 zeigt zusammenfassend die Ergebnisse für den Nettoenergiegewinn und die Energieeffizienz bei der Vergärung von biogenen Abfällen mit Separierung des Gärrestes und anschließender teilgeschlossener Kompostierung, für unterschiedliche Nutzungsarten der im erzeugten Biogas enthaltenen Energie.

Tabelle 22: Nettoenergiegewinn bei der Vergärung von biogenen Abfällen mit Separierung des Gärrestes (kWh / t Input und Anteil der gewonnenen Energie bezogen auf den Energieinhalt des Substrats)

Art der Vergärung	Erzeugung von Strom und Wärme mittels BHKW						Erzeugung von Biomethan	
	Anteil der an externe Verbraucher abgegebenen Wärme							
	0 %		50 %		100 %			
	Nass	Tr.	Nass	Tr.	Nass	Tr.	Nass	Tr.
Biotonne	109	109	211	221	313	34	375	398
	11 %	11 %	22 %	23 %	32 %	%	39 %	41 %
Küchen- und Kanti-	305	305	500	510	695	715	818	841

<sup>18</sup> KEA des Fremdstrombezuges wurde berücksichtigt

nenabfälle		22 %	22 %	36 %	37 %	50 %	51 %	59 %	61 %
Marktabfälle		127	127	241	251	355	375	427	449
		13 %	13 %	25 %	26 %	37 %	39 %	44 %	46 %
Grünschnitt		204	204	359	369	514	534	597	619
		12 %	12 %	22 %	22 %	31 %	32 %	36 %	37 %
<b>biogene (MW)</b>	<b>Abfälle</b>	<b>186</b>		<b>333</b>		<b>479</b>		<b>566</b>	
		<b>(15 %)</b>		<b>(26 %)</b>		<b>(38 %)</b>		<b>(45 %)</b>	

Tr..Trockenvergärung

## 8 THG-BILANZ DER BEHANDLUNG BIOGENER ABFÄLLE

Die Treibhausgasbilanz der Behandlung biogener Abfälle ergibt sich aus den Emissionen die mit der Behandlung und Verwertung verbunden sind sowie den erzielbaren Gutschriften durch die Verwertung der erzeugten „Produkte“.

### 8.1 THG-Emissionen bei der Behandlung und Verwertung biogener Abfälle

Die THG- Emissionen betragen bei der teilgeschlossenen Kompostierung 60 kg CO<sub>2-eq</sub>/t, bei der offenen Kompostierung 72 kg CO<sub>2-eq</sub>/t.

Bei der offenen Kompostierung sind 72 % der Emissionen durch die biologischen Prozesse und 15 % durch den Energieeinsatz bedingt. Auch bei der teilgeschlossenen Kompostierungen stammt der größte Teil der Emissionen aus dem Prozess selbst (53 %), der Energieverbrauch trägt 33 % zu den Emissionen bei. Die jeweils verbleibenden Restemissionen sind vor allem durch die Anlieferung und Aufbereitung verursacht. Die Emissionen bei der Aufbringung betragen lediglich 5 % der Gesamtemissionen.

Die THG-Emissionen der betrachteten Vergärungsverfahren<sup>19</sup> liegen zwischen - 64 kg CO<sub>2-eq</sub>/t (Nassvergärung von Biotonnenmaterial ohne Separierung des Gärrestes, Erzeugung von Strom und Wärme, 2 % Verluste vom Gärrestlager) und 155 kg CO<sub>2-eq</sub>/t (Trockenvergärung von Speiseabfällen mit Separierung des Gärrestes, Aufbereitung des Biogases zu Biomethan).

Wesentliche Ergebnisse für die Emissionen bei der Vergärung:

- Die Nassvergärung ohne Separierung des Gärrestes hat dann geringere Emissionen als eine Vergärung mit Separation und anschließender Kompostierung des festen Gärrestes, wenn die Emissionen vom Gärrestlager maximal 5 % des gesamten Gasertrags sind.
- Die Emissionen bei der Aufbereitung zu Biomethan sind um rund 30 (Biotonne) bis rund 40 kg CO<sub>2-eq</sub>/t (Speisereste) höher als bei der Erzeugung von Strom und Wärme aus dem Biogas und mit Separierung des Gärrestes.
- Bei der Aufbereitung zu Biomethan sind bei den Varianten mit Kompostierung des Gärrestes 46 % der Emissionen auf die Kompostierung und 12 % auf das Abpressen des Gärrestes zurückzuführen. Die Methanverluste bei der Aufbereitung des Gases verursachen rund 20 % und der für die Aufbereitung notwendige Energieaufwand rund 10 %. Der Rest entfällt auf die benötigte Strommenge für die Vergärung sowie die Aufbereitung der Abfälle.  
Wird der Gärrest nicht kompostiert, so sind die Emissionen vom Gärrestlager die größte Emissionsquelle: Bei 2 % Emissionen des Gaser-

---

<sup>19</sup> Bei den Vergärungsverfahren ohne Separierung des Gärrestes wird nur die Variante mit einer Emission von 2% des gesamten Gasertrages aus dem Gärrestlager dargestellt.

trags aus dem Gärrestlager tragen diese zu 35 % der Gesamtemissionen bei.

- Bei der Erzeugung von Strom und Wärme aus dem Biogas stammen bei den Varianten mit Kompostierung des Gärrestes knapp über 60 % aus der Kompostierung des festen Gärrestes. Jeweils rund 15 % stammen aus dem Abpressen des Gärrestes und dem Methanschluß im Blockheizkraftwerk. Der Rest entfällt auf die Anlieferung und Aufbereitung sowie die Emissionen aus den aufgebrauchten Gärrestkomposten. Wird der Gärrest nicht kompostiert, so sind die Emissionen vom Gärrestlager die Hauptemissionsquelle: Bei 2 % Emissionen des Gasertrags aus dem Gärrestlager tragen diese zu 40 % der Gesamtemissionen bei.
- Der Methanschluß bei den BHKW trägt zwischen 15 % und 20 % zu den THG-Emissionen bei.
- Die Emissionen bei Trocken- und Nassvergärung sind unter den getroffenen Annahmen sehr ähnlich.

Detaillierte Ergebnisse sind in Kapitel 8.3 sowie im Anhang Tabelle 24 bis Tabelle 29 dargestellt.

## **8.2 THG-Gutschriften durch die Behandlung und Verwertung biogener Abfälle**

Bei der Kompostierung und der Vergärung werden durch die Aufbringung von Komposten und Gärrückständen den Böden Nährstoffe zugeführt, wodurch unter Berücksichtigung der Nährstoffverfügbarkeit entsprechende Mengen an mineralischen Handelsdüngern eingespart werden können. Somit werden Produktionsemissionen bei der Erzeugung dieser Handelsdünger sowie Lachgasemissionen, die bei der Aufbringung N-haltiger Handelsdünger entstehen, vermieden. Eine weitere Gutschrift erfolgt durch die Fixierung von Kohlenstoff in langfristig stabilen Humusverbindungen in Komposten. Bei der Vergärung kommen zusätzliche Gutschriften durch die Erzeugung von Strom, Wärme und Biomethan hinzu.

Die geringsten Gutschriften werden bei der offenen und teilgeschlossenen Kompostierung mit 24 kg CO<sub>2-eq</sub>/t biogener Abfälle erzielt. Die Hälfte der Gutschrift stammt aus der C-Fixierung, ein Drittel durch vermiedene Emissionen bei der Produktion von Handelsdüngern und 15 % aus vermiedenen Lachgasemissionen durch die Aufbringung von Handelsdüngern.

Bei der Vergärung reicht die Spanne der Gutschriften von 48 (Nassvergärung von Biotonnematerial mit Separierung des Gärrestes, nur Stromproduktion) bis 302 kg CO<sub>2-eq</sub>/t (Nassvergärung von Speisabfällen ohne Separierung des Gärrestes, Produktion von Biomethan).

Folgende wesentliche Ergebnisse für die Gutschriften bei der Vergärung ergeben sich aus den Berechnungen:

- Die Biomethanerzeugung erzielt bei gleicher Abfallart die höchsten Gutschriften. Dabei sind die Gutschriften bei den Varianten ohne Gärrestseparierung um 18 kg CO<sub>2-eq</sub>/t höher als bei den Varianten mit Gärrestseparierung.
- Wird das Biogas zur Erzeugung von Strom und Wärme genutzt, so sind die Gutschriften bei vollständiger Wärmenutzung um 55 bis 75 kg CO<sub>2-eq</sub>/t geringer als bei der Biomethanerzeugung.
- Bei der Erzeugung von Strom und Wärme sind die Gutschriften bei den Varianten ohne Separierung des Gärrestes um 25 bis 30 kg CO<sub>2-eq</sub>/t höher als bei den Varianten mit Separierung des Gärrestes
- Die Gesamtgutschriften bei einer reinen Stromerzeugung liegen bei den Varianten mit Kompostierung zwischen 48 (Biotonne) und 97 kg CO<sub>2-eq</sub>/t (Speisereste). Davon werden 29 (Biotonne) bis 79 kg CO<sub>2-eq</sub>/t (Speisereste) durch den erzeugten Strom erzielt.  
Bei den Varianten ohne Kompostierung liegen die Gesamtgutschriften zwischen 77 (Biotonne) und 123 kg CO<sub>2-eq</sub>/t (Speisereste), davon werden 40 (Biotonne) bis 87 kg CO<sub>2-eq</sub>/t (Speisereste) durch den erzeugten Strom erzielt.
- Eine zur Stromeinspeisung zusätzliche Nutzung von 50 % der erzeugten Wärme erhöht die Gutschrift um 20 (Biotonne) bis 40 kg CO<sub>2-eq</sub>/t (Speisereste).
- Eine zur Stromeinspeisung zusätzliche Nutzung von 100 % der erzeugten Wärme erhöht die Gutschrift um 63 (Biotonne) bis 113 kg CO<sub>2-eq</sub>/t (Speisereste).<sup>20</sup>
- Der Anteil der C-Fixierung durch die aufgebrauchten Gärrestkomposte an den Gesamtgutschriften liegt auch in den Varianten, bei denen nur Strom genutzt wird, bei maximal 16 %.
- Die Gutschrift für die C-Fixierung ist höher als die Gutschriften durch die eingesparte Produktion von Handelsdüngern und die vermiedenen Lachgasemissionen bei der Aufbringung dieser Dünger zusammen.

Detaillierte Ergebnisse sind in Kapitel 8.3 sowie im Anhang Tabelle 24 bis Tabelle 29 dargestellt.

### 8.3 Gesamt-THG-Bilanzen der Behandlung biogener Abfälle

Die Gesamtbilanz ergibt sich aus den Emissionen abzüglich der Gutschriften (Saldo).

In den folgenden Kapiteln werden nur die Mittelwerte aus den betrachteten vier Abfallarten dargestellt. Die Trockenvergärung wird nicht gesondert ausgewie-

---

<sup>20</sup> Im Vergleich zur zusätzlichen Gutschrift bei 50%iger Wärmenutzung ist das mehr als eine Verdoppelung. Ursache ist, dass für die beiden Wärmevarianten (50%/100%) unterschiedliche Energieträgersubstitutionen angenommen wurden.

sen, da die Ergebnisse auf Grund der getroffenen Annahmen sehr ähnlich zu jenen der Nassvergärung sind.

Die detaillierten Ergebnisse für die einzelnen Abfallarten finden sich in den Tabelle 23 bis Tabelle 29 im Anhang.

### 8.3.1 THG-Bilanz der Kompostierung

Die THG-Bilanz ist bei der offenen (47,4 kg CO<sub>2</sub>-eq/t) als auch der teilgeschlossenen Kompostierung (35,7 kg CO<sub>2</sub>-eq/t) positiv. Die positiven Werte werden vor allem durch die Methan – und Lachgasemissionen durch die biologische Aktivität während des Kompostierungsprozesses verursacht.

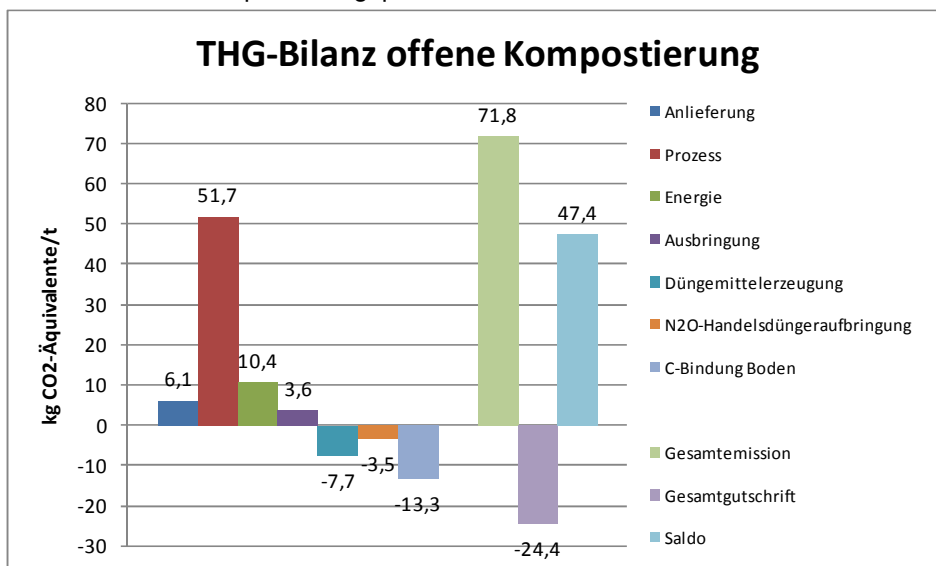


Abbildung 2: THG-Bilanz der offenen Kompostierung in kg CO<sub>2</sub>-eq/t Ausgangsmaterial

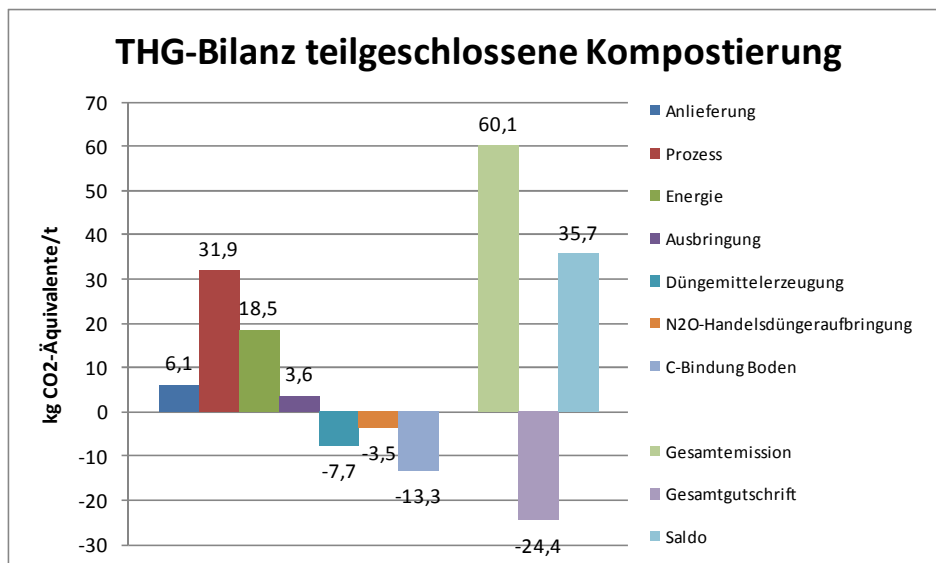


Abbildung 3: THG-Bilanz der teilgeschlossenen Kompostierung in kg CO<sub>2</sub>-eq/t Ausgangsmaterial

### 8.3.2 THG-Bilanzen der Nassvergärung mit Kompostierung des Gärrestes

Bei der Nassvergärung mit Kompostierung wurden die Varianten (i) ausschließliche Stromerzeugung, (ii) Stromerzeugung + 50 %ige Nutzung der erzeugten Wärme, (iii) Stromerzeugung + 100 %ige Nutzung der erzeugten Wärme sowie (iv) die Aufbereitung von Biogas zu Biomethan betrachtet. Die Varianten (i) bis (iii) unterscheiden sich nur in der jeweils erzielbaren Gesamtgutschrift für Strom und die abgegebene Wärme, die Gesamtemissionen sind jeweils gleich. Der Großteil (62 %) der Emissionen dieser Varianten wird durch die Kompostierung des festen Gärrestes verursacht. Weitere 15 % der Emissionen stammen aus dem Abpressen des Gärrestes.

Variante (iv) unterscheidet sich in zusätzlichen Punkten und wird getrennt betrachtet.

Die THG-Bilanzen der betrachteten Abfälle bei den vier Varianten reichen von -38 kg CO<sub>2-eq</sub>/t (ausschließlichen Stromerzeugung) bis zu -75 kg CO<sub>2-eq</sub>/t (Aufbereitung des Biogases zu Biomethan).

Die detaillierten Ergebnisse für die betrachteten Abfallströme für die Varianten (i) bis (iii) sind im Anhang Tabelle 24 dargestellt.

#### Ad (i) ausschließliche Stromerzeugung

Der mittlere Saldo beträgt 40 kg CO<sub>2-eq</sub>/t, wobei die Bandbreite von 55 kg CO<sub>2-eq</sub>/t (Biotonne) bis 13 kg CO<sub>2-eq</sub>/t (Speisereste) reicht.

Im Mittel stammen 72 % der Gutschriften aus dem erzeugten Strom, 16 % aus der C-Fixierung.

#### Ad (ii) Stromerzeugung + 50 %ige Nutzung der erzeugten Wärme

Der mittlere Saldo beträgt 10 kg CO<sub>2-eq</sub>/t, wobei die Bandbreite von 33 kg CO<sub>2-eq</sub>/t (Biotonne) bis -28 kg CO<sub>2-eq</sub>/t (Speisereste) reicht.

Im Mittel stammen 50 % der Gutschriften aus dem erzeugten Strom, 31 % aus der erzeugten Wärme und 11 % aus der C-Fixierung.

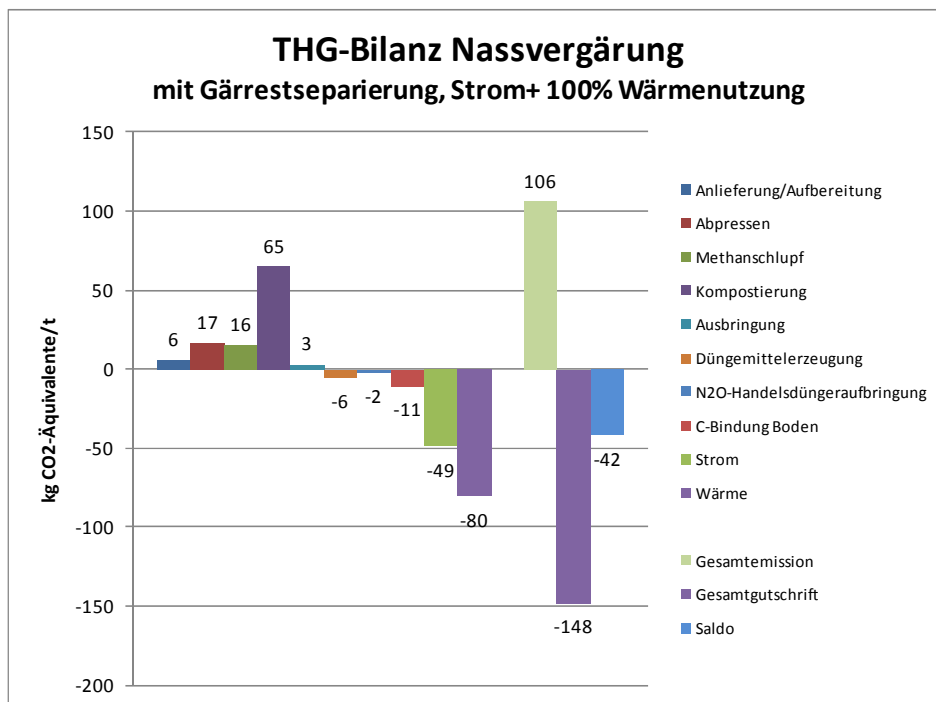
#### Ad (iii) Stromerzeugung + 100 %ige Nutzung der erzeugten Wärme

Der mittlere Saldo beträgt -41 kg CO<sub>2-eq</sub>/t, wobei die Bandbreite von -3 kg CO<sub>2-eq</sub>/t (Biotonne) bis -97 kg CO<sub>2-eq</sub>/t (Speisereste) reicht.

Im Mittel stammen 33 % der Gutschriften aus dem erzeugten Strom, 54 % aus der erzeugten Wärme und 7 % aus der C-Fixierung.



Die folgende Abbildung 4 zeigt die Emissionen, Gutschriften und Saldo bei der Nassvergärung mit Separierung des Gärrestes mit der Nutzung des erzeugten



Stroms sowie 100 % der erzeugten Wärme. Würde nur 50 % der Wärme genutzt, so wäre die Gutschrift für die Wärmenutzung und damit auch der Saldo um 50 kg CO<sub>2</sub>-eq/t niedriger.

Abbildung 4: Emissionen, Gutschriften und Saldo bei der Nassvergärung mit Separierung des Gärrestes und Strom/Wärmenutzung in kg CO<sub>2</sub>-eq/t Ausgangsmaterial

#### (iv) Aufbereitung von Biogas zu Biomethan

46 % der Emissionen dieser Variante werden durch die Kompostierung des festen Gärrestes verursacht. Zweitgrößte Emissionsquelle mit 19 % sind Methanverluste bei der Aufbereitung des Biogases zu Biomethan. Weitere 12 % der Emissionen stammen aus dem Abpressen des Gärrestes, 10 % aus dem für die Aufbereitung des Biogases notwendigen Strom und 7 % aus dem für die Vergärung benötigten Strom.

Die THG-Bilanz beträgt im Mittel -71 kg CO<sub>2</sub>-eq/t, wobei die Bandbreite von -30 kg CO<sub>2</sub>-eq/t (Biotonne) bis -131 kg CO<sub>2</sub>-eq/t (Speisereste) reicht.

Im Mittel stammen 91 % der Gutschriften aus dem erzeugten Biomethan.

Die folgende Abbildung 5 zeigt die Emissionen, Gutschriften und Saldo bei der Nassvergärung mit Separierung des Gärrestes und Aufbereitung des Biogases zu Biomethan. Die detaillierten Ergebnisse für die betrachteten Abfallströme für die Biomethanherzeugung sind im Anhang Tabelle 25 dargestellt.

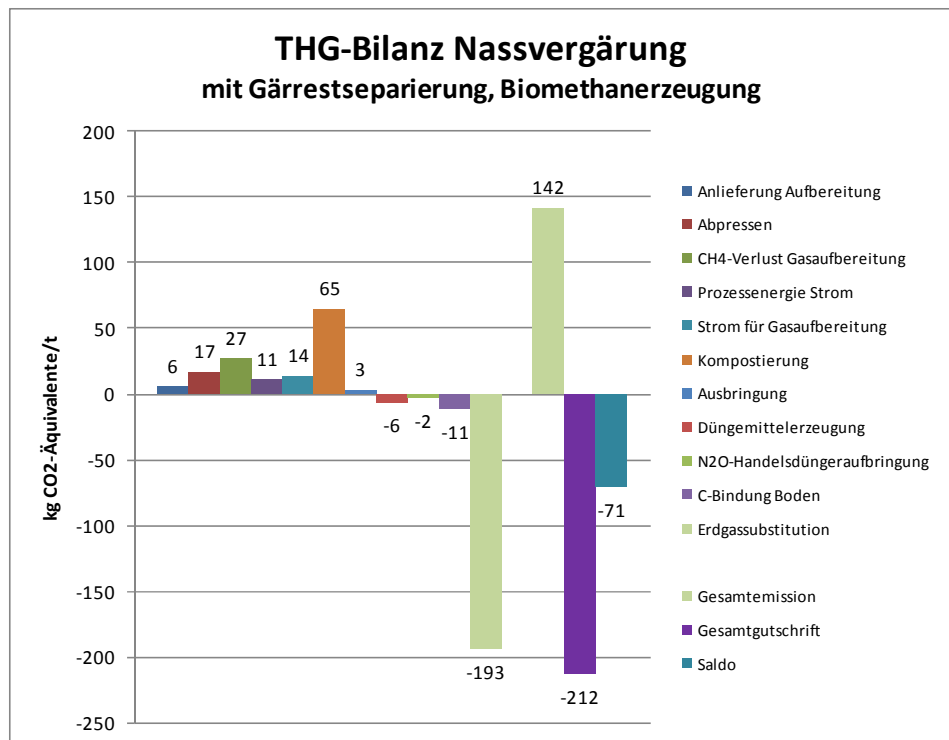


Abbildung 5: Emissionen, Gutschriften und Saldo bei der Nassvergärung mit Separierung des Gärrestes und Aufbereitung des Biogases zu Biomethan in kg CO<sub>2-eq</sub>/t Ausgangsmaterial

### 8.3.3 THG Bilanzen der Trockenvergärung mit Kompostierung des Gärrestes

Die getroffenen Annahmen für die Trockenvergärung sind weitestgehend ident mit jenen der Nassvergärung. Lediglich beim Wärmebedarf wurde bei der Trockenvergärung ein etwas geringerer Wert angenommen. Demzufolge sind die Ergebnisse mit jenen der Nassvergärung praktisch ident.

Bei einer Nutzung von 50 % der Wärme ist die Gutschrift um 2 kg CO<sub>2-eq</sub>/t und bei 100 %iger Nutzung um 6 kg CO<sub>2-eq</sub>/t höher als bei der Nassvergärung. Die Detailergebnisse sind im Anhang Tabelle 26 dargestellt.

Ähnlich gering fallen die Unterschiede bei der Biomethanerzeugung aus. Durch die etwas höhere zu verarbeitende Gasmenge steigen die Methanverluste um 1 kg CO<sub>2-eq</sub>/t Ausgangsmaterial. Gleichzeitig steigt jedoch die Gutschrift für die Substituierung von Erdgas um 6 kg CO<sub>2-eq</sub>. Der Saldo ist somit um 5 kg CO<sub>2-eq</sub>/t Ausgangsmaterial niedriger als bei der Nassvergärung.

Die Detailergebnisse für die Biomethanerzeugung sind im Anhang Tabelle 27 dargestellt.

### 8.3.4 THG Bilanzen der Nassvergärung ohne Kompostierung des Gärrestes

Bei der Nassvergärung ohne Kompostierung (Co-Vergärung) wurden die Varianten (i) ausschließliche Stromerzeugung, (ii) Stromerzeugung + 50 %ige Nutzung der erzeugten Wärme, (iii) Stromerzeugung + 100 %ige Nutzung der erzeugten Wärme sowie (iv) die Aufbereitung von Biogas zu Biomethan betrachtet. Die Varianten (i) bis (iii) unterscheiden sich sowohl in den Emissionen aus dem Gärrestlager als auch in der jeweils erzielbaren Gesamtgutschrift für Strom und die abgegebene Wärme.

Variante (iv) unterscheidet sich in zusätzlichen Punkten und wird getrennt betrachtet.

Die THG-Bilanzen der betrachteten Abfälle bei den vier Varianten reichen dabei von  $-16 \text{ kg CO}_{2\text{-eq}}/\text{t}$  (ausschließlichen Stromerzeugung, 2 % des gesamten Gasertrages emittieren vom Gärrestlager) bis zu  $-141 \text{ kg CO}_{2\text{-eq}}/\text{t}$  (Aufbereitung des Biogases zu Biomethan, 2 % des gesamten Gasertrages emittieren vom Gärrestlager).

Die detaillierten Ergebnisse für die betrachteten Abfallströme für die Varianten (i) bis (iii) sind im Anhang Tabelle 1 Tabelle 28 dargestellt.

Alle Bilanzen werden stark durch die Emissionen vom Gärrestlager beeinflusst. Entsprechend den getroffenen Annahmen nehmen die Emissionen bei Materialien mit höherem Gasertrag stärker zu. Die folgende Abbildung 6 zeigt den Einfluss der Emissionen vom Gärrestlager auf die THG-Bilanzen. Dabei wurde eine Emission vom Gärrestlager in Höhe von 2 %, von 5 % und von 10 % des Gasertrages angesetzt. Während bei Emissionen von 2 % in allen Fällen eine negative THG-Bilanz erzielt wird, ergeben sich bei einer Emission von 5 % bei einer alleinigen Gewinnung von Strom, aber auch bei einer zusätzlichen Nutzung von 50 % der Abwärme positive THG-Bilanzen. Bei Emissionen von 10 % der Gasmenge vom Gärrestlager wird nur noch bei der Aufbereitung zu Biomethan eine negative THG-Bilanz erzielt. Die THG Bilanzen bei der alleinigen Nutzung von Strom und auch bei der zusätzlichen Nutzung von 50 % der Abwärme sind positiver als die THG-Bilanzen bei der Kompostierung.

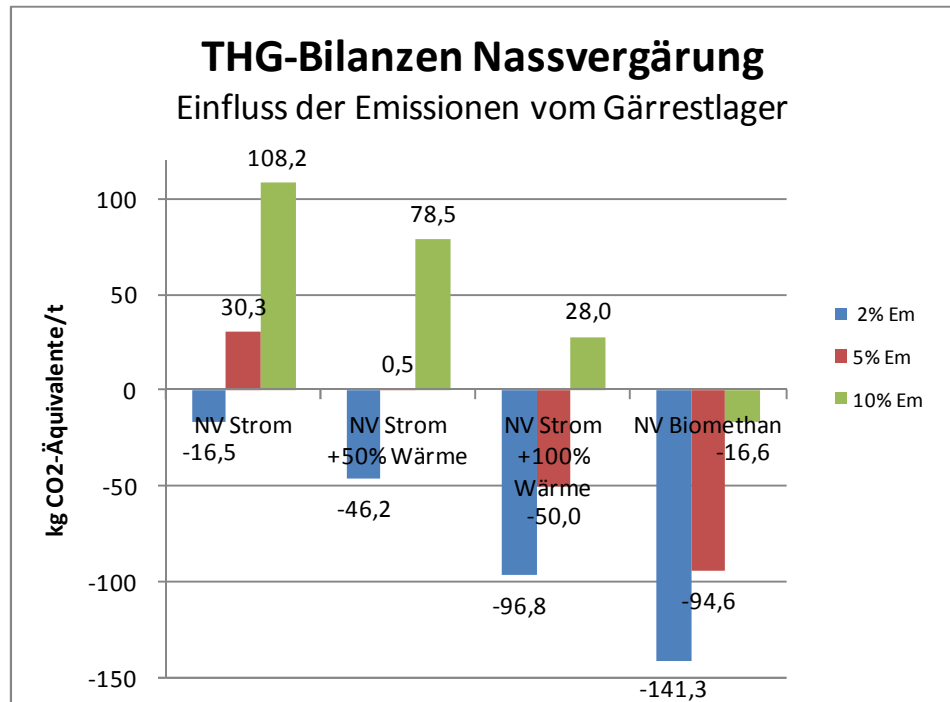


Abbildung 6: Mittlere Salden bei der Nassvergärung ohne Separierung des Gärrests in Abhängigkeit von den Emissionen aus dem Gärrestlager in kg CO<sub>2-eq</sub>/t Ausgangsmaterial (NV.. Nassvergärung)

In den folgenden Abschnitten wird eine Emission von Methan vom Gärrestlager von 2 % des Gasertrages der Materialien dargestellt.

Ad (i) ausschließliche Stromerzeugung

Die THG-Bilanz der reinen Stromerzeugung beträgt -16 kg CO<sub>2-eq</sub>/t, wobei die Bandbreite von -10 kg CO<sub>2-eq</sub>/t (Biotonne) bis -27 kg CO<sub>2-eq</sub>/t (Speisereste) reicht. Im Mittel stammen 40 % der Emissionen aus dem Gärrestlager, 32 % aus der Ausbringung und 20 % werden durch den Methanschluß verursacht. Der Anteil der Stromerzeugung an der Gutschrift beträgt 61 %, jener der eingesparten Emissionen bei der Düngemittelproduktion 22 %.

Ad (ii) Stromerzeugung + 50 %ige Nutzung der erzeugten Wärme

Die THG-Bilanz der Stromerzeugung und 50 %igen Nutzung der Abwärme beträgt -46 kg CO<sub>2-eq</sub>/t, wobei die Bandbreite von -31 kg CO<sub>2-eq</sub>/t (Biotonne) bis -68 kg CO<sub>2-eq</sub>/t (Speisereste) reicht. Der Anteil der Stromerzeugung an der Gutschrift beträgt 47 %, die Abgabe von 50 % der erzeugten Wärme trägt 24 % und die eingesparten Emissionen bei der Düngemittelproduktion 17 % zu den Gutschriften bei.

Ad (iii) Stromerzeugung + 100 %ige Nutzung der erzeugten Wärme

Die THG-Bilanz der Stromerzeugung und 100 %igen Nutzung der Abwärme beträgt -97 kg CO<sub>2-eq</sub>/t, wobei die Bandbreite von -67 kg CO<sub>2-eq</sub>/t (Biotonne) bis -138 kg CO<sub>2-eq</sub>/t (Speisereste) reicht. Der Anteil der Stromerzeugung an der Gutschrift beträgt 33 %, die Abgabe von 100 % der erzeugten Wärme trägt 46 % und die eingesparten Emissionen bei der Düngemittelproduktion 12 % zu den Gutschriften bei.

Die folgende Abbildung 7 zeigt die Emissionen, Gutschriften und Saldo bei der Nassvergärung ohne Separierung des Gärrestes mit der Nutzung des erzeugten Stroms sowie 100 % der erzeugten Wärme bei 2 % Emissionen vom Gärrestlager. Würde nur 50 % der Wärme genutzt, so wäre die Gutschrift für die Wärmenutzung und damit auch der Saldo um 50 kg CO<sub>2-eq</sub>/t niedriger<sup>21</sup>.

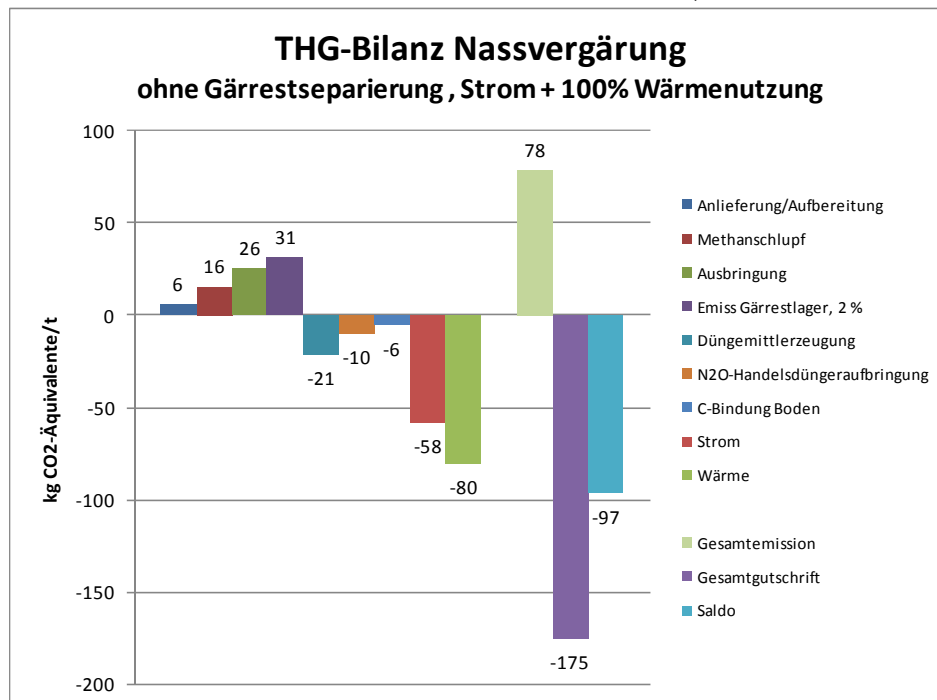


Abbildung 7: Emissionen, Gutschriften und Saldo bei der Nassvergärung ohne Separierung des Gärrestes, Strom und vollständiger Wärmenutzung bei 2 % Emissionen vom Gärrestlager in kg CO<sub>2-eq</sub>/t Ausgangsmaterial

#### (iv) Aufbereitung von Biogas zu Biomethan

Die THG-Bilanz der Biomethanherzeugung aus Biogas und 100 %igen Nutzung der Abwärme beträgt -141 kg CO<sub>2-eq</sub>/t, wobei die Bandbreite von -109 kg CO<sub>2-eq</sub>/t (Biotonne) bis 188 kg CO<sub>2-eq</sub>/t (Speisereste) reicht. Im Mittel stammen 35 % der Emissionen aus dem Gärrestlager, 31 % der Emissionen sind Methanverluste bei der Aufbereitung. Weitere 15 % der Emissionen sind durch den benötigten Strom für die Gasaufbereitung und 12 % durch den Strombedarf der Vergärung bedingt. Der Anteil der Erdgassubstitution an der Gutschrift beträgt 84 %, jener der eingesparten Emissionen bei der Düngemittelproduktion 9 %.

<sup>21</sup> In den Varianten 50%ige Abwärmenutzung und 100%ige Abwärmenutzung wurde eine unterschiedliche Substitution von Energieträgern angesetzt.

Die detaillierten Ergebnisse für die betrachteten Abfallströme für die Biomethanherzeugung sind im Anhang Tabelle 29 dargestellt.

Abbildung 8 zeigt die Emissionen, Gutschriften und Saldo bei der Nassvergärung ohne Separierung des Gärrestes und Aufbereitung des Biogases zu Biomethan.

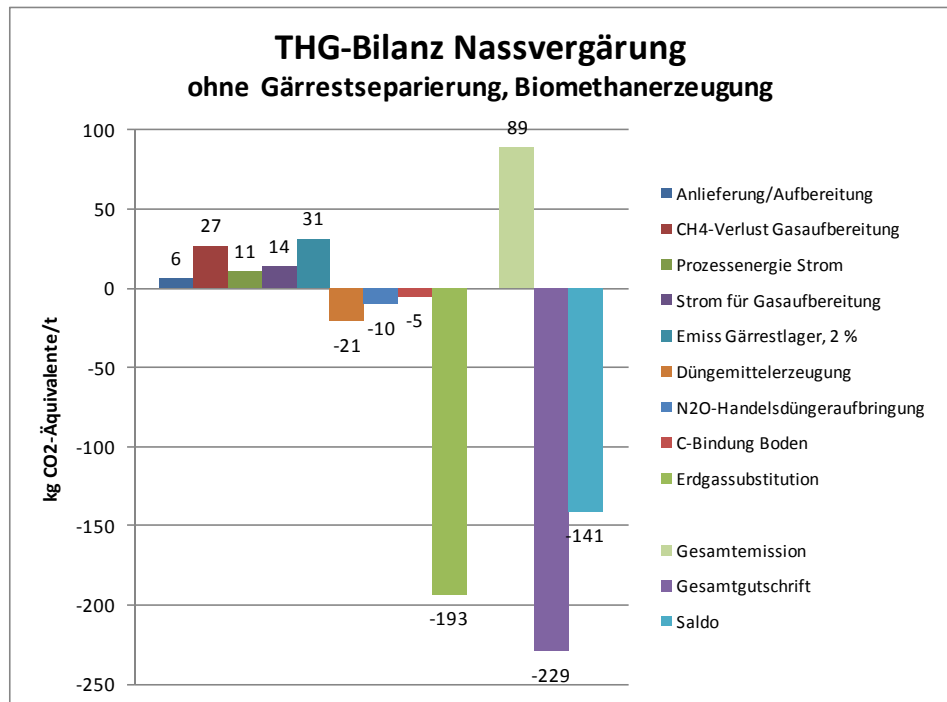


Abbildung 8: Emissionen, Gutschriften und Saldo bei der Nassvergärung ohne Separierung des Gärrestes und Aufbereitung des Biogases zu Biomethan bei 2 % Emissionen vom Gärrestlager in kg CO<sub>2-eq</sub>/t Ausgangsmaterial

### 8.3.5 Vergleich der THG-Bilanzen der betrachteten Verfahren

Die Mittelwerte der THG-Bilanz (Emissionen abzüglich Gutschriften) liegen bei den betrachteten Behandlungsverfahren und den einzelnen Varianten zwischen 49 kg CO<sub>2-eq</sub> je t (offene Kompostierung) und -141 kg CO<sub>2-eq</sub> je t Ausgangsmaterial (Nassvergärung ohne Separierung des Gärrestes, Aufbereitung von Biogas zu Biomethan und 2 % Emissionen vom Gärrestlager).

Detaillierte Ergebnisse sind im Anhang Tabelle 24 bis Tabelle 29 dargestellt.

Tabelle 23: Emissionen, Gutschriften und Saldo bei den betrachteten Verfahren in kg CO<sub>2-eq</sub>/t Ausgangsmaterial

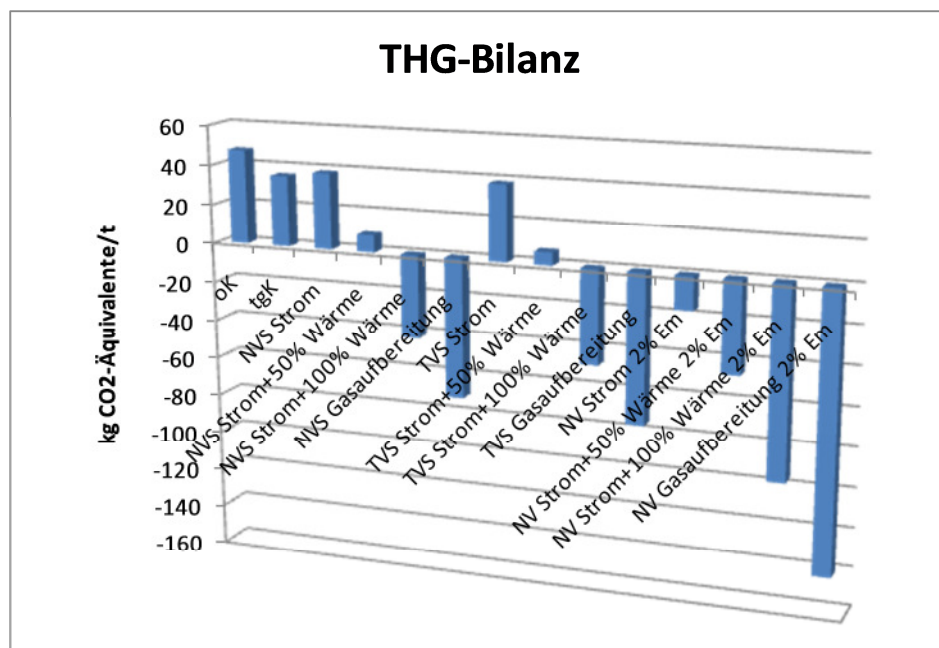
	Emission	Gutschrift	Saldo
Offene Kompostierung	72	-24	47
Teilgeschlossene Kompostierung	60	-24	36
NVS Strom	106	-68	38
NVS Strom+50 % Wärme	106	-97	9

NVS Strom+100 % Wärme	106	-148	-42
NVS Gasaufbereitung	142	-212	-71
TVS Strom	106	-68	38
TVS Strom+50 % Wärme	106	-100	7
TVS Strom+100 % Wärme	106	-154	-48
TVS Gasaufbereitung	143	-218	-75
NV Strom 2 % Em	78	-95	-16
NV Strom+50 % Wärme 2 % Em	78	-125	-46
NV Strom+100 % Wärme 2 % Em	78	-175	-97
NV Gasaufbereitung 2 % Em	89	-230	-141

NVS.. Nassvergärung mit Separierung des Gärrests; TVS.. Trockenvergärung mit Separierung des Gärrests; NV.. Nassvergärung ohne Separierung des Gärrests

NV.. Nassvergärung ohne Separierung des Gärrests

Abbildung 9 zeigt die THG-Bilanzen der Behandlungsverfahren mit unterschiedlicher Nutzung des Biogases.



NVS.. Nassvergärung mit Separierung des Gärrests; TVS.. Trockenvergärung mit Separierung des Gärrests; NV.. Nassvergärung ohne Separierung des Gärrests

Abbildung 9: Mittelwerte der Gutschriften, Emissionen und Salden bei der Behandlung biogener Abfälle in kg CO<sub>2</sub>-eq/t Ausgangsmaterial

Wesentliche Ergebnisse sind:

- Die Aufarbeitung des Biogases zu Biomethan zeigt die beste THG-Bilanz. Die Bilanz weist um 30 bis 45 kg CO<sub>2-eq</sub>/t Ausgangsmaterial geringere Werte auf als die Erzeugung von Strom mit vollständiger Nutzung der erzeugten Wärme.<sup>22</sup>

Bei der Erzeugung von Biomethan sind in allen Varianten die Emissionen geringer als die Gutschriften.

- Die Vergärung ohne Separierung des Gärrestes zeigt eine deutlich bessere THG-Bilanz als die Vergärung mit Separierung und anschließender Kompostierung, da einerseits keine Prozessemissionen bei der Kompostierung entstehen und kein Energieaufwand für die Kompostierung des Gärrestes benötigt wird und andererseits mehr Handelsdünger substituiert werden kann.

Dieser Vorteil besteht jedoch nur dann, wenn die Methanemissionen vom Gärrestlager maximal 5 % betragen. Die Emissionen vom Gärrestlager beeinflussen massiv die Ergebnisse. Wird nur Strom erzeugt, dann weist die Vergärung ohne Separierung des Gärrestes nur dann eine negative THG-Bilanz auf, wenn die Emissionen vom Gärrestlager kleiner als 3,5 % sind.

- Die Vergärung mit Separierung des Gärrestes und Nutzung zumindest eines Teils der Abwärme weist eine bessere THG-Bilanz auf als die Kompostierung. Wird jedoch das Biogas nur zur Erzeugung von Strom genutzt, so liegt die THG-Bilanz im Mittel der Abfälle bei 38 kg CO<sub>2-eq</sub> je t Ausgangsmaterial und ist damit leicht schlechter als die THG-Bilanz bei der teilgeschlossenen Kompostierung (36 kg CO<sub>2-eq</sub> je t Ausgangsmaterial). Zu berücksichtigen dabei ist jedoch, dass stark gasbildende Abfälle wie z.B. Speiseabfälle eine wesentlich bessere THG-Bilanz zeigen (13 kg CO<sub>2-eq</sub> je t) als schwächer gasbildende Abfälle wie z.B. Biotonne (55 kg CO<sub>2-eq</sub> je t).

Die THG-Bilanzen der Vergärung mit Separierung des Gärrestes von biogenen Abfällen mit relativ geringem Gasertrag (z.B. Biotonne) sind auch bei vollständiger Nutzung der erzeugten Wärme nur schwach negativ.

#### 8.3.5.1 Sensitivität der Recheneingangsgrößen

Im folgenden Abschnitt wird der Einfluss einzelner Eingangsgrößen der Berechnungen auf das Bilanzergebnis dargestellt (Sensitivitätsanalyse).

- Eine Veränderung der Emissionen vom Gärrestlager um 1 %-Punkt bedeutet eine Zu- oder Abnahme von 12 bis 21 kg CO<sub>2-eq</sub> / t Ausgangsmaterial.

---

<sup>22</sup> Beim Vergleich ist zu berücksichtigen, dass bei der Aufbereitung zu Biomethan Energieumwandlungsverluste bei der späteren Nutzung nicht berücksichtigt sind.



- Die Veränderung des elektrischen Wirkungsgrades des Blockheizkraftwerkes um 1 %-Punkt verändert die Gutschrift für die Stromsubstitution je nach Material um 2 – 3 kg CO<sub>2-eq</sub> / t Ausgangsmaterial.
- Die Veränderung des thermischen Wirkungsgrades des Blockheizkraftwerkes um 1 %-Punkt verändert die Gutschrift für die Stromsubstitution je nach Material um 1 – 3 kg CO<sub>2-eq</sub> / t Ausgangsmaterial.
- Eine Erhöhung der Wärmeabgabe um 10 %-Punkte erhöht die Gutschrift je nach Material um 5 bis 10 kg CO<sub>2-eq</sub> / t Ausgangsmaterial.
- Eine Erhöhung des Energiebedarfs für die Gasaufbereitung um 10 %-Punkte erhöht die Emissionen um 1 – 1,5 kg CO<sub>2-eq</sub> / t Ausgangsmaterial
- Ein um 50 % geringer angesetzter Eigenstromverbrauch bei der Nassvergärung reduziert die THG-Emissionen um 9 kg CO<sub>2-eq</sub>/t Ausgangsmaterial
- Ein um 50 % geringer angesetzter Dieseleinsatz bei der offenen Kompostierung reduziert die Emissionen um 5 kg CO<sub>2-eq</sub> / t Ausgangsmaterial.
- Ein um 50 % geringer angesetzter Stromeinsatz bei der teilgeschlossenen Kompostierung reduziert die Emissionen um 7 kg CO<sub>2-eq</sub> / t Ausgangsmaterial
- Eine Verringerung der THG-Emissionen bei der offenen Kompostierung um 10 % reduziert die Emissionen um 5 kg CO<sub>2-eq</sub>, eine Halbierung um 26 kg CO<sub>2-eq</sub> / t Ausgangsmaterial.
- Eine Verringerung der THG-Emissionen bei der teilgeschlossenen Kompostierung um 10 % reduziert die Emissionen um 3 kg CO<sub>2-eq</sub>, eine Halbierung um 16 kg CO<sub>2-eq</sub> / t Ausgangsmaterial.
- Bei um 10 % höheren CO<sub>2-eq</sub> des Strommixes erhöhen sich die Gutschriften für die Stromeinspeisung um 4 bis 9 kg CO<sub>2-eq</sub> / t Ausgangsmaterial.

## **9 EMPFEHLUNGEN ZUR BEHANDLUNG BIOGENER ABFÄLLE**

### **9.1 Empfehlungen zur Zuordnung von Abfällen zu Behandlungsverfahren**

Die folgenden Empfehlungen basieren ausschließlich auf den dargestellten THG-Bilanzen. Wirtschaftlichkeit, Qualitäten des Gärrestes, Standortvoraussetzungen, Schonung fossiler Energiequellen, etc. werden somit nicht berücksichtigt.

- Um optimale THG-Bilanzen zu erreichen, sollen biogene Abfälle mit wenigen Ausnahmen vergoren werden.
- Ligninreiche (holzige) Materialien, wie Baum- und Strauchschnitt, sind für die Vergärung nicht geeignet. Bei Strauchschnitt und Ästen steht eine energetische Nutzung im Vordergrund. Ausreichend Strukturmaterial muss jedoch erhalten bleiben, um eine qualitativ hochwertige Kompostierung biogener Materialien oder fester Gärreste durchführen zu können.
- Biogene Abfälle mit einem verhältnismäßig geringen Gasertrag (kleiner rund 55 kg Methan/t Ausgangsmaterial z.B. Biotonne) sollen in teilgeschlossenen Kompostierungsanlagen behandelt werden, wenn aus dem Biogas der Vergärungsanlage (i) keine Aufbereitung zu Biomethan stattfindet oder (ii) wenn bei einer Verwertung in einem BHKW die Abwärme nicht genutzt werden kann und der Gärrest separiert werden muss.

### **9.2 Empfehlungen zur Verbesserung der THG-Bilanzen bei der Behandlung biogener Abfälle**

- Eine gasdichte Abdeckung des Gärrestlagers mit energetischer Nutzung des Restgases ist als Stand der Technik vorzuschreiben, da vom Gärrestlager hohe CH<sub>4</sub>-Emissionen auftreten können. Hohe Methanverluste können dazu führen, dass die THG-Bilanz positiv wird. Durch eine gasdichte Abdeckung kann zusätzlich eine Ertragssteigerung erzielt werden.
- Bei der Standortfindung ist auf die Möglichkeit einer weitgehenden Nutzung der erzeugten Wärme Augenmerk zu legen, da die Nutzung der erzeugten Wärme die THG-Bilanz der Biogasanlagen deutlich verbessert. Durch das Setzen gezielter Anreize kann der Anteil der genutzten Wärme erhöht werden.
- Die Aufbereitung von Biogas zu Biomethan zeigt eine bessere THG-Bilanz als Anlagen mit BHKW, auch wenn diese zu 100 % die Abwärme nutzen.
- Bei der Biogasaufbereitung zu Biomethan sollen Verfahren mit geringem Strom/Wärmebedarf und geringem Methanschluß zur Anwendung

kommen, da der Methanschwund bei der Aufbereitung je nach Aufbereitungsverfahren beträchtlich sein. Zusätzlich ist die Aufbereitung mit relativ hohem Energiebedarf an Strom und Wärme verbunden.

- Bei der Verstromung in Gasmotoren soll ein Teillast- oder Schwachlastbetrieb der Gasmotoren vermieden werden, da der Wirkungsgrad der Motoren sinkt und gleichzeitig höhere Methanemissionen auftreten.
- Eine direkte landwirtschaftliche Verwertung des Gärrests ist bei entsprechender Qualität in Hinblick auf die THG-Bilanz vorteilhafter als eine Verwertung von kompostierten festen Gärresten und der Behandlung des flüssigen Gärrests in einer Kläranlage, da die enthaltenen Nährstoffe weitergehend genutzt werden können. Entsprechend große Gärrestbehälter und ausreichend verfügbaren landwirtschaftlichen Flächen (Akzeptanz, Überdüngung) für die Ausbringung des Gärrestes sind vorzusehen.
- Gärreste sollen möglichst auf unbewachsene Böden ausgebracht und rasch (innerhalb einer Stunde) eingearbeitet werden. Auf bewachsenen Böden sollten Gärreste mit Schleppschauch ausgebracht werden. Die Injektion von Gärresten sollte nicht angewendet werden, da diese Ausbringungsmethode die Lachgasemissionen um den Faktor 2 bis 3 erhöht.
- Bei der Kompostierung der festen Gärreste sind die anaeroben Gärückstände rasch in einen aeroben Prozess überzuführen, da die anaeroben methanbildenden Prozesse nicht sofort beendet sind, sondern in Teilbereichen des Materials noch eine gewisse Zeit weiter laufen. Die Aerobisierung kann optimiert werden, indem den strukturarmen und nassen Gärückständen hohe Anteile an frischem Material insbesondere strukturreichen, d.h. ligninreichen Stoffen hinzugefügt werden (mindestens 30 Vol- %).
- Eine teilgeschlossene Kompostierung biogener Abfälle (Abfälle mit geringem Gasertrag) ist gegenüber einer offenen Kompostierung aus Sicht der THG-Bilanz vorteilhaft.
- Bei der Kompostierung biogener Abfälle ist eine gute Sauerstoffversorgung in der Heißrottephase sicherzustellen, um die Methanemissionen möglichst niedrig zu halten (ausreichender Strukturmaterialanteil, entsprechende Umsetzungshäufigkeit bzw. Belüftungsintensität, geeignete Mietengeometrie, Abdecken von Mieten im Falle hoher Niederschlagsmengen, etc.). Laut ÖNORM S2205 soll bei zwangsbelüfteten Systemen ein Sauerstoffregelungswert von mindestens 14 % des Volumens (gemessen in der Abluft) eingehalten werden um sauerstoffunterversorgte Bereiche zu vermeiden.  
In der Nachrottephase ist die Bildung von Lachgas durch eine reduzierte Umsetzhäufigkeit anzustreben, da durch zu häufiges Umsetzen in der Nachrotte verstärkt Lachgas gebildet und freigesetzt wird.
- Ammoniak in der Abluft geschlossener Anlagen ist vor der Behandlung in Biofiltern weitgehend abzuscheiden, da es im Biofilter durch den

Ammoniakabbau teilweise zur Lachgasbildung kommt. Durch ein C:N Verhältnis zwischen 25:1 und 40:1 wird ein N-Überschuss und dadurch verstärkte Ammoniakverluste vermieden.

## 10 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BHKW	Blockheizkraftwerk
DWW	Druckwasserwäsche
EW	Einwohnerwert
FS	Feuchtsubstanz
KEA	Kumulierter Energieaufwand
NAWARO	Nachwachsende Rohstoffe
NV	Nassvergärung ohne Separierung des Gärrests
NVS	Nassvergärung mit Separierung des Gärrests
PSA	Druckwechseladsorption
THG	Treibhausgas
TS	Trockensubstanz
TVS	Trockenvergärung mit Separierung des Gärrests

## 11 LITERATURVERZEICHNIS

AMLINGER, F., PEYR, S., HILDEBRANDT, U., MÜSKEN, J., CUHLS, C., CLEMENS, J. (2005) Stand der Technik der Kompostierung, Richtlinie des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

ARGE Biogas Multitalent Biogas; Folder der ARGE Kompost und Biogas  
[http://www.kompost-biogas.info/index.php?option=com\\_rfiles&Itemid=145](http://www.kompost-biogas.info/index.php?option=com_rfiles&Itemid=145)

ARGE Kompost/Biogas

[http://www.kompost-](http://www.kompost-biogas.info/index.php?option=com_content&task=view&id=193&Itemid=227)

[biogas.info/index.php?option=com\\_content&task=view&id=193&Itemid=227](http://www.kompost-biogas.info/index.php?option=com_content&task=view&id=193&Itemid=227)

BAIER, U. ET AL (2008) Methanverluste bei der Biogasaufbereitung; Studie erstellt von ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, IBT Institut für Biotechnologie und der Fachstelle Umweltbiotechnologie im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BFE)

BECK, J. ADOLPH, J. (2003) Anaerobe Verwertung von Speiseresten zur Energiegewinnung –Erfahrungen in Labor- und Pilotanlagen; Symposium Vergärung biogener Abfälle <http://www.wien.gv.at/umweltschutz/abfall/pdf/beck.pdf>

BEKKER, M. (2007) Charakterisierung der anaeroben Abbaubarkeit von spezifischen organischen Stoffen; Dissertation genehmigt von der Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH)

BGK - Bundesgütegemeinschaft Kompost (2008):

BIDLINGMAIER, W., MÜSKEN, J. (1995) Biotechnische Verfahren zur Behandlung von Bioabfall, in: Bidlingmeyer, W., BioNet Netzwerk Umweltbiotechnologie, Universität Essen, <http://www.bionet.net>, Essen; 1995

BIOGASHANDBUCH BAYERN – MATERIALIENBAND (2007) Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft Stand 2007;

<http://www.lfu.bayern.de/abfall/fachinformationen/biogashandbuch/index.htm>

BIOGAS NETZEINSPEISUNG (2010)

<http://www.biogas-netzeinspeisung.at/technische-planung/aufbereitung/methananreicherung/gaspermeation.html>

BIFA - Bayerisches Institut für Abfallforschung (1998) Gemeinsame Behandlung von biogenen Abfällen aus Haushalten und Gewerbe am Beispiel der Co-Vergärungsanlage der Fa. Högl in Dietrichsdorf, Lkr. Kelheim“

BMLFUW (2006) Bundesabfallwirtschaftsplan 2006

BMLFUW (2009) Bundesabfallwirtschaftsplan, Statusbericht 2009

BMWA - Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (2007) Technische Grundlage für die Beurteilung von Biogasanlagen

BRAUN, R. (2003) Prinzipien und Systeme von Vergärungsanlagen für biogene Kommunalabfälle, Symposium Vergärung biogener Abfälle  
<http://www.wien.gv.at/umweltschutz/abfall/pdf/braun.pdf>

BRAUN, R. (2006) Stand der Technik von Biogasanlagen

BRAUN, R., LAABER, M., MADLENER, R., BRACHTL, E., KIRCHMAYR, R. (2007) Aufbau eines Bewertungssystems für Biogasanlagen – „Gütesiegel Biogas“. Energiesysteme der Zukunft – Projektnummer 807742 (Endbericht), Mai 2007.

CLEMENS D. (2008) Separation in Trockenfermentationsanlagen; [http://www.treurat-partner.de/fileadmin/user\\_upload/PDF/Separation\\_in\\_Trockenfermentationsanlagen.pdf](http://www.treurat-partner.de/fileadmin/user_upload/PDF/Separation_in_Trockenfermentationsanlagen.pdf)

CUHLS, C., MÄHL, B., BERKAU, S., Clemens, J. (2008) Ermittlung der Emissions-situation bei der Verwertung von Bioabfällen; Förderkennzeichen: 206 33 326; im Auftrag des Umweltbundesamtes

DACHS G., REHM, W. (2006) Der Eigenstromverbrauch von Biogasanlagen und Potenziale zu dessen Reduzierung; Hrsg. Solarenergieförderverein Bayern e. V.; Studien 01

EDELMANN, W. (?) Wie werden biogene Abfälle optimal verwertet? <http://www.arbi.ch/Verwertung%20Biomasse.pdf>

EDELMANN, W., SCHLEISS K. (2001) Ökologischer, energetischer und ökonomischer Vergleich von Vergärung, Kompostierung und Verbrennung fester biogener Abfallstoffe; Im Auftrag von BFE, Bundesamt für Energie und BUWAL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft

EPEA (2004) Boden-, Ressourcen- und Klimaschutz durch Kompostierung in Deutschland; [http://www.kompost.ch/beratung/xfachartikel/EPEA\\_2004.pdf](http://www.kompost.ch/beratung/xfachartikel/EPEA_2004.pdf)

EPEA (2008) Ökologisches Leistungsprofil von Verfahren zur Behandlung von biogenen Reststoffen. Kompass für die Entscheidungsfindung vor dem Hintergrund der geplanten Überarbeitung des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes. EPEA Internationale Umweltforschung GmbH. Hamburg, April 2008

FAL - Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (2005) Ergebnisse des Biogas-Messprogramms. Erstellt durch die Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), herausgegeben von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). Gülzow

FAL - Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (2007) Biogaserzeugung durch Trockenvergärung von organischen Rückständen, Nebenprodukten und Abfällen aus der Landwirtschaft; Abschnitt 1: Grundlagen der Trockenfermentation und Darstellung des Standes der Technik

FGW - Fachverband Gas Wärme (2010) <http://www.gaswaerme.at/bbg/themen/?uid=2671>

FGW - Fachverband Gas Wärme (2010a) <http://www.gaswaerme.at/bbg/themen/?uid=2669>

FISCHER T., KRIEG, A. (?) Zur Trockenfermentation in der Landwirtschaft <http://www.kriegfischer.de/texte/Zur%20Trockenfermentation.pdf>

FNR –Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V. (2010) Trocken-Vergärung <http://www.fnr-server.de/cms35/index.php?id=315>

FNR Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V. (2009) Biogas Messprogramm II, 61 Biogasanlagen im Vergleich

FNR – Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V. (2004) Handreichung Biogask Gewinnung und -nutzung

FRICKE, K., KUGELSTADT, O., SCHWARZ, F. (2009) Eignung von Siebresten aus Bioabfallkompostanlagen zur energetischen Verwertung Müll und Abfall Ausgabe 12/2009

GESSLER, G., KELLER, K. (1995) Vergleich verschiedener Verfahren zur Vergärung von Bioabfall; *Abfallwirtschaftsjournal*, (7) 377-383 (1995)

GRASKRAFT (2010) Graskraft Reitbach; <http://www.graskraft-reitbach.at/>

HEIN, T., SCHNEBLE, H. (2008) Ist die Kompostierung von Bioabfällen noch zeitgemäß? -Mit Biogas mehr Energieeffizienz; Institut für Weiterbildung im Beruf der FH Wiesbaden 12.09.2008 Mehrwert mit Abfall – Neue Chancen für Kommunen und Betriebe

HOPPENHEIDT, K., HIRSCH, P., KOTTMAIR, A., NORDSIECK, H., MÜCKE, W., KÜBLER, H., NIMMRICHTER H. (2000) Co-Vergärung von Bioabfällen und organischen Gewerbeabfällen – Ergebnisse eines großtechnischen Pilotvorhabens; VDI-Seminar „Biogenen Abfälle/Holz/Klärschlamm – Verwertung/Behandlung/Beseitigung“ 13.4 – 15.4 2000, Bamberg <http://www.bifa.de/download/coverg2.pdf>

HUPE, K., HEYER, K.U., STEGMANN, R. (1996) Biologische Bioabfallverwertung Kompostierung kontra Vergärung; <http://www.ifas-hamburg.com/pdf/bioabfal.pdf>

IE Institut für Energetik und Umwelt GmbH (2007) Biogaserzeugung durch Trockenvergärung von organischen Rückständen, Nebenprodukten und Abfällen aus der Landwirtschaft - Abschnitt 2: Erhebung der mit Trockenfermentationsverfahren erschließbaren energetischen Potenziale in Deutschland Vergleichende ökonomische und ökologische Analyse landwirtschaftlicher Trockenfermentationsanlagen

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). Climate Change – The Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge.

JUNGBLUTH, N.; CHUDACOFF, M.; DAURIAT, A.; DINKEL, F.; DOKA, G.; FAIST EMMENEGGER, M.; GNANSOUNOU, E.; KLJUN, N.; SCHLEISS, K.; SPIELMANN, M.; STETTLER, C.; SUTTER, J. (2007): Life Cycle Inventories of Bioenergy;ecoinvent report No. 17; Swiss Centre for Life Cycle Inventories; Dübendorf

KELM, M., TAUBE, F. (2007) Energiebilanz der Biogaserzeugung aus Gras- und Maissilage; [http://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/27570/aggf\\_2007\\_kelm\\_taub.pdf](http://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/27570/aggf_2007_kelm_taub.pdf)

KERN, M., RAUSSEN, T. (2005) Energetische Nutzung von Bio- und Grünabfällen; 9. Münsteraner Abfallwirtschaftstage

KERN M., RAUSSEN T. (2009) Potenzieller Beitrag der Bioabfallverwertung zur Energieversorgung; [http://www.abfallforum.de/downloads/ks\\_22\\_kern\\_raussen.pdf](http://www.abfallforum.de/downloads/ks_22_kern_raussen.pdf)

KERN M., RAUSSEN, T., LOOTSMA, A., FUNDEN, K. (2008) Vergleichende Verwertung der stofflichen und energetischen Verwertung von Bio- und Grünabfall; 2. Biomasseforum 2008; [http://www.abfallforum.de/downloads/biomasse\\_2008\\_kern.pdf](http://www.abfallforum.de/downloads/biomasse_2008_kern.pdf)

KERN M., TURK, T. (2007) Wirtschaftliche Bewertung von Kompostierungsanlagen hinsichtlich der Integration einer Anaerob-Stufe als Vorschaltanlage; teilbe-



richt des Projektes „Optimierungen für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und –nutzung in Deutschland“ FKZ 0327544

KOHR T J. (?) Strom und Wärme aus Biogas Energetische Optimierung von Biogasanlagen <http://www.biogas-infoboard.de/pdf/Kohrt.pdf>

KOLISCH, G., OSTHOFF, T., HOBUS, I., HANSEN, J. (2010) Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen; KA Korrespondenz Abwasser, Abfall 2010 (57) Nr. 10

KROGMANN, U. (1994) Kompostierung; Grundlagen zur Einsammlung und Behandlung von Bioabfällen unterschiedlicher Zusammensetzung. Hamburger Berichte 7 (Hrsg.: Stegmann), Economica Verlag, Bonn.

KTBL Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (2007) Faustzahlen Biogas. Darmstadt

LANDWIRTSCHAFTLICHES TECHNOLOGIEZENTRUM AUGUSTENBERG (2008) Nachhaltige Kompostanwendung in der Landwirtschaft. Grundlagen der guten fachlichen Praxis.

LECHNER, P. LINZNER, R., MOSTBAUER, P., BINNER, E., SMIDT, E. (2005) Klimarelevanz der Kompostierung unter Berücksichtigung der Verfahrenstechnik und Kompostanwendung (KliKo). Endbericht

LEHNER, A., EFFENBERG, M. (2009) Möglichkeiten zur Senkung des Energiebedarfs von Biogasanlagen; in Gülzower Fachgespräche, Band 32: Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven; Tagungsband zum KTBL/FNR-Biogas-Kongress vom 15. bis 16. September 2009 in Weimar

LEHNER, A., EFFENBERGER, M., KISSEL, R., GRONAUER, A. (2009) Verfahrenstechnische Kennzahlen der bayerischen Biogas-Pilotbetriebe; in : Neue Perspektiven für Biogas ?! Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft

LfU Bayern (2006) Emissions- und Leistungsverhalten von Biogas-Verbrennungsmotoren in Abhängigkeit von der Motorwartung. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben (LfU Projekt Nr. 1325). Bayerisches Landesamt für Umwelt.

LINDTNER S. (2010) Energieautarke Kläranlage – Wunschtraum oder Wirklichkeit? KA-Betriebs-Info 2010 (40) Nr. 2

LOLL, U. (2001) Behandlung von Prozesswässern aus der aeroben und anaeroben Behandlung von organischen Abfällen; Müllhandbuch A5350

MARGULL, J., STEGMANN, R. (1996): Stand der Technik bei der Vergärung von Bioabfällen. In: Abfallwirtschaft - quo vadis 1996? Fachtagung 11.-12. Juni 1996 (Hrsg.: Haase Energietechnik GmbH, Neumünster), Lübeck zitiert in Hupe et al 1997)

MAILE (2008) persönliche Mitteilung zitiert in SPRINGER 2009

OECHSNER, H. (2006) Landesanstalt für Landwirtschaftliches Maschinen und Bauwesen, Universität Hohenheim zitiert in: Biogashandbuch Bayern

OÖ FERNGAS (2010)

[http://www.oeferngas.at/oefg/news\\_tipps/aktuell/archive/00879/index.aspx](http://www.oeferngas.at/oefg/news_tipps/aktuell/archive/00879/index.aspx)

ÖKOSTROMBERICHT (2010) Bericht der Energie-Control GmbH gemäß § 25 Abs 1 Ökostromgesetz, September 2010

ÖWAV 2008: Öffentlicher Bericht ARA 2007;  
<http://www.abwasserbenchmarking.at/home/berichte/index.php?PHPSESSID=2f680eb34cf38a0fb45bb>

PEHNT, M., VOGT R. (2007) Biomasse und Effizienz Vorschläge zur Erhöhung der Energieeffizienz von §8 und §7-Anlagen im Erneuerbare-Energien-Gesetz; Arbeitspapier Nr. 1 im Rahmen des Projektes "Energiebalance – Optimale Systemlösungen für Erneuerbare Energien und Energieeffizienz" in Zusammenarbeit mit dem Projekt „Optimierung für einen nachhaltigen Ausbau der Biogasproduktion und -nutzung in Deutschland“; IFEU Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg

PFUNDTNER, E. (2007): Der Sachgerechte Einsatz von Biogasgülle und Gärückständen im Acker und Grünland. 2. Auflage. Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz beim Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umweltschutz und Wasserwirtschaft, Wien 2007

PUCHAS, K., SCHRAMMEL, H., KIRCHMEYER, F., KIRCHMAYER R. (2008): Optimierungsleitfaden Biogas; Erfahrungsbericht, Maßnahmenempfehlungen und Optimierungspotentiale für Biogasanlagen in Österreich; Projekt im Rahmen der Programmlinie „Energiesysteme der Zukunft“

RECYCLINGPORTAL (2010) <http://www.recyclingportal.eu/artikel/23780.shtml>, Forschungs- und Entwicklungsvorhaben „Energieeffiziente Bioabfallverwertung“). Artikel vom: 05.03.2010 10:06.

REINHOFER, M. LETTMAYER, G. TAFERNER K. (2005) Torfersatzprodukte Torfersatz durch biogene Rest- und Abfallstoffe, Vorprojekt Endbericht– Modul B Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH, Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme – JOINTS Forschungsbereich Ökosystemtechnik

ROGALSKI, W., (2007) Anaerobe Behandlung biogener Abfälle in Wien, in: Lechner, Peter (Hrsg.): Waste matters. Integrating views, 2nd BOKU Waste Conference, facultas.wuv, 19.04.2007, Wien

SCHLEISS, K., EDELMANN, W. (2000) Stromproduktion aus Feststoff-Vergärung Ökobilanz; im Auftrag des Bundesamtes für Energie und des Biogas Forum

SCHMIDT, M., KEHRES, B. (2009) Positive Energiebilanz durch differenzierte Verwertung. *H&K aktuell 09/2009*, S. 5-6, Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.

SMITH ET AL (2001): Waste Management Options and Climate Change. Final Report to the European Commission. DG Environment.

SCHOLZ, V. 2000 Stand und Möglichkeiten der Biogasgewinnung im Land Brandenburg; in: Leitfaden Biogas 2000

SCHULTE-SCHULZE, A. (2006): Aufbereitung und Einspeisung von Biogas; ASUE-Fachtagung am 16. Mai 2006; Augsburg [http://www.asue.de/images/veroeff\\_pdf/dr\\_schulte-schulze\\_berndt\\_mai\\_2006.pdf](http://www.asue.de/images/veroeff_pdf/dr_schulte-schulze_berndt_mai_2006.pdf) am 22.01.2009

SPRINGER (2009) Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen verschiedener Kompostierungssysteme. Müll und Abfall Ausgabe 11/2009

STATISTIK AUSTRIA (2010) Nutzenergieanalyse Energetischer Endverbrauch 2005 bis 2009 nach Energieträgern und Nutzenergiekategorien für Österreich;

UEC (2010) Bewertung der vorhandenen Bioabfallbehandlungsstandort in Schleswig Holstein in Hinblick auf eine Ergänzung um Vergärungsstufen; [http://www.bioenergie-portal.info/uploads/media/10-02-28\\_Studie\\_Biogabfallverg\\_%C3%A4rung\\_S-H.pdf](http://www.bioenergie-portal.info/uploads/media/10-02-28_Studie_Biogabfallverg_%C3%A4rung_S-H.pdf)

UR Universität Rostock (2007) Experimentelle Untersuchungen zum Biogaspotenzial ausgewählter landwirtschaftlicher Substrate unter speziellen Bedingungen der Trockenfermentation

VOGT ET AL. (2008) Optimierungen für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland; Verbundprojekt gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Projektträger: Forschungszentrum Jülich F&E-Vorhaben, FKZ: 0327544

VOGT, R. (2009) Bewertung von energetischer und stofflicher Nutzung von Biomasse sowie Kombinationen; Vergleich verschiedener Verfahren und Ökobilanzierung in: Biomasse aus Abfällen - Gibt es ein optimales Stoffstrommanagement? Tagungsband LANUV-Fachbericht 18

WEILAND, P. (2001) Grundlagen der Methangärung – Biologie und Substrate; VDI-Berichte, Nr. 1620 „Biogas als regenerative Energie – Stand und Perspektiven“; VDI-Verlag

WEILAND, P. (2006) Stand der Technik von Biogasanlagen und aktueller Forschungsbedarf; in ISH Netzwerk: Internationaler Workshop Biogas: Bioenergie aus Biogasanlagen: Status und Perspektiven. 23.3.2006, Husum, ISH Netzwerk

WULF, S. (2003) Untersuchung der Emission direkt und indirekt klimawirksamer Spurengase (NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub>) während der Lagerung und nach der Ausbringung von Kofermentationsrückständen sowie Entwicklung von Verminderungsstrategien (DBU-AZ 08912), Abschlussbericht [http://www.ipe.uni-bonn.de/publikationen/bonner-agrikulturchemische-reihe/bar\\_16.pdf](http://www.ipe.uni-bonn.de/publikationen/bonner-agrikulturchemische-reihe/bar_16.pdf)

## Regelwerke

Indirekteinleiterverordnung (BGBl. II Nr. 222/1998 i.d.g.F) Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft betreffend Abwassereinleitungen in wasserrechtlich bewilligte Kanalisationen

ÖNORM S2205: Technische Anforderungen an Kompostierungsanlagen zur Verarbeitung biogener Abfälle

ÖWAV-Regelblatt 518: Anforderungen an den Betrieb von Kompostierungsanlagen; Wien 2009

ÖWAV-Regelblatt 515: Anaerobe Abfallbehandlung; Wien 2005

## 12 ANHANG

Tabelle 24: Emissionen, Gutschriften und Salden bei der Nassvergärung mit Separierung des Gärrestes und Strom/Wärmenutzung in kg CO<sub>2</sub>-eq/t Ausgangsmaterial

	Bio- tonne	Speise- reste	Markt- abfälle	Grün- schnitt	MW
<b>Anlieferung/Aufbereitung</b>	6	6	6	6	6
<b>Abpressen</b>	17	17	17	17	17
<b>Methanschluß</b>	12	21	13	16	16
<b>Kompostierung</b>	66	64	66	64	65
<b>Ausbringung</b>	3	3	3	3	3
<b>Gesamtemission</b>	<b>103</b>	<b>111</b>	<b>105</b>	<b>106</b>	<b>106</b>
<b>Düngemittelerzeugung</b>	-6	-6	-6	-6	-6
<b>N<sub>2</sub>O- Handelsdüngeraufbrin- gung</b>	-2	-2	-2	-2	-2
<b>C-Bindung Boden</b>	-11	-11	-11	-11	-11
<b>Strom</b>	-29	-79	-34	-53	-49
<b>50 % Wärmenutzung</b>	-21	-41	-24	-33	-30
<b>100 % Wärmenutzung</b>	-58	-111	-65	-88	-80
<b>Gesamtgutschrift nur Strom</b>	<b>-48</b>	<b>-97</b>	<b>-53</b>	<b>-72</b>	<b>-68</b>
<b>Gesamtgutschrift Strom + 50 % Wärme</b>	<b>-70</b>	<b>-138</b>	<b>-77</b>	<b>-105</b>	<b>-97</b>
<b>Gesamtgutschrift Strom + 100 % Wärme</b>	<b>-106</b>	<b>-208</b>	<b>-118</b>	<b>-160</b>	<b>-148</b>
<b>Saldo nur Strom</b>	<b>55</b>	<b>13</b>	<b>52</b>	<b>34</b>	<b>38</b>
<b>Saldo Strom + 50 % Wär- me</b>	<b>33</b>	<b>-28</b>	<b>28</b>	<b>1</b>	<b>9</b>
<b>Saldo Strom + 100 % Wärme</b>	<b>-3</b>	<b>-97</b>	<b>-13</b>	<b>-54</b>	<b>-42</b>

Tabelle 25: Emissionen, Gutschriften und Salden bei der Nassvergärung mit Separierung des Gärrestes und Biomethanerzeugung in kg CO<sub>2</sub>-eq/t Ausgangsmaterial

	Bio- tonne	Speise- reste	Markt- abfälle	Grün- schnitt	MW
Anlieferung Aufbereitung	6	6	6	6	6
Abpressen	17	17	17	17	17
CH <sub>4</sub> -Verlust Gasaufberei-	20	37	22	29	27

tung

Prozessenergie Strom	11	11	11	11	11
Strom für Gasaufbereitung	11	17	11	15	14
Kompostierung	66	64	66	64	65
Ausbringung	3	3	3	3	3
<b>Gesamtemission</b>	<b>133</b>	<b>154</b>	<b>136</b>	<b>144</b>	<b>142</b>
Düngemittelerzeugung	-6	-6	-6	-6	-6
N <sub>2</sub> O- Handelsdüngeraufbringung	-2	-2	-2	-2	-2
C-Bindung Boden	-11	-11	-11	-11	-11
Erdgassubstitution	-144	-266	-158	-206	-193
<b>Gesamtgutschrift</b>	<b>-163</b>	<b>-285</b>	<b>-177</b>	<b>-225</b>	<b>-212</b>
<b>Saldo</b>	<b>-30</b>	<b>-131</b>	<b>-41</b>	<b>-81</b>	<b>-71</b>

Tabelle 26: Emissionen, Gutschriften und Salden bei der Trockenvergärung mit Separierung des Gärrestes und Strom/Wärmenutzung in kg CO<sub>2-eq</sub>/t Ausgangsmaterial

	Bio- tonne	Speise- reste	Markt- abfälle	Grün- schnitt	MW
Anlieferung/Aufbereitung	6	6	6	6	6
Abpressen	17	17	17	17	17
Methanschlupf	12	21	13	16	16
Kompostierung	66	64	66	64	65
Ausbringung	3	3	3	3	3
<b>Gesamtemission</b>	<b>103</b>	<b>111</b>	<b>105</b>	<b>106</b>	<b>106</b>
Düngemittelerzeugung	-6	-6	-6	-6	-6
N <sub>2</sub> O- Handelsdüngeraufbringung	-2	-2	-2	-2	-2
C-Bindung Boden	-11	-11	-11	-11	-11
Strom	-29	-79	-34	-53	-49
50 % Wärmenutzung	-24	-43	-26	-35	-32
100 % Wärmenutzung	-63	-116	-70	-94	-86
<b>Gesamtgutschrift nur Strom</b>	<b>-48</b>	<b>-97</b>	<b>-53</b>	<b>-72</b>	<b>-68</b>
<b>Gesamtgutschrift Strom + 50 % Wärme</b>	<b>-72</b>	<b>-141</b>	<b>-79</b>	<b>-107</b>	<b>-100</b>
<b>Gesamtgutschrift Strom + 100 % Wärme</b>	<b>-112</b>	<b>-214</b>	<b>-123</b>	<b>-166</b>	<b>-154</b>

<b>Saldo nur Strom</b>	<b>55</b>	<b>13</b>	<b>52</b>	<b>34</b>	<b>38</b>
<b>Saldo Strom + 50 % Wärme</b>	<b>31</b>	<b>-30</b>	<b>26</b>	<b>-1</b>	<b>7</b>
<b>Saldo Strom + 100 % Wärme</b>	<b>-9</b>	<b>-103</b>	<b>-19</b>	<b>-60</b>	<b>-48</b>

Tabelle 27: Emissionen, Gutschriften und Salden bei der Trockenvergärung mit Separierung des Gärrestes und Biomethanerzeugung in kg CO<sub>2-eq</sub>/t Ausgangsmaterial

	<b>Bio- tonne</b>	<b>Speise- reste</b>	<b>Markt- abfälle</b>	<b>Grün- schnitt</b>	<b>MW</b>
<b>Anlieferung Aufbereitung</b>	6	6	6	6	6
<b>Abpressen</b>	17	17	17	17	17
<b>CH<sub>4</sub>-Verlust Gasaufbereitung</b>	21	38	23	30	28
<b>Prozessenergie Strom</b>	11	11	11	11	11
<b>Strom für Gasaufbereitung</b>	11	17	11	15	14
<b>Kompostierung</b>	66	64	66	64	65
<b>Ausbringung</b>	3	3	3	3	3
<b>Gesamtemission</b>	<b>134</b>	<b>155</b>	<b>136</b>	<b>145</b>	<b>143</b>
<b>Düngemittelerzeugung</b>	-6	-6	-6	-6	-6
<b>N<sub>2</sub>O- Handelsdüngeraufbringung</b>	-2	-2	-2	-2	-2
<b>C-Bindung Boden</b>	-11	-11	-11	-11	-11
<b>Erdgassubstitution</b>	-150	-272	-164	-211	-199
<b>Gesamtgutschrift</b>	<b>-169</b>	<b>-291</b>	<b>-183</b>	<b>-230</b>	<b>-218</b>
<b>Saldo</b>	<b>-34</b>	<b>-135</b>	<b>-46</b>	<b>-86</b>	<b>-75</b>

Tabelle 28: Emissionen, Gutschriften und Salden bei der Nassvergärung ohne Separierung des Gärrestes und Strom/Wärmenutzung in kg CO<sub>2-eq</sub>/t Ausgangsmaterial

	<b>Bio- tonne</b>	<b>Speise- reste</b>	<b>Markt- abfälle</b>	<b>Grün- schnitt</b>	<b>MW</b>
<b>Anlieferung/Aufbereitung</b>	6	6	6	6	6
<b>Methanschlupf</b>	12	21	13	16	16
<b>Ausbringung</b>	26	26	26	26	26
<b>Emiss Gärrestlager, 2 %</b>	24	43	26	32	31
<b>Emiss Gärrestlager, 5 %</b>	59	107	64	81	78
<b>Emiss Gärrestlager, 10 %</b>	119	214	129	162	156

<b>Gesamtemission 2 %</b>	<b>67</b>	<b>96</b>	<b>70</b>	<b>80</b>	<b>78</b>
<b>Gesamtemission 5 %</b>	<b>103</b>	<b>160</b>	<b>109</b>	<b>129</b>	<b>125</b>
<b>Gesamtemission 10 %</b>	<b>162</b>	<b>267</b>	<b>173</b>	<b>210</b>	<b>203</b>
<b>Düngemittelerzeugung</b>	-21	-21	-21	-21	-21
<b>N2O- Handelsdüngeraufbringung</b>	-10	-10	-10	-10	-10
<b>C-Bindung Boden</b>	-6	-6	-6	-6	-6
<b>Strom</b>	-40	-87	-45	-61	-58
<b>50 % Wärmenutzung</b>	-21	-41	-24	-33	-30
<b>100 % Wärmenutzung</b>	-58	-111	-65	-88	-80
<b>Gesamtgutschrift nur Strom</b>	<b>-77</b>	<b>-123</b>	<b>-82</b>	<b>-98</b>	<b>-95</b>
<b>Gesamtgutschrift Strom + 50 % Wärme</b>	<b>-98</b>	<b>-164</b>	<b>-106</b>	<b>-130</b>	<b>-125</b>
<b>Gesamtgutschrift Strom + 100 % Wärme</b>	<b>-135</b>	<b>-234</b>	<b>-146</b>	<b>-186</b>	<b>-175</b>
<b>Saldo 2 % Em. nur Strom</b>	<b>-10</b>	<b>-27</b>	<b>-11</b>	<b>-18</b>	<b>-16</b>
<b>Saldo 2 % Em. Strom, 50 % Wärme</b>	<b>-31</b>	<b>-68</b>	<b>-35</b>	<b>-50</b>	<b>-46</b>
<b>Saldo 2 % Em. Strom, 100 % Wärme</b>	<b>-67</b>	<b>-138</b>	<b>-76</b>	<b>-106</b>	<b>-97</b>
<b>Saldo 5 % Em. nur Strom</b>	<b>26</b>	<b>37</b>	<b>27</b>	<b>31</b>	<b>30</b>
<b>Saldo 5 % Em. Strom, 50 % Wärme</b>	<b>5</b>	<b>-4</b>	<b>3</b>	<b>-2</b>	<b>1</b>
<b>Saldo 5 % Em. Strom, 100 % Wärme</b>	<b>-32</b>	<b>-74</b>	<b>-38</b>	<b>-57</b>	<b>-50</b>
<b>Saldo 10 % Em. nur Strom</b>	<b>85</b>	<b>144</b>	<b>92</b>	<b>112</b>	<b>108</b>
<b>Saldo 10 % Em. Strom, 50 % Wärme</b>	<b>64</b>	<b>103</b>	<b>68</b>	<b>79</b>	<b>79</b>
<b>Saldo 10 % Em. Strom, 100 % Wärme</b>	<b>28</b>	<b>33</b>	<b>27</b>	<b>24</b>	<b>28</b>

Tabelle 29: Emissionen, Gutschriften und Salden bei der Nassvergärung ohne Separierung des Gärrestes und Biomethanerzeugung in kg CO<sub>2-eq</sub>/t Ausgangsmaterial

	<b>Bio- tonne</b>	<b>Speise- reste</b>	<b>Markt- abfälle</b>	<b>Grün- schnitt</b>	<b>MW</b>
<b>Anlieferung/Aufbereitung</b>	6	6	6	6	6
<b>CH4-Verlust Gasaufbereitung</b>	20	37	22	29	27
<b>Prozessenergie Strom</b>	11	11	11	11	11
<b>Strom für Gasaufbereitung</b>	11	17	11	15	14
<b>Emission Gärrestlager, 2 %</b>	24	43	26	32	31

<b>Emission Gärrestlager, 5 %</b>	59	107	64	81	78
<b>Emission Gärrestlager, 10 %</b>	119	214	129	162	156
<b>Gesamtemission 2 %</b>	<b>72</b>	<b>114</b>	<b>76</b>	<b>93</b>	<b>89</b>
<b>Gesamtemission 5 %</b>	<b>107</b>	<b>178</b>	<b>114</b>	<b>142</b>	<b>135</b>
<b>Gesamtemission 10 %</b>	<b>167</b>	<b>285</b>	<b>179</b>	<b>223</b>	<b>213</b>
<b>Düngemittelerzeugung</b>	-21	-21	-21	-21	-21
<b>N2O- Handelsdüngeraufbringung</b>	-10	-10	-10	-10	-10
<b>C-Bindung Boden</b>	-6	-6	-6	-6	-6
<b>Erdgassubstitution</b>	-144	-266	-158	-206	-193
<b>Gesamtgutschrift</b>	<b>-181</b>	<b>-302</b>	<b>-195</b>	<b>-242</b>	<b>-230</b>
<b>Saldo Emission 2 %</b>	<b>-109</b>	<b>-188</b>	<b>-119</b>	<b>-149</b>	<b>-141</b>
<b>Saldo Emission 5 %</b>	<b>-73</b>	<b>-124</b>	<b>-80</b>	<b>-101</b>	<b>-95</b>
<b>Saldo Emission 10 %</b>	<b>-14</b>	<b>-17</b>	<b>-16</b>	<b>-20</b>	<b>-17</b>



