

## Bakkalaureatsarbeit I+II

# Biogasanlagen in der Steiermark

Eine Bestandsaufnahme mit Juli 2005

erstellt am

**Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und  
Entsorgungstechnik, Montanuniversität Leoben**

**In Kooperation mit dem  
Amt der Steiermärkischen Landesregierung  
Fachabteilung 19D, Abfall- und Stoffflusswirtschaft**

**Vorgelegt von:**

Thomas Reichard  
9835021

**Betreuer:**

Dipl.-Ing.Dr. Angelika Stüger-Hopfgartner  
Mag.Dr. Wolfgang Staber, MBA (GM)

Leoben, 10.09.2006

## **EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Bakkalaureatsarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

## **DANKSAGUNG**

Ich möchte mich an erster Stelle bei meiner Familie bedanken, die mir nicht nur mein Studium ermöglicht hat, sondern mir in allen Lebenslagen Unterstützung zukommen ließ. Weiters gebührt mein Dank dem Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 19D, Abfall- und Stoffflusswirtschaft für die zur Verfügungstellung der Daten aus den Fragebögen und allen Mitarbeitern des Instituts für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik an der Montanuniversität Leoben für Ihren Einsatz bei der Erstellung dieser Arbeit. Ganz besonders möchte ich meinen Betreuern, Frau Dipl.-Ing.Dr. Angelika Stüger-Hopfgartner bei der Steiermärkischen Landesregierung und Herrn Mag.Dr. Wolfgang Staber, MBA (GM) am Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik meinen aufrichtigen Dank aussprechen.

# **Kurzfassung**

## **Biogasanlagen in der Steiermark**

**Eine Bestandsaufnahme per Juli 2005**

Ziel dieser Arbeit ist es einen Überblick über die technischen Grundlagen der Biogasproduktion zu vermitteln sowie eine Bestandsaufnahme der steiermärkischen Biogasanlagen mit den Schwerpunkten Bewilligungsverfahren, Prozessführung und stoffflusswirtschaftliche Betrachtung durchzuführen. Zur Erfassung der Daten wurde ein eigener Fragebogen entworfen. Die Auswertung der erhobenen Informationen erfolgte sowohl im Detail, als auch in vergleichenden Überblicksdarstellungen. Als Quintessenz dieser Studie kristallisierte sich eine speziell in den letzten Jahren stark ansteigende Bedeutung der Biogasanlagen sowohl in der Abfallverwertung, als auch in der Produktion erneuerbarer Energieträger, heraus.

## **Abstract**

### **Biogas plants in Styria**

**Status quo by July 2005**

This study aims at presenting a general overview of the technical basics of the production of biogas and the status quo of biogas plants in the Austrian province of Styria, laying particular emphasis on administrative licencing procedure, on processing and material flows. The relevant data was collected by means of a specifically-designed questionnaire. The results are discussed in detail, resulting in a survey. Biogas plants have gained significant importance within waste management in the last few years. This is true both for recovery of residues as well as production of renewable energies.

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Seite</b>
<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>4</b>
1.1 Problemstellung .....	4
1.2 Zielsetzung .....	4
<b>2 BEGRIFFE UND DEFINITIONEN .....</b>	<b>5</b>
<b>3 GRUNDLAGEN .....</b>	<b>9</b>
3.1 Chemisch-Physikalische Eigenschaften von Biogas.....	9
3.2 Der Biogasprozess.....	11
3.2.1 Biogas als Produkt am Ende der anaeroben Nahrungskette .....	11
3.2.2 Abbau organischer Substanz in der anaeroben Nahrungskette.....	11
3.2.2.1 Reaktionsphasen des anaeroben Abbaus.....	11
3.2.2.2 Energetische Betrachtung des Substratabbaus nach der Hydrolyse .....	12
3.3 Großtechnische Herstellung von Biogas .....	14
3.3.1 Abfallaufbereitung.....	14
3.3.2 Hygienisierung von Inputmaterial .....	15
3.3.3 Verfahrensmerkmale .....	16
3.3.4 Einflussfaktoren auf den Prozess .....	20
3.3.4.1 Behinderungen im Biogasprozess.....	21
3.3.4.2 Steuerung und Verbesserung des Biogasprozesses .....	22
3.3.5 Gasertrag.....	24
3.4 Vorzüge der Abfallvergärung .....	25
3.5 Technische Nutzung von Biogas.....	27
3.5.1 Aufbereitung des Biogases.....	27
3.5.2 Nutzungsmöglichkeiten .....	29
<b>4 DATENERHEBUNG DER BIOGASANLAGEN .....</b>	<b>31</b>
4.1 Vorgangsweise und Bezugsquellen .....	31
4.2 Berechnungsweise.....	33

<b>5</b>	<b>AUSWERTUNG DER FRAGEBÖGEN .....</b>	<b>34</b>
5.1	Bescheid .....	34
5.1.1	Datum des Genehmigungsbescheids.....	34
5.1.2	Bewilligungsverfahren .....	36
5.2	Prozess.....	37
5.3	Betrieb .....	40
5.4	Durchmischung .....	41
5.5	Stoffflusswirtschaftliche Betrachtung .....	43
5.5.1	Inputmaterial.....	43
5.5.2	Output.....	49
5.5.2.1	Stofflich.....	50
5.5.2.2	Elektrisch.....	55
5.5.2.3	Thermisch.....	58
<b>6</b>	<b>ERGEBNISSE / DISKUSSION .....</b>	<b>62</b>
6.1	Bewilligungsverfahren.....	62
6.2	Prozessführung.....	62
6.3	Stoffflusswirtschaftliche Betrachtung .....	63
6.3.1	Inputmaterial.....	63
6.3.2	Output.....	63
6.3.2.1	Stofflich.....	63
6.3.2.2	Elektrisch.....	64
6.3.2.3	Thermisch.....	65
<b>7</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>66</b>
<b>8</b>	<b>VERZEICHNISSE .....</b>	<b>69</b>
8.1	Literatur.....	69
8.2	Abkürzungen.....	70
8.3	Tabellen .....	72
8.4	Abbildungen .....	73

ANHANG .....	- 1 -
A. Materialdichten.....	- 1 -
B. Kalkulationstabellen .....	- 2 -
C. Fragebogen leer.....	- 23 -



# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung

Die anoxische<sup>1)</sup> - d.h. unter vollständigem Sauerstoffausschluss stattfindende - Abfallbehandlung hat in den letzten Jahren als Entsorgungsschiene für vergärbare organische Reststoffe aus Landwirtschaft (Wirtschaftsdünger, Fehlernten, Stroh u.a.), Industrie (Nahrungsmittelproduktion), Gewerbe (Speisereste) und Haushalten stark an Bedeutung gewonnen. Sie weist gegenüber den offenen aeroben Verfahren (Abfallbehandlung unter Sauerstoffatmosphäre) zwei gewichtige Vorteile auf. Zum einen wird die Geruchsausbreitung durch die Kapselung des eigentlichen Gärprozesses besser beherrschbar, zum zweiten besteht die Möglichkeit der energetischen Verwertung (Verstromung, idealerweise kombiniert mit einer Nutzung der Abwärme des Gasmotors) des anfallenden Faulgases [1].

## 1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es einen Überblick über die technischen Grundlagen der Biogasproduktion zu vermitteln sowie eine Bestandsaufnahme der steiermärkischen Biogasanlagen mit den Schwerpunkten: Die Bewilligungsverfahren zu erheben, einen Überblick über die Prozessführung zu erlangen sowie eine stoffflusswirtschaftliche Betrachtung vorzunehmen.

---

<sup>1)</sup> Die Methanisierungsstufe im Biogasprozess läuft obligat ohne jeglichen Sauerstoff ab, d.h. auch unter Ausschluss des elementaren Sauerstoffs und somit anoxisch. In der Literatur ist allerdings zumeist der Begriff „anaerob“ in Verwendung. Zur exakten Definition der Begriffe „anoxisch“ bzw. „anaerob“ siehe auch Kapitel 2 „Begriffe und Definitionen“.

## 2 Begriffe und Definitionen

In diesem Kapitel werden die in dieser Arbeit verwendeten Begriffe und Definitionen alphabetisch geordnet angeführt.

### Abfall

Unter Abfall versteht der österreichische Gesetzgeber bewegliche Sachen

- „1. deren sich der Besitzer entledigen will oder entledigt hat oder
2. deren Sammlung, Lagerung, Beförderung und Behandlung als Abfall erforderlich ist, um die öffentlichen Interessen nicht zu beeinträchtigen“  
[2, § 2 (1)].

### Aerob

Bei aeroben Bedingungen herrscht eine Sauerstoffatmosphäre vor. Als Elektronenakzeptor dient der molekulare Sauerstoff ( $O_2$ ), der durch Luftsauerstoff bzw. Einblasen von elementarem  $O_2$  zur Verfügung gestellt wird. [1]

### Anaerob

Anaerobe Bedingungen definieren sich über den Ausschluss von molekularem  $O_2$  im Reaktionsraum. Als Elektronenakzeptor dient der elementare Sauerstoff (O) aus anorganischen Verbindungen, wie beispielsweise der Sauerstoff aus Nitrat. [1]

### Anoxisch

Bedingungen, die frei von jeglichem (elementaren und molekularen) Sauerstoff sind werden als anoxisch bezeichnet. Als Elektronenakzeptor dienen organische Verbindungen. Mikroorganismen in der Methanisierungsphase des Biogasprozesses verlangen beispielsweise anoxische Umgebung. [1]

### Ausgestufter gefährlicher Abfall

Auf Abfall, für den der Abfallbesitzer den Nachweis erbracht hat, dass die gefahrenrelevanten Eigenschaften nach AWG 2002 Anhang 3 [2, Anhang 3] nicht zutreffen, wird in der Fachterminologie mit dem Begriff ausgestufter gefährlicher Abfall Bezug genommen. Dieser Nachweis ist in einem so genannten Ausstufungsverfahren zu erbringen. Nach erfolgreichem Abschluss des Ausstufungsverfahrens gilt der vormals gefährliche Abfall nicht mehr als gefährlich [3, § 5].

### Batch

Ein diskontinuierlicher Betrieb eines Biogasreaktors wird als Batch bezeichnet. Dabei wird der Reaktor beschickt und erst nach der vollständig abgelaufenen Reaktion entleert. [4, S. 106 u. S. 109]

### Biogas (Faulgas)

Biogas wird jenes Gas genannt, das bei natürlichen Faulungsprozessen gebildet wird [5, S. 48]. Es besteht aus 50 bis 75 % Methan ( $\text{CH}_4$ ), 25-50 % Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) und geringen Mengen an Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ), Stickstoff ( $\text{N}_2$ ), Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ), Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ), Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) und Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ ) [6, S. 24].

### Biogasgülle

Biogasgülle ist als vergorenes flüssiges Substrat aus dem Biogasprozess definiert, welches landwirtschaftlich verwertet werden kann und als Ausgangsmaterialien Flüssig- und Festmist sowie Materialien aus der inländischen landwirtschaftlichen Urproduktion (z.B. Wiesenaufwuchs, verdorbenes Saatgut) und nachwachsende Rohstoffe (z.B. Mais, Gras), die gezielt für eine derartige Verwertung angebaut werden, enthält [7, S. 8 u. S. 21].

### Co-Vergärung

Bei der Co-Vergärung erfolgt eine gemeinsame Vergärung von organischem Abfall mit einem stets einheitlichen, überwiegend flüssigen Grundsubstrat (meist Flüssigmist) [4, S. 109].

### Exergon

Als exergon wird eine energieproduzierende chemische Reaktion bezeichnet. Der Energieinhalt wird mit dem Zeichen der Gibbschen Energie  $\Delta G$  angegeben und erhält für eine exergone Reaktion definitionsgemäß ein negatives Vorzeichen. Damit eine Reaktionskette ablaufen kann muss die Gesamtreaktion unter Berücksichtigung aller modulierender Faktoren (z.B. Temperatur, pH-Wert, Ausgangs- und Endkonzentration) einen negativen  $\Delta G$ -Wert aufweisen. [5, S. 54]

### Fed-Batch

Ein Mischbetrieb zwischen kontinuierlicher und diskontinuierlicher Prozessführung wird Fed-Batch genannt. Hierbei läuft der Reaktor kontinuierlich, während die Beschickung und Entleerung diskontinuierlich durchgeführt wird. [4, S. 106 u. S. 109]

### Gärrückstand

Der Gärrückstand ist als vergorenes flüssiges Substrat aus dem Biogasprozess definiert, welches landwirtschaftlich verwertet werden kann, allerdings bis zu seiner zulässigen Verwendung oder Verwertung Abfall bleibt und als Ausgangsmaterialien Rückstände der Be- und Verarbeitung landwirtschaftlicher Produkte (z.B. Schalen, Molkereirückstände) und andere biogene, ungefährliche Abfälle (z.B. Speisereste, Laub), enthält [7, S. 8 u. S. 21].

### Gefährlicher Abfall

Abfall gilt als gefährlicher Abfall, wenn die gefahrenrelevanten Eigenschaften (H1-H15) nach AWG 2002 Anhang 3 [2, Anhang 3] zutreffen.

### Gülle

Auf ein Gemisch aus Kot und Harn, auch vermengt mit H<sub>2</sub>O sowie deren natürlichen Umwandlungsprodukten und geringen Mengen Einstreu und Futterresten wird in der Terminologie als Gülle Bezug genommen. Zusätzlich können Stallreinigungs-, Spül- und Niederschlagswässer, Sicker- und Gärsäfte aus Silos und Festmistlagern und Hausabwässer enthalten sein [7, S. 21].

### Jauche

Auf ein Gemisch aus Kot und Harn, auch vermengt mit H<sub>2</sub>O sowie deren natürlichen Umwandlungsprodukten und geringen Mengen Einstreu wird in der Terminologie als Jauche Bezug genommen. Zusätzlich können Stallreinigungs-, Spül- und Niederschlagswässer, Sicker- und Gärsäfte aus Silos und Festmistlagern und Hausabwässer enthalten sein. Somit unterscheidet sich Jauche von Gülle lediglich durch das Fehlen von Futterresten als Inhaltsstoff. [7, S. 21]

### Mesophil

Mesophil bedeutet wörtlich aus dem Griechischen übersetzt "Mittleres liebend" und beschreibt einen ebensolchen Temperaturbereich. Die Grenzziehung zwischen mesophil und thermophil ist in Fachkreisen nicht eindeutig definiert. Es finden sich beispielsweise in der Literatur Angaben für mesophile Temperaturen von 33-37 °C [4, S. 107], aber auch von 36-40 °C [8]. Aus diesem Grund wurde in fachlicher Abstimmung mit der Betreuerin bei der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 19D, (FA19D) für die Definition der Temperaturbereich < 50 °C gewählt [9, S. 11].

### Mono-Vergärung

Eine Vergärung von festen organischen Abfallstoffen aus Kommunen, Agrar- und Lebensmittelindustrie, Großküchen oder Großmärkten als Einzelfraktion oder in wechselnder Mischung wird als Mono-Vergärung bezeichnet [4, S. 109].

### Psychrophil

Psychrophil bedeutet wörtlich aus dem Griechischen übersetzt "kälteliebend" und beschreibt einen Temperaturbereich  $\leq 25 \text{ °C}$  [4, S. 107].

### Stallmist

Stallmist ist ein Gemenge, das sich aus Kot und Einstreu sowie allenfalls Harnausscheidungen zusammensetzt [7, S. 22].

### Thermophil

Thermophil bedeutet wörtlich aus dem Griechischen übersetzt "Hitze liebend" und beschreibt einen ebensolchen Temperaturbereich. Die Grenzziehung zwischen mesophil und thermophil ist in Fachkreisen nicht unumstritten (siehe oben Begriffsdefinition „mesophil“). Aus diesem Grund wurde in fachlicher Abstimmung mit der Betreuerin bei der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 19D, (FA19D) für die Definition der Temperaturbereich von  $\geq 50 \text{ °C}$  gewählt [9, S. 11].

### Vergorenes

Auf die materiellen Produkte Biogasgülle und Gärrückstände des Biogasprozesses wird in dieser Arbeit unter dem Sammelbegriff Vergorenes Bezug genommen [9, S. 25].

### Wirtschaftsdünger

Tierische Ausscheidungen, Jauche, Gülle und Stallmist sowie Stroh und ähnliche Reststoffe aus der pflanzlichen Produktion werden mit dem Begriff Wirtschaftsdünger umschrieben [7, S. 22].

### 3 Grundlagen

Faulungsprozesse in der Natur bilden ein Gas, das hauptsächlich aus Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) sowie einigen weiteren Stoffen in geringen Konzentrationen besteht (für eine detailliertere Ausführung siehe Kapitel 3.1 „Chemische und physikalische Eigenschaften von Biogas“). Eine Biogasanlage ist eine räumliche, organisatorische und wirtschaftliche Einheit zur Erzeugung von Strom, Wärme und Dünger durch anoxische Vergärung von organischen Abfällen und Energiepflanzen, in dem unter kontrollierten Bedingungen unter Ausnutzung der natürlichen Vergärungsprozesse jenes Faulgas gewonnen wird. In der Literatur findet sich allerdings hauptsächlich der Begriff Biogas. Diese Arbeit folgt der Fachterminologie und bezeichnet in Folge Faulgas als Biogas.

In diesem Kapitel soll eine Übersicht über die chemischen und physikalischen Eigenschaften von Biogas (Kap. 3.1), den Biogasprozess (Kap. 3.2), die großtechnische Herstellung von Biogas (Kap. 3.3) und die Nutzung von Biogas (Kap. 3.4) gegeben werden.

#### 3.1 Chemisch-Physikalische Eigenschaften von Biogas

##### Zusammensetzung

Biogas setzt sich, wie bereits erwähnt, überwiegend aus  $\text{CH}_4$  und  $\text{CO}_2$  und einigen weiteren Komponenten zusammen, die quantitativ weitaus geringere Anteile ausmachen. Als Nebenbestandteile kann Biogas Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ), Stickstoff ( $\text{N}_2$ ), Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ), Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ), Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) und Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ ) enthalten [5, S. 48]. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Komponenten und deren Anteile im Biogas, von links nach rechts abfallend in Volumsprozent (Vol %), an. Diese Angaben sind als Richtwerte zu verstehen. Die exakten Konzentrationen der Inhaltsstoffe von Biogas hängen von den Inputmaterialien und der Prozessführung ab.

Tabelle 1: Komponenten und deren Anteile im Biogas [6, S. 24]

Gas- komponente	$\text{CH}_4$	$\text{CO}_2$	$\text{H}_2\text{O}$	$\text{N}_2$	$\text{O}_2$	$\text{H}_2$	$\text{NH}_3$	$\text{H}_2\text{S}$
Anteil [Vol %]	50-75	25-50	1-10	0-5	0-2	0-1	0-1	0-1

Dabei wird die Vergärung des Eingangsmaterials überwiegend von dessen Oxidationsgrad und nicht vom Typ einer Vergärungsanlage bestimmt. Abbildung 1 erläutert die Abhängigkeit des  $\text{CH}_4$ -Gehalts im Biogas von der Stoffgruppe des Inputmaterials. Theoretisch kann, wie in Tabelle 1 angeführt, der  $\text{CH}_4$ -Anteil bis zu 75 % ausmachen. In der Praxis bewirkt die  $\text{CO}_2$ -Löslichkeit in  $\text{H}_2\text{O}$  jedoch sogar bis zu 80 %  $\text{CH}_4$  im Biogas.

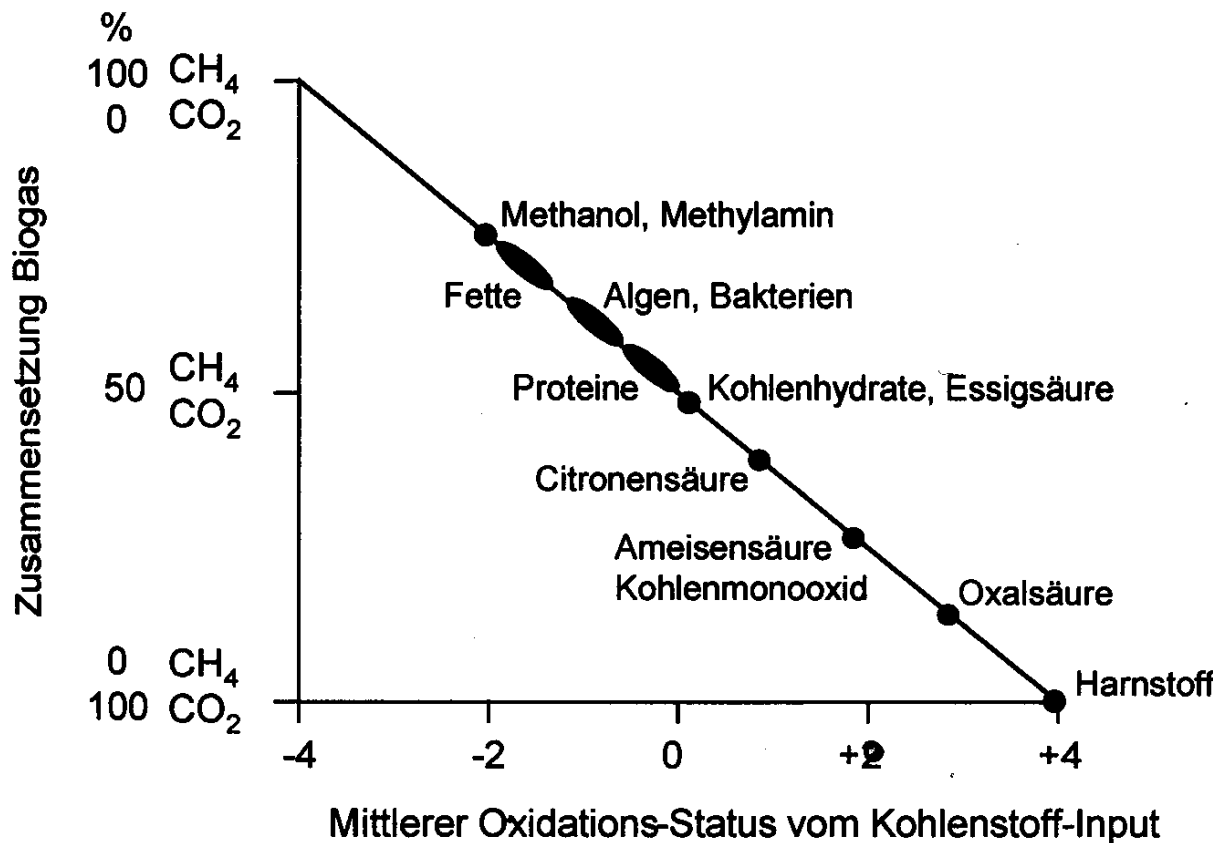


Abbildung 1: Abhängigkeit des CH<sub>4</sub>-Gehalts im Biogas von der Stoffgruppe des Inputmaterials [5, S. 71]

### Dichte

Biogas weist - bedingt durch den CO<sub>2</sub>-Gehalt - eine höhere Dichte ( $\rho$ ) als Erdgas auf, ist jedoch leichter als Luft. Beispielsweise hat Biogas mit einer Zusammensetzung aus 60 % CH<sub>4</sub> und 40 % CO<sub>2</sub> im Vergleich zu Erdgas ( $\rho_{\text{Erdgas}} = 0,7 \text{ kg/m}^3$ ) eine Dichte von  $\rho_{\text{Biogas}} = 1,2 \text{ kg/m}^3$  und steht mit Luft im Dichteverhältnis von 0,9 : 1. [6, S. 24]

### Verbrennungsmerkmale Heizwert, Zündtemperatur, Verbrennungsgeschwindigkeit

Der Heizwert des Biogases wird von dessen CH<sub>4</sub>-Gehalt bestimmt und errechnet sich zu je 1 kWh/m<sup>3</sup> pro 10 % CH<sub>4</sub>-Anteil im Biogas. Daraus ergibt sich gemäß Tabelle 1 ein durchschnittlicher Heizwert zwischen 5-7,5 kWh/m<sup>3</sup>. Des Weiteren zeichnet sich Biogas durch eine höhere Zündtemperatur bei etwa 700 °C aus, die damit um 50 °C höher als jene von Erdgas liegt. Die geringe Verbrennungsgeschwindigkeit bedarf aufgrund ihrer Auswirkung auf den Wirkungsgrad von Verbrennungsmotoren besonderer Aufmerksamkeit. Wie bei der Dichte spielt auch bei diesem Parameter die CO<sub>2</sub>-Konzentration im Biogas eine signifikante Rolle. Mit steigendem CO<sub>2</sub>-Anteil sinken Verbrennungsgeschwindigkeit und Wirkungsgrad. [6, S. 24]

## 3.2 Der Biogasprozess

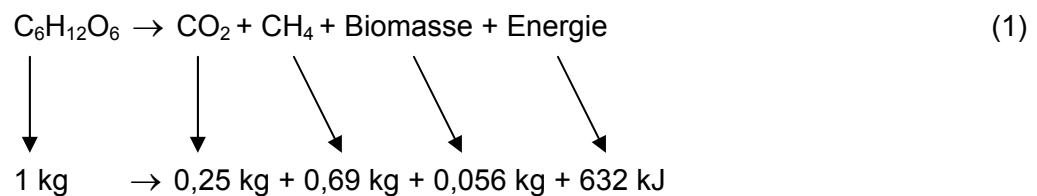
### 3.2.1 Biogas als Produkt am Ende der anaeroben Nahrungskette

Anaerobe Mikroorganismen speisen ihren Energiehaushalt wie alle Organismen aus Oxidationsprozessen. Allerdings weisen die anaeroben Vorgänge einen wesentlichen Unterschied zur aeroben Oxidation auf. Aus dem frei werdenden  $H_2$  entsteht kein  $H_2O$ . Dieses Phänomen basiert auf der Abwesenheit von freiem  $O_2$  unter anaeroben Bedingungen, eine essentielle Anforderung an den Lebensraum für diese Mikroorganismen. Daher kann sich  $H_2$  ohne vorliegenden freien  $O_2$  nicht zu  $H_2O$  verbinden. Stattdessen bilden methanogene Bakterien aus dem vorhandenen  $H_2$  und  $CO_2$  am Ende der anaeroben Nahrungskette  $CH_4$  bzw. Biogas. [5, S.46]

### 3.2.2 Abbau organischer Substanz in der anaeroben Nahrungskette

#### 3.2.2.1 Reaktionsphasen des anaeroben Abbaus

Der vollständige anaerobe Abbau organischer Substanz erfolgt, aufgezeigt am Beispiel der Glucose als organisches Material, nach folgender vereinfachter Reaktionsgleichung [10]



in Nahrungsketten unter Beteiligung fakultativ und obligat anaerober Mikroorganismen, wobei stark vereinfacht folgende Reaktionsphasen (siehe Abbildung 2) unterschieden werden können.

Hydrolyse: Längerkettige Moleküle der Biomasse wie Proteine, Fette und Kohlenhydrate werden durch bakterielle Exoenzyme zu Aminosäure, Glucose und anderen kleineren Einheiten umgebaut. Die Hydrolyse stellt dabei den limitierenden Abbauschritt dar.

Saure Phase (Acidogene und Acetogene Phase): Aus den in der Hydrolyse gebildeten Stoffen werden von verschiedenen Bakteriengruppen organische Säuren produziert, wobei einige Bakterienarten in der Lage sind, diese Substanzen direkt zu  $H_2$ ,  $CO_2$  und Essigsäure ( $CH_3CO_2H$ ) umzusetzen. Ebenso wird eine Vielzahl organischer Säuren und Alkohole gebildet, die erst über eine Zwischenstufe unter Beteiligung acetogener Bakterien zu  $H_2$ ,  $CO_2$  und  $CH_3CO_2H$  umgesetzt werden.



**Methanbildung (Methangärung):** Der Abbau zu  $\text{CH}_4$  wird von einer großen heterogenen Gruppe von anaeroben Bakterien in der Methanvorstufe und der Methanstufe vollzogen. Methanogene Bakterien stellen dabei die letzte Bakteriengruppe der Produktion dar und liegen in enger Symbiose zu den acetogenen Bakterien der sauren Phase. Methanogene Bakterien sind obligat anoxisch und benötigen ein niedriges Redoxpotential. Diese Bakterien sind sehr substratspezifisch, sie können neben  $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$ ,  $\text{H}_2$  und  $\text{CO}_2$  lediglich noch Kohlenmonoxid ( $\text{CO}$ ), Ameisensäure ( $\text{HCO}_2\text{H}$ ), Methanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) und Methylamin ( $\text{CH}_3\text{NH}_2$ ) umsetzen. Hydrogenophile, methanogene Bakterien bauen  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2$  zu  $\text{CH}_4$  um, während acetophile methanogene Bakterien organische Säuren zu  $\text{CH}_4$  und  $\text{CO}_2$  abbauen.

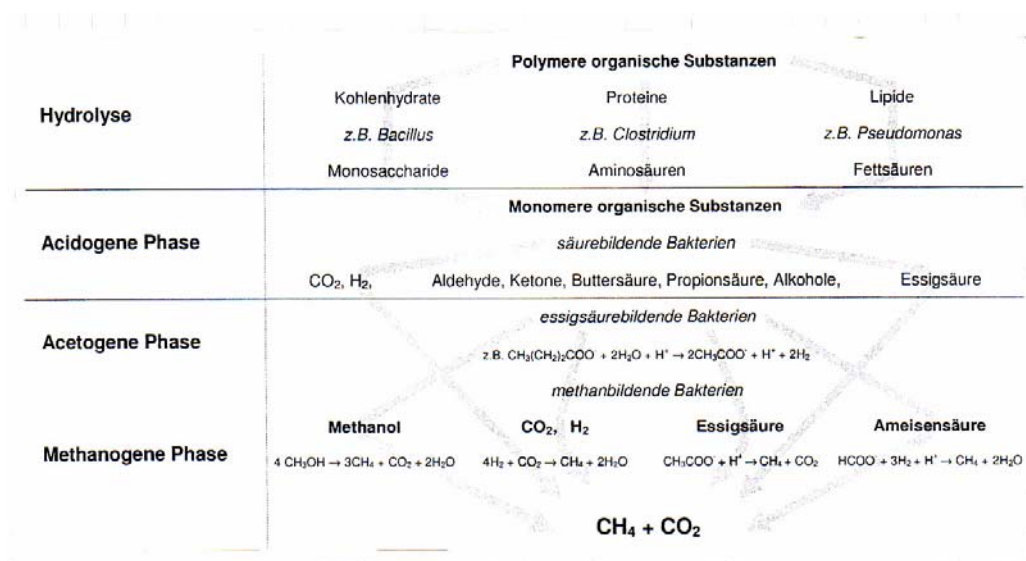


Abbildung 2: Schema des anaeroben Abbaus organischer Substanz [10]

### 3.2.2.2 Energetische Betrachtung des Substratabbaus nach der Hydrolyse

Der Einfluss des  $\text{H}_2$  auf die Thermodynamik des Substratabbaus nach der Hydrolyse bedarf besonderer Aufmerksamkeit. Wie im Kapitel 3.2.2.1 „Reaktionsphasen des anaeroben Abbaus“ ausgeführt, erfolgt in der acidogenen Phase die Bildung von organischen Säuren und Alkoholen. Bei der Oxidation von Acetat, Propionat, Butyrat und Ethanol werden  $\text{H}_2$  und  $\text{CO}_2$  in unterschiedlicher Stöchiometrie frei. Hierbei kommt dem  $\text{H}_2$  eine signifikante Bedeutung zu.

Abbildung 3 veranschaulicht die Auswirkung des Wasserstoffpartialdrucks ( $\text{PH}_2$ ) auf die Thermodynamik der bakteriellen Umsetzung von Acetat, Propionat, Ethanol sowie der Methanbildung aus  $\text{H}_2/\text{CO}_2$ . Die Reaktionen sind durch die Ziffern 1-4 gekennzeichnet und für diese Betrachtung lediglich mittels der Reaktionsprodukte charakterisiert, wobei die  $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$  mit HAc abgekürzt ist.

Aus dem Diagramm ist eine gegenläufige Beeinflussung des Reaktionsgleichgewichts durch den  $H_2$  bei der Oxidation von Ethanol, Acetat, Propionat (Reaktionen 1-3) einerseits und der Methanogenese aus  $H_2/CO_2$  (Reaktion 4) andererseits ersichtlich.  $H_2/CO_2$  dient den  $CH_4$ -bildenden Bakterien als Substrat. Dieser Prozess ist daher erst ab einem  $P_{H_2}$  größer als  $10^{-6}$  atm exergon. Bei den Reaktionen 1-3 entsteht  $H_2$ . Dadurch werden die  $CH_4$ -Bildner mit Substrat versorgt, allerdings steigt aus Sicht der Reaktionen 1-3 auch die Produktkonzentration. Eine Verschiebung des chemischen Gleichgewichts zugunsten der Produkte hat eine Abnahme der Substratkonzentration („Verbrauch“ an Substrat) zur Folge, welches sich thermodynamisch ungünstig für den Ablauf einer chemischen Reaktion auswirkt. Deshalb sind die Reaktionen 1-3 darauf angewiesen, dass die  $CH_4$ -Bildner durch ihren  $H_2$ -Verbrauch als  $H_2$ -Senke fungieren und das Konzentrationsgleichgewicht aufrechterhalten.

Aus der Forderung einer minimalen  $H_2$ -Konzentration als Substrat für die Reaktion 4 einerseits und dem reaktionshemmendem Effekt eines zu hohen  $P_{H_2}$  für die Reaktionen 1-3 andererseits ergibt sich somit ein beschränkter Bereich, in dem die Organismengruppen nebeneinander existieren können, der in der Literatur als „energetisches Substratfenster“ bezeichnet wird.

In Abbildung 3 ist der Koexistenzbereich für die Mikroorganismen der Reaktionen 3 und 4 schattiert dargestellt. Für die Kombination der Reaktionen 1 und 4 ist er am weitesten geöffnet und erstreckt sich zwischen  $10^{-1}$  und  $10^{-6}$  atm  $H_2$ . Das Phänomen des „energetischen Substratfensters“ tritt bei einer direkten Umsetzung von Acetat zu  $CH_4$  und  $CO_2$  durch acetotrophe Bakterien nicht auf. [5, S. 54 u. S. 55]

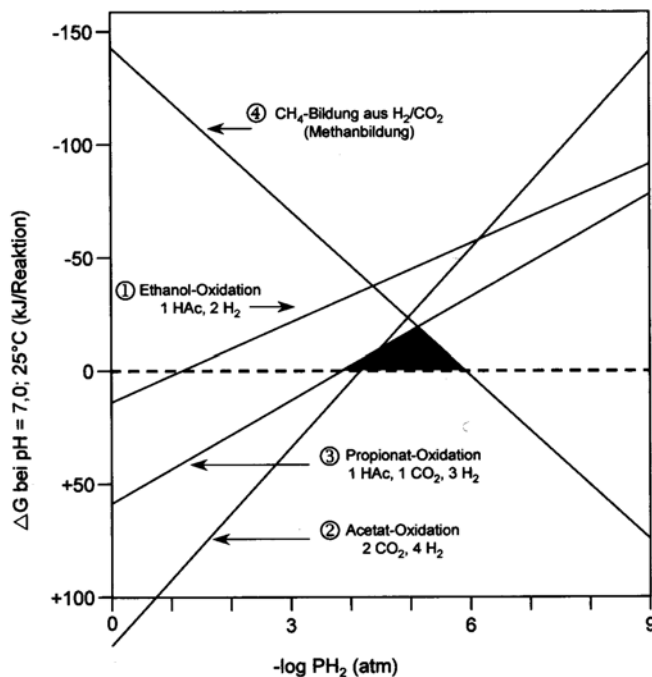


Abbildung 3: Auswirkung des  $P_{H_2}$  auf die Thermodynamik der bakteriellen Umsetzung von Acetat, Propionat, Ethanol sowie der Methanbildung aus  $H_2/CO_2$  [5, S. 55]

### 3.3 Großtechnische Herstellung von Biogas

Für die Vergärung fester und halbfester organischer Abfälle steht eine Vielzahl an Verfahrenslösungen zur Verfügung, die vor allen Dingen in der Prozessführung, in den Reaktionsbedingungen sowie in der anlagentechnischen Gestaltung divergieren. Dennoch liegt dem Verfahrensaufbau in den einzelnen Herangehensweisen ein gemeinsames Schema zugrunde, wobei bestimmte Merkmale jeweils charakteristisch für einzelne Verfahrenslinien in Erscheinung treten. [4, S. 99]

Abbildung 4 stellt die wesentlichen Verfahrensstufen einer Abfallvergärungsanlage dar. Eine Beschreibung der Abfallannahme übersteigt ebenso den Rahmen dieser Arbeit wie eine Diskussion der Aufbereitung (Kompostierung) des Gärrückstands sowie der Behandlung des Abwassers. Deshalb erfolgt in der Abhandlung der Arbeitsschritte eine Konzentration auf die Prozesse Abfallaufbereitung und Vergärung.

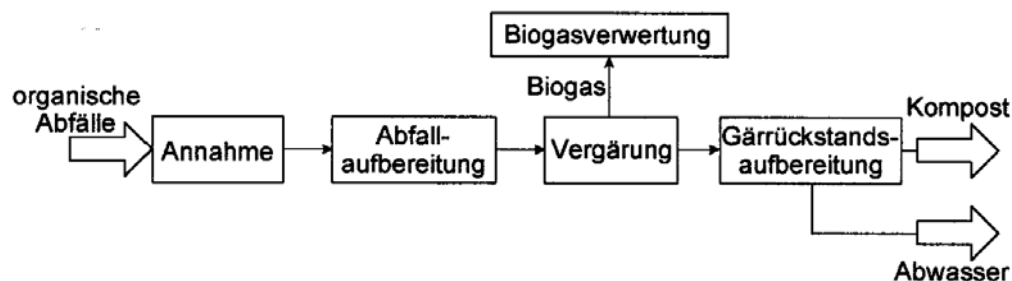


Abbildung 4: Allgemeines Verfahrensschema der Abfallvergärung [4, S. 100]

#### 3.3.1 Abfallaufbereitung

Nahezu sämtliche Verfahren bedürfen einer Aufbereitung der einzusetzenden Materialien. Dieser Verfahrensschritt verfolgt mehrere Ziele. In erster Linie bewirkt die Aufbereitung eine Abtrennung von Störstoffen, die den biologischen Prozess negativ beeinträchtigen können. Des Weiteren unterstützt eine derartige Konditionierung einen möglichst vollständigen und schnellen biologischen Abbau sowie einen erleichterten Stofffluss innerhalb der Verfahrenskette. Je nach Verfahrenstyp und Abfalleigenschaften variiert die Anwendung der Grundoperationen, wie Zerkleinern, Trennen, Sortieren und Mischen. Seuchenhygienisch sensible Stoffe erfordern zusätzlich eine thermische Behandlung zur Hygienisierung der Abfälle. [4, S. 99]

Die Hygienisierung zieht nicht nur verfahrenstechnische Konsequenzen in der Konzeption einer Anlage nach sich, sondern stellt vor allen Dingen auch aus ökonomischer Sicht eine nicht zu vernachlässigende Größe in Form einer Zusatzinvestition dar. Aus diesem Grund ist der Hygienisierung ein eigenes Unterkapitel (siehe Kapitel 3.3.2 „Hygienisierung von Inputmaterial“) gewidmet, obwohl sie thematisch entlang der Prozessabfolge zur Herstellung von Biogas der Aufbereitung zuzurechnen ist.

Nach dem Gärprozess kann eine weitere Aufbereitungsstufe notwendig sein, sofern der Gärrückstand nicht direkt einer Verwertung in der Landwirtschaft zugeführt wird. Die Verarbeitung des Gärrückstands zu Fertigkompost setzt beispielsweise eine Entwässerung, Kompostierung und Feinaufbereitung voraus. Diese Prozesse werten zwar einerseits das übrig gebliebene organische Material zum Produkt „Fertigkompost“ auf, ziehen allerdings andererseits zusätzlichen Aufwand nach sich. Im Besonderen ist die abgetrennte Flüssigphase aus der Entwässerung mit einer hohen Restfracht an Organik und Nährstoffen angereichert, die als Abwasser behandelt werden muss. [4, S. 100]

### 3.3.2 Hygienisierung von Inputmaterial

Eine eingehende Diskussion über die Hygienisierung von Inputmaterialien in Biogasanlagen übersteigt die Systemgrenze der Zielsetzung dieser Arbeit (siehe Kapitel 1.2 „Zielsetzung“). Als Rechtsgrundlage sei verwiesen auf die Tierische-Nebenprodukte-Verordnung [11] (in Folge mit TNP-VO abgekürzt) der Europäischen Gemeinschaft, den Erlass des Bundesministeriums für Gesundheit und Frauen (BMGF) betreffend die Verarbeitung von tierischen Nebenprodukten in Biogas- und Kompostieranlagen [8] sowie die Erläuterung des Bundesministeriums für Gesundheit und Frauen zu selbigem Erlass [12].

Zum näheren Verständnis dieses sensiblen Aspekts der Einsatzmaterialien in Biogasanlagen soll jedoch gestützt auf die obig erwähnte Erläuterung des BMGF der Versuch einer Interpretation der Sachlage unternommen werden.

Im ebenfalls bereits erwähnten Erlass des BMGF werden tierische Nebenprodukte als Ausgangsmaterial für Biogasanlagen in die Gruppen A, B, C und D zusammengefasst. Die Einteilung stellt eine Gewichtung im Sinne der Anforderungen an die Verarbeitung der Materialien mit zunehmender Strenge der Auflagen von A nach D dar. Danach können Materialien der Gruppe A - wie z.B. Gülle, Magen- und Darminhalte - als Rohware ohne vorherige Behandlung eingebracht werden (vorbehaltlich der Beschränkungen auf Grund tiereseuchenrechtlicher Maßnahmen). [12, S. 1]

Für Materialien der Gruppe B - wie z.B. Küchen- und Speiseabfälle - kommen nationale Vorschriften zum Tragen. Diese sehen für Biogasanlagen eine thermophile Prozessführung der Fermentation unter Einhaltung folgender Parameter vor: Die Temperatur hat mindestens 55 °C, die hydraulische Verweilzeit 20 Tage mit garantierter Mindest-Aufenthaltszeit von 24 h bei einer maximalen Partikelgröße von 12 mm zu betragen. In mesophil (36-40 °C) arbeitenden Anlagen muss eine Hygienisierung (exakte Parameter siehe Gruppe C, Hygienisierungsprozess) vorgesehen werden [12, S. 2]

Die Gruppe C umfasst sonstige Kategorie 3 Materialien (Kategorien gemäß TNP-VO) wie z.B. ehemalige Lebensmittel und Schlachtabfälle von gesunden Tieren. Diese Ingredienzien unterliegen den Verarbeitungsnormen gemäß TNP-VO.

Hierfür ist ein Hygienisierungsprozess bei einer Temperatur von 70 °C, 60 min Dauer und einem Größtkorn von 12 mm zwingend vorgeschrieben [11, Anhang VI, Kap. II, C]. Zusätzlich zu den Verarbeitungsnormen sind sämtliche Anforderungen gemäß Anhang VI, Kapitel (Kap.) II der TNP-VO (diese umfassen eine Trennung der Tierhaltung, Desinfektion der Fahrzeuge und Behälter, ordnungsgemäße Kontrolle und Lagerung der Endprodukte, um beispielhaft einige zu nennen) [11, Anhang VI, Kap. II] zu erfüllen.

Die strengsten Auflagen obliegen dem Einsatzmaterial der Gruppe D, welche sonstiges Kategorie 2 Material beinhaltet. Hierzu zählen beispielsweise Flotate oder Siebreste aus Schlachtbetrieben deren Partikeln mehr als 6 mm messen.

Diese tierischen Nebenprodukte dürfen nur nach Vorbehandlung mit Methode 1 gemäß Anhang V, Kap. III der TNP-VO zum Einsatz kommen. Eine derartige Behandlung hat in einem dafür zugelassenen Verarbeitungsbetrieb (Tierkörperverwertung) unter den Bedingungen einer Drucksterilisation bei einer Temperatur von 133 °C, einem Druck von 3 bar, einer Verweildauer von 20 min in gesättigtem Dampf und einer Partikelgröße von 50 mm vorstatten zu gehen [11, Anhang V, Kap. III].

Abschließend ist zum Thema Inputmaterialien und Hygienisierung zu sagen, dass laut Erlass des BMGF das Einbringen von Kategorie 1 Material nach der derzeitigen Rechtslage - selbst nach einer Vorbehandlung nach Methode 1 - nicht zulässig ist. [8, S. 3]

### 3.3.3 Verfahrensmerkmale

In Europa sind mehr als 20 verschiedene Verfahren zur Vergärung von organischen Abfällen auf dem Markt. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Verfahren treten hauptsächlich hinsichtlich der Parameter Wassergehalt, Temperatur, bei der die Gärung im Reaktor stattfindet, Prozessführung, Betriebsweise sowie in dem Prinzip, das der Durchmischung des Materials im Reaktor zugrunde liegt, auf. Zusätzlich übt die Art und Zusammensetzung der eingebrachten Materialien einen wesentlichen Einfluss auf den Vergärungsprozess aus. Tabelle 2 fasst diese Merkmale in einer Übersicht für feste Abfallstoffe zusammen.

Tabelle 2: Verfahrensparameter von Vergärungsverfahren für feste Abfallstoffe [4, S.106]

Verfahrensmerkmal	Verfahrensvarianten		
Wassergehalt im Methanreaktor	Nassvergärung < 15 % TS	Semi-Trockenvergärung 15 % < TS < 20 %	Trockenvergärung > 20 % TS
Temperatur	psychrophil ≤ 25 °C	mesophil 33-37 °C	thermophil 55-60 °C
Prozessführung	1-stufig	2-stufig m. Feststoffabtr. nach 1. Stufe	2-stufig o. Feststoffabtr. nach 1. Stufe
Betriebsweise	Batch	Repeated Fed-Batch	kontinuierlich
Durchmischung	mechanisch	hydraulisch	pneumatisch
Inputmaterialien	Mono-Vergärung	Co-Vergärung	

- Wassergehalt im Methanreaktor

Der Wassergehalt im Reaktor (angegeben in Anteilen an Trockensubstanz, % TS, oder bisweilen auch Trockenmasse, % TM) unterteilt die Verfahrensvarianten in Nassvergärung, Trockenvergärung und Semi-Trocken-Vergärung und wird durch Rückführung von Prozesswasser unter Bildung einer Abfallmaische eingestellt. Bei der Nassvergärung beträgt der Wasseranteil 8-15 % TS.

Tabelle 2 weist für die Definition der Trockenvergärung einen Wassergehalt > 20 % TS aus. Von der technischen Seite ist der Anteil an TS lediglich durch die Forderung der Pump- und Rührfähigkeit an das Abfall-Wasser-Gemisch limitiert. Die Biologie der Mikroorganismen setzt in der Praxis für diesen Wert allerdings eine Grenze von etwa 40 % TS.

Oberhalb von 40 % TS ist der Stoffwechsel der Mikroorganismen aufgrund des Wassermangels gehemmt und kann bei weiter verschärftem Wassermangel sogar zum Erliegen kommen. Viele Abfallstoffe liegen in ihrem Ausgangswassergehalt innerhalb dieses „Wassergehaltfensters“ von 20-40 % TS und können dadurch direkt ohne manuelle Einstellung der rheologisch und biologisch geforderten Eigenschaften im Zuge einer Trockenvergärung verarbeitet werden. Die Semi-Trocken-Vergärung stellt aus der Sicht des Wasseranteils den Übergangsbereich zwischen 15-20 % TS dar. Aufgrund der erschwerten Handhabung von Abfällen dieser Konsistenz findet die Semi-Trocken-Vergärung kaum Anwendung.

- Temperatur

Generell unterscheidet die Literatur zwischen den Temperaturbereichen psychrophil ( $\leq 25\text{ °C}$ ), mesophil (33-37 °C) und thermophil (55-60 °C). Allerdings ist die Grenzziehung zwischen mesophil und thermophil in Fachkreisen nicht unumstritten (siehe Kapitel 2 „Begriffe und Definitionen“).

Eine Vergärung ist im großtechnischen Maßstab nur im mesophilen und thermophilen Temperaturbereich sinnvoll, da unter psychrophilen Bedingungen die Thermodynamik der biologischen Prozesse für einen wirtschaftlichen Betrieb ungünstig, d.h. im Allgemeinen zu langsam, abläuft.

Wie in Kapitel 3.3.2 „Hygienisierung von Inputmaterial“ ausgeführt, stellt die Temperatur vom Standpunkt der Aufbereitung einen bedeutenden Parameter dar. Auch prozesstechnisch betrachtet kommt der Temperatur eine signifikante Bedeutung zu, die am Beispiel einer thermophilen Betriebsweise diskutiert werden soll.

Vorteilhaft wirkt sich eine hohe Gärtemperatur in der Regel auf die Erhöhung der Abbauraten, auf den bis zu 10 % gesteigerten Abbaugrad und auf die entsprechend größere Gasausbeute aus. Des Weiteren findet unter thermophilen Temperaturen bereits teilweise eine dem Vergärungsprozess immanente Hygienisierung statt.



Dem stehen allerdings folgende Nachteile gegenüber. Unter Temperaturen größer als 55 °C gilt der Propionatabbau als annähernd vollständig gehemmt (siehe Kapitel 3.3.4.1 „Behinderungen im Biogasprozess“). Dadurch besteht die Gefahr einer Unterdrückung der CH<sub>4</sub>-Gärung. Ebenso nachteilig wirkt sich aus, dass normalerweise für die Aufrechterhaltung der Prozesstemperatur produziertes Biogas herangezogen wird, wodurch die Netto-Energieausbeute nach unten korrigiert werden muss. Die Temperaturabhängigkeit des Ammonium-/Ammoniak-Gleichgewichts (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/NH<sub>3</sub>) bedingt bei Einsatz von proteinreichen Substraten eventuell eine Prozessstörung durch angereicherten, toxisch wirkenden NH<sub>3</sub> [5, S. 66 u. S. 67].

Letztenendes hat die gewählte Prozesstemperatur auch auf das Zeitmanagement eines Biogasanlagenprojekts Auswirkung. Die bakterielle Biodiversität ist in einer thermophilen Prozessumgebung weit geringer als unter mesophilen Bedingungen. Dieser Aspekt schlägt sich in einer längeren Inbetriebnahmephase für thermophil betriebene Anlagen zu Buche, die sich auf bis zu sechs Monate erstrecken kann.

- Prozessführung

In Anlehnung an den mehrstufigen mikrobiellen Abbau in der Natur (siehe Kapitel 3.2.2.1 „Reaktionsphasen des anaeroben Abbaus“) existieren sowohl einstufige als auch zweistufige Konzepte für die Methanisierung mit jeweils charakteristischen Vor- und Nachteilen. Bei den zweistufigen Systemen erfolgt eine weitere Unterscheidung in Anlagen die mit oder ohne Zwischenabtrennung der nicht hydrolysierten Feststoffe (z.B. Lignin) vor der Methanstufe ausgeführt werden. Abbildung 5 illustriert die Abfolge der einzelnen Schritte der beschriebenen Verfahrensvarianten.

Der Vorteil einer einstufigen Prozessführung liegt in der einfachen Verfahrensgestaltung und Betriebsführung, wodurch eine unkomplizierte Handhabung des Prozesses und damit verbunden eine Kosteneinsparung gewährleistet ist. Die Kehrseite der Medaille offenbart sich allerdings in den stark eingeschränkten Steuerungsmöglichkeiten für die Vergärung. Aufgrund der fehlenden räumlichen Trennung laufen sämtliche Abbaureaktionen gleichzeitig ab. Dadurch kann weder auf die individuellen Milieuansprüche der Bakteriengruppen (siehe Kapitel 3.3.4.2. „Steuerung und Verbesserung des Biogasprozesses“) noch auf die unterschiedlichen Abbauraten der Abfallkomponenten bei der Einstellung der Reaktorverweilzeiten eingegangen werden. Der letztgenannte Aspekt kann besonders durch die Anreicherung von Versäuerungsprodukten bei Abfällen mit Anteilen leicht abbaubarer Substanzen für die Prozessstabilität unvorteilhaft ins Gewicht fallen. [4, S.107 u. S. 108]

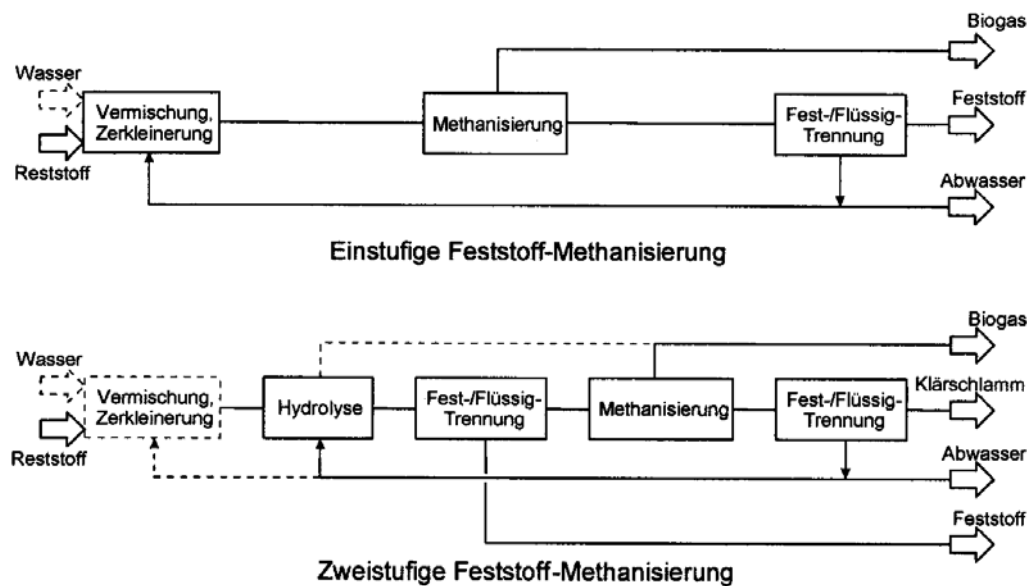


Abbildung 5: Fließbild der ein- und zweistufigen Nassvergärung [4, S. 108]

Entsprechend erwächst der Hauptvorteil einer zweistufigen Prozessführung aus der Möglichkeit einer spezifischen Prozesssteuerung aufgrund der apparativen Loslösung von Hydrolyse-/Versäuerungsreaktion auf der einen Seite und der Methanisierung auf der anderen Seite. Die Folge dieser individuell gerichteten Aufmerksamkeit stellt sich im Vergleich zur Einstufigkeit als erhöhte Stabilität im Prozess und einem höheren Abbau dar. Zusätzlich erleichtert die räumliche Trennung eine Isolierung von Schadstoffen. Als nachteilig ist der erhöhte maschinelle und apparative Aufwand zu nennen sowie die Notwendigkeit einer Nachbehandlung - in Form von Kompostierung - der abgetrennten Feststoffe im Fall der Abscheidung vor der Methanisierung, da der Abbau der geruchsintensiven Ingredienzien für diese Fraktion im Rahmen der letzten Stufe entfällt.

- Betriebsweise

Die Betriebsweise eines Reaktors wird nach den Grundprinzipien „kontinuierlich“ und „diskontinuierlich“ unterschieden. Ein kontinuierlich - d.h. planmäßig ohne Unterbrechung - konzipierter Prozessablauf weist die Vorteile hoher Raum-Zeit-Ausbeuten und somit eine effiziente Ausnutzung der Ressourcen Reaktorvolumen und Prozesszeit, eine gleichmäßige Gasproduktion sowie die Begünstigung der Automatisierung in der Anlage, auf. Nachteilig wirken sich bei kontinuierlich-thermophil betriebenen Anlagen die Entstehung von Kurzschlussströmungen aus. Diese haben zur Folge, dass die Hygienisierung des Inputmaterials nicht gewährleistet werden kann. Bei diskontinuierlichen Verfahren (Batch) treten hingegen keine Kurzschlussströmungen auf. Weitere Vorzüge dieser Betriebsweise stellen die erleichterte Einstellung definierter Betriebszeiten und die verfahrenstechnische Simplizität dar.



Allerdings erfordert der Ausgleich der unregelmäßigen Biogasproduktion (es bietet sich der Vergleich der diskontinuierlichen Verfahrensabläufe mit dem durch Verkehrsampeln geregelten „stop-and-go“-Verkehr im Stadtbereich an) den Einsatz von mehreren Reaktoren in unterschiedlichen Betriebszyklen, welches einen nachteiligen Mehraufwand an Betriebsorganisation nach sich zieht. Deshalb findet sich in der Praxis oft ein Kompromiss im quasi-kontinuierlichem Stofffluss (Fed-Batch). [4, S.108, 109]

- Durchmischung

Die Durchmischung des eingesetzten Substrats ist für den Stoff- und Wärmeaustausch und die Gasentbindung essentiell. Zusätzlich unterstützt die Umwälzung des Materials die Aktivität der Mikroorganismen. Sie kann durch mechanische Rührwerke (v.a. bei der Nassvergärung), hydraulisch durch Umpumpen des Reaktorinhalts, pneumatisch durch Einpressen von Biogas oder in einer Kombination dieser Techniken durchgeführt werden. [4, S. 109]

- Inputmaterialien: Mono- / Co-Vergärung

Anhand der in den Reaktor eingebrachten Stoffe unterteilt sich das Verfahren in Mono-Vergärung und Co-Vergärung. Die Literatur versteht unter einer Mono-Vergärung die Fermentation von festen, organischen Abfällen aus den Bereichen Kommunen, Agrar- und Lebensmittelindustrie, Großküchen oder Großmärkten als Einzelfraktion oder in wechselnder Mischung. Die Co-Vergärung hingegen kennzeichnet sich durch ein einheitliches Grundsubstrat aus (meist Flüssigmist), dem die jeweiligen organischen Abfallstoffe zur gemeinsamen Vergärung zugemengt werden. Letztere zählt zur Gruppe der Nassvergärungsverfahren und bringt den Vorteil mit sich, Abfälle einer Verwertung zuzuführen, die aufgrund von Mängeln an Spurenelementen oder Nährstoffen als Monocharge nicht verarbeitbar sind. Des Weiteren entfällt bei Gärrückständen aus Co-Vergärung die Notwendigkeit einer Aufbereitung (Kompostierung), da sie unmittelbar in der Landwirtschaft aufgebracht werden können. Diese Form der Verwertung bedingt allerdings inputseitig besondere Qualitätsanforderungen an die in Betracht kommenden Abfälle. [4, S. 109]

### 3.3.4 Einflussfaktoren auf den Prozess

Die Vergärung von organischem Material ist ein komplizierter Prozess, auf den zahlreiche Faktoren Einfluss nehmen. Am Beginn der Verfahrenskette steht das eingesetzte Substrat, dessen Zusammensetzung die stofflichen Rahmenbedingungen setzt und bei ungünstiger Wahl Prozessstörungen nach sich ziehen kann. Die für den Abbau verantwortlichen Mikroorganismen benötigen ein Umfeld mit spezifisch auf ihre Lebensbedürfnisse ausgerichteten Eigenschaften, wie Wassergehalt und Temperatur, die bereits diskutiert wurden. Wesentliche Bedeutung kommt zusätzlich dem im Reaktor vorherrschenden pH-Wert zu.

Die Optimierung dieser Charakteristika stellt einerseits eine verfahrenstechnische Herausforderung dar, andererseits bietet sie mannigfaltige Steuerungs- und Verbesserungsmöglichkeiten für den Biogasprozess.

### 3.3.4.1 Behinderungen im Biogasprozess

Die Hydrolyse der Polymere stellt, wie bereits in Kapitel 3.2.2.1 „Reaktionsphasen des anaeroben Abbaus“ erwähnt, den geschwindigkeitslimitierenden Schritt einer Feststoffvergärung dar. Allerdings nimmt die Beschaffenheit der Abfälle signifikanten Einfluss auf die Art und Weise der reaktionsbegrenzenden Wirkung, wie anhand zweier Beispiele illustriert werden soll.

#### Der Abfallinhaltsstoff Protein als Edukt der Zellgifte $\text{NH}_3$ und $\text{H}_2\text{S}$

Speisereste weisen hohe Anteile an leicht abbaubaren Polymeren wie Stärke und Protein auf, deren Abbau mit der Entstehung der Nebenprodukte  $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$  und  $\text{H}_2\text{S}$  einhergeht. Aufgrund der Wasserlöslichkeit von Eiweiß erfolgt dessen Abbau schneller als jener von Fett. Dadurch ist eine potentielle Neigung zur Hemmung durch  $\text{NH}_3$  oder  $\text{H}_2\text{S}$  gegeben. [5, S. 49]

Zusätzlich fungieren  $\text{NH}_3$  und  $\text{H}_2\text{S}$  in ihrer ungeladenen Form als Zellgifte, deren Toxizität darauf zurückzuführen ist, dass sie, so wie  $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$ , die geladene Zellmembran lediglich in der ungeladenen Form passieren können. In der Literatur werden Hemmkonzentrationen für  $\text{NH}_4^+$  zwischen 2000-4000 mg/l (für freies  $\text{NH}_3$  100-200 mg/l) angegeben. [5, S. 65]

#### Der Abfallinhaltsstoff Fett als Edukt des problematischen Zwischenprodukts Propionat

Beim Abbau von Fett entstehen Fettsäuren und in weiterer Folge Acetat und Propionat. Wird das Fett in größeren Mengen beispielsweise als Substrat aus Fettabscheidern in den Reaktor eingebracht, besteht die Gefahr einer Überflutung mit Fettsäuren, die sich unvorteilhaft auf den Prozess auswirken kann [5, S. 49].

Zusätzlich kommt dem Propionatabbau eine kritische Rolle für das Gleichgewicht des Verfahrensablaufs zu, da er thermodynamisch betrachtet gegenüber dem Butyratabbau oder der Methanogenese aus Acetat benachteiligt ist. Dabei lässt sich  $\text{H}_2$  als entscheidender Aspekt feststellen. Der Abbau von Propionat setzt drei Mole  $\text{H}_2$  und ein Mol Acetat frei. Abgesehen von der Acetatoxidation entsteht bei keiner anderen kurzkettigen Fettsäure so viel  $\text{H}_2$  pro Mol Ausgangsstoff. Wie in Kapitel 3.2.2.2 „Energetische Betrachtung des Substratabbaus nach der Hydrolyse“ ausgeführt, hat eine steigende Produktkonzentration (hier  $\text{H}_2$ ) und eine damit einhergehende verringerte Substratkonzentration (hier Propionat) eine bremsende Wirkung auf den Reaktionsfortschritt. Dies hat eine aus der Stöchiometrie erwachsende (es entstehen drei Mole  $\text{H}_2$ ) Verschlechterung der Energieausbeute der Gesamtreaktion mit der dritten Potenz zur Konsequenz. Des Weiteren finden sich in der Literatur Meinungen, dass dem Propionatabbau vom Standpunkt der Temperatur eine Obergrenze von 55 °C auferlegt ist. [5, S. 56]

Somit kann die Sensibilität des Inputstoffes Fett aus der Möglichkeit einer Versäuerung des Prozesses und der thermodynamisch bedingt schwierigen Propionatoxidation verstanden werden.

### 3.3.4.2 Steuerung und Verbesserung des Biogasprozesses

#### Der pH-Wert im Reaktor

Der pH-Wert zählt zu den wichtigsten Parametern im Biogasprozess. So bedeutend dieses Merkmal für die Lebensbedingungen der Mikroorganismen ist, umso anspruchsvoller stellt sich die Aufgabe dar, einen Kompromiss zwischen den teilweise widersprüchlichen Anforderungen an den optimalen pH-Wert in den einzelnen Verfahrensstufen zu finden.

Die Bakterien in der acidogenen und acetogenen Phase (siehe Kapitel 3.2.2.1 „Reaktionsphasen des anaeroben Abbaus“) der anaeroben Nahrungskette bevorzugen einen pH-Wert von 6 bis 7, tolerieren allerdings auch saures Milieu.

Für die Methanbildner der letzten Stufe liegt das pH-Optimum aufgrund der syntrophen<sup>2)</sup> Propionatabbauer hingegen deutlich enger zwischen pH 6,8 bis 7,2. Verschärfend kommt noch eine Empfindlichkeit in Bezug auf niedrigere pH-Werte hinzu. [5, S. 59]

Daraus ergibt sich auf den ersten Blick der Eindruck, dass der Biogasprozess am effizientesten um den Neutralitätspunkt (pH 7) eingestellt werden muss. Jedoch unterläuft die Zusammensetzung des Inputmaterials je nach organischer Belastung während der Startphase des Reaktors eine Veränderung zugunsten ihrer Affinität zum Acetat. Dadurch sinkt der pH-Wert. Diesem Phänomen ist im Sinne einer ausbalancierten Nahrungskette entgegenzuwirken. Es findet sich in der Literatur als Forderung nach der „Alkalinität des Reaktormediums“. Als Messgröße wird dabei der Parameter Essigsäureäquivalente/Liter mit einem Regelwert von maximal 500 mg  $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}_{\text{eq}}/\text{l}$  für eine Nahrungskette im Gleichgewicht angegeben. Zur Kontrolle dieses Kennwerts und somit des Zustands der Vergärung eignet sich die Überprüfung der Fettsäurekonzentration, beispielsweise mittels Gaschromatographie. [5, S. 63]

Der Forderung nach der Alkalinität des Reaktormediums stellt sich allerdings die Hemmung der prozesstechnisch unerwünschten Propionsäure bei einem pH-Wert von 5 entgegen. Aus diesem Widerspruch für das letztendlich zu präferierende Milieu leitet sich ab, dass diese Maßnahme lediglich bei Einrichtung einer von der Methanstufe getrennten Hydrolysestufe zur Verfügung steht (siehe „Prozessführung“ im Kapitel 3.3.3 „Verfahrensmerkmale“ sowie „Trennung von Hydrolysestufe und Methanstufe gemäß der anaeroben Nahrungskette“ in diesem Kapitel weiter unten). [5, S. 59]

---

<sup>2)</sup> Syntrophe Bakterien sind Bakterien, die ohne  $\text{H}_2$ -verbrauchende Begleitbakterien thermodynamisch betrachtet keine Energie gewinnen können [5, S. 57].

Ein weiterer Aspekt, der die Bedeutung des pH-Werts unterstreicht, erwächst bei der Betrachtung der Konzentrationsverschiebung von elektrisch neutralem  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$  (HAc), Propionsäure (HPro) und  $\text{NH}_3$  in Abhängigkeit des pH-Werts, wie in Abbildung 6 dargestellt. Als charakteristisch ist festzustellen, dass sich  $\text{NH}_3$  entgegen der organischen Säuren und des  $\text{H}_2\text{S}$  nur im alkalischen Bereich bildet. [5, S. 66]

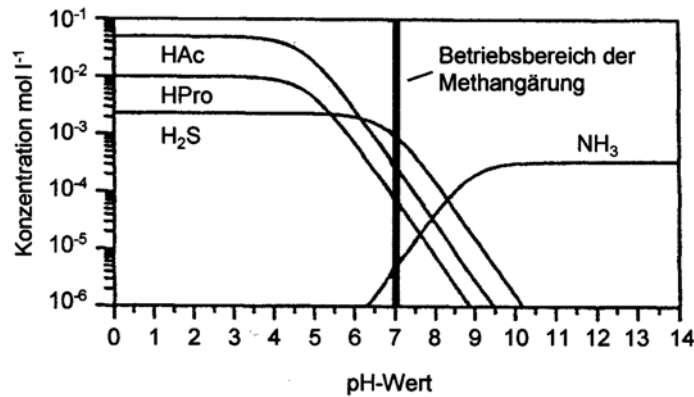


Abbildung 6: Konzentrationsverschiebung von HAc, HPro,  $\text{H}_2\text{S}$  und  $\text{NH}_3$  in Abhängigkeit des pH-Werts [5, S. 65]

#### Trennung von Hydrolysestufe und Methanstufe gemäß der anaeroben Nahrungskette

Die zweistufige Ausführung der Vergärung fand bereits unter dem Stichwort „Prozessführung“ im Kapitel 3.3.3 „Verfahrensmerkmale“ Beachtung. Hier soll einerseits zusammenfassend auf die Probleme eingegangen werden, die diese verfahrenstechnische Maßnahme als sinnvoll erscheinen lassen und andererseits werden in Tabelle 3 Steuerungsmöglichkeiten aufgezeigt, mithilfe derer eine separate, saure Hydrolysestufe bei der Feststoffvergärung erreicht werden kann.

Wie erwähnt reagieren methanogene Bakterien empfindlich auf den pH-Wert und meist auch auf Temperaturen unter  $30\text{ }^\circ\text{C}$ . Ebenfalls bereits diskutiert wurde die Gefahr einer Übersäuerung bei Substraten, die leicht in Säuren umgewandelt werden (z.B. Speisereste). Inputstoffe mit hohem N-Gehalt wie Gülle neigen zu einer  $\text{NH}_3$ -Hemmung, besonders bei einem Kohlenstoff : Stickstoff (C : N) Verhältnis kleiner als 15 : 1. Vorteile einer getrennten Methanstufe ergeben sich weiters aus der betriebssicheren Handhabung jenes letzten Verfahrensschrittes und der höheren Energieausbeute. Letzteres ist darauf zurückzuführen, dass Gase bereits in der Hydrolyse  $\text{CH}_4$ -Anteile besitzen, deren Nutzung aufgrund ihrer Geringfügigkeit ( $< 20\%$ ) nur in einer getrennten Methanstufe zugänglich sind. [5, S. 60]

Tabelle 3: Steuerungsmöglichkeiten zur Erreichung einer separaten, sauren Hydrolysestufe bei der Feststoffvergärung [5, S. 61]

Vorgabe	Folgewirkung
hohe Beladungsrate, kurze Verweilzeit	Begünstigung schnellwüchsiger (fakultativ anaerob) Bakterien, u.a. Säurebildner
limitierter Sauerstoffzutritt	Begünstigung fakultativ anaerober, hydrolytischer Bakterien, Hemmung von obligat anaeroben Methanbildnern
pH < 6	Begünstigung von Säurebildnern, Hemmung von Methanbildnern. < pH 5 auch Hemmung von Propionatbildung
T < 28 °C	Hemmung von Methanbildnern
T ≥ 60 °C, bei kurzen Verweilzeiten	Hemmung der Methanbildung durch Acetat. Auch Hemmung des Propionatabbaus

### 3.3.5 Gasertrag

Die Bestimmung der realen Gaserträge lässt im Vergleich zu theoretisch errechneten Werten Aussagen über den Abbaugrad zu. Aufgrund des geringen Einbaus von C in Biomasse ist die Verzerrung minimal, sodass der Abbaugrad allgemein als Qualitätsmerkmal der Vergärung gilt. In der Literatur werden für gemischte organische Abfälle maximale Biogaserträge von 800 bis 1000 Liter Gas pro Kilogramm organischer Inputrockensubstanz (oTS) angeführt, wobei Fett- und Eiweißanteile ertragssteigernd wirken und letztlich die gewonnene Menge Biogas auf Werte über 800 l/kg oTS heben können. [5, S. 70]

Abbildung 7 zeigt theoretisch mögliche Biogaserträge einiger Stoffgruppen. Unter den verglichenen Stoffgruppen sticht Lignin hervor, das keinen Beitrag zur erzielten Biogasmenge beisteuert. Auf die extrem geringe Abbaubarkeit von Lignin ist unter dem Schlagwort „Prozessführung“ in Kapitel 3.3.3 „Verfahrensmerkmale“ bereits hingewiesen worden. Das zweite Extremum nehmen die Fette ein. Eine reine Fettvergärung kann demnach theoretisch rund anderthalbmal so viel Biogas erzeugen wie ein durchschnittliches organisches Substrat.

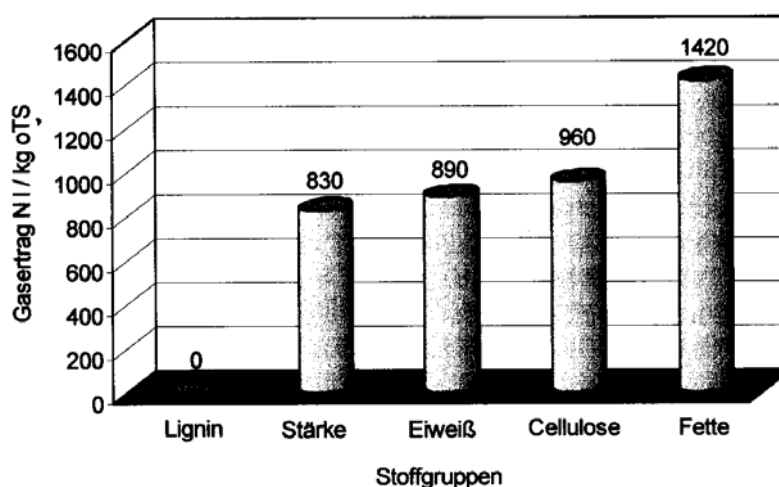


Abbildung 7: Theoretisch mögliche Biogaserträge einiger Stoffgruppen [5, S. 70]

### 3.4 Vorzüge der Abfallvergärung

Vergärungsverfahren bieten nicht nur die Möglichkeit einer effizienten Entsorgung, sondern auch jene der stofflichen und energetischen Verwertung von organischen Abfällen.

#### Abfallvergärung als Entsorgungsmaßnahme

Die Entsorgung von Abfällen verfolgt prinzipiell zwei Ziele. Zum einen ist durch eine Behandlung das inhärente Gefahrenpotential zu minimieren (qualitativer Aspekt) und zum zweiten soll die Gesellschaft der Sorge der mengenmäßigen Belastung durch die anfallenden Stoffe enthoben werden (quantitativer Aspekt).

Organische Abfälle besitzen einige Eigenschaften, die eine besondere Aufmerksamkeit in ihrer Handhabung verlangen. Im Speziellen muss ein Augenmerk auf die Geruchsbelästigung sowie die Gefahr von krankheitserregenden Keimen gelegt werden.

Im Zuge des Vergärungsprozesses erfolgt der Abbau von organischen flüchtigen, geruchsintensiven Stoffen. Anhand des Beispiels des Inputmaterials Gülle sollen folgend einige Vorteile dieser Entsorgungsschiene beleuchtet werden. Die olfaktorische Belastung, die von Gülle ausgeht, stellt einen bedeutenden Parameter in der Frage des Umgangs mit diesem Abfallstoff dar. Im Rahmen des Biogasprozesses findet eine Reduktion der geruchsaktiven Substanzen und organischen Säuren bis auf Konzentrationen um 0,5 g/l statt [13, S. 29]. Ein weiterer Vorteil wird anhand der Betrachtung der Emissionen bei der Lagerung von Gülle offenkundig. Es lassen sich für die Freisetzung von Lachgas ( $N_2O$ ),  $CH_4$  und  $CO_2$  an die Umwelt deutlich geringere Werte bei Messungen von vergorener Gülle gegenüber unbehandelter Gülle feststellen [13, S. 30]. Vom prozesstechnischen Standpunkt ist die Verbesserung der rheologischen Eigenschaften [13, S. 29] und somit erleichterte Handhabung des Abfalls zu nennen.

Es erfolgt ebenfalls eine Senkung der Keimbelastung und damit einhergehend des seuchenhygienischen Gefahrenpotentials. Allerdings ist in diesem Zusammenhang zu beachten, dass im mesophil betriebenen Reaktor keine ausreichende Reduzierung der Keimzahl gewährleistet ist [4, S. 101]. Für Anlagen, die Substrate in diesem Temperaturbereich verarbeiten, ist eine Hygienisierung vorzusehen (siehe Kapitel 3.3.2 „Hygienisierung von Inputmaterial“). Unter Berücksichtigung dieser Auflage erfüllt die Produktion von Biogas die obig aufgestellte Forderung nach qualitativer Entsorgung.

Ein Blick auf die C-Bilanz des Abbaus von häuslichem Bioabfall durch Vergärung mit nachgeschalteter Kompostierung (siehe Abbildung 8) verdeutlicht exemplarisch, dass Vergärungsverfahren auch einer quantitativen Entsorgung genügen. Nach dem Biogasprozess sind nur mehr 35 % des eingesetzten C vorhanden. Eine Kompostierung der Gärrückstände vermag den Anteil an verbleibendem C sogar auf 20 % zu senken.



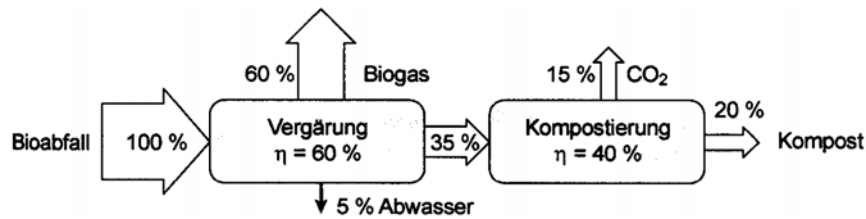


Abbildung 8: C-Bilanz der Vergärung von Bioabfall mit Nachkompostierung [4, S. 101]

Das Ausmaß der Abnahme an organischer Substanz durch die Fermentation hängt wesentlich von der Zusammensetzung des Substrats ab. Bei Milchviehgülle können beispielsweise aufgrund des hohen Rohfaseranteils im Futter lediglich etwa 30 % des organischen Materials abgebaut werden, während für Schweinegülle sich Werte bis zu 50 % und für Hühnergülle sogar bis zu 65 % erzielen lassen. [13, S. 29]

### Stoffliche Verwertung organischen Materials bei der Vergärung

Die stoffliche Verwertung findet unter Berücksichtigung der eingesetzten Materialien und der abfall- sowie düngemittelrechtlichen Bestimmungen überwiegend im Einsatz der Gärrückstände als Dünger in der Landwirtschaft statt. Dabei wird in Abhängigkeit der Eingangsmaterialien auf Gärrückstände mit den Begriffen Wirtschaftsdünger, organischer Dünger und Sekundärrohstoffdünger Bezug genommen. [13, S. 30]

Hierbei tritt die Eignung des stofflichen Outputs aus einer Co-Vergärung zur Düngung ohne vorhergehende Aufbereitung als Vorteil in Erscheinung (siehe „Inputmaterialien: Mono- / Co-Vergärung“ im Kapitel 3.3.3 „Verfahrensmerkmale“). Gärrückstände finden auch in der Produktion von hochwertigem Kompost eine stoffliche Verwertung.

### Sinnhaftigkeit der energetischen Verwertung organischen Materials bei der Vergärung

Wie in Kapitel 3.2.1 „Biogas als Produkt am Ende der anaeroben Nahrungskette“ ausgeführt, stellen Oxidationsvorgänge die Basis des Energiehaushalts von Organismen dar. Die Attraktivität der Nutzung des Energieinhalts aus der Vergärung von organischem Material für den Menschen liegt in der geringen Energieausbeute der Zelle aus der sauerstofffreien Oxidation begründet. Anaerobe Organismen vermögen im Vergleich zu aeroben Bakterien nur 5 % der Energie aus ihrem Stoffwechsel in Form von Adenosintriphosphat (ATP) zu gewinnen. Dieser geringe Energieertrag resultiert in der Bildung von äußerst geringen Mengen an Biomasse aus dem Vergärungsprozess. Vergärungsanlagen weisen Anteile an gebildeter, so genannter „überschüssiger“ Biomasse, zwischen 3 und 6 % des umgesetzten C auf. Im Gegensatz dazu steht der aerobe Abbau, der etwa 50 % des C erneut in Biomasse einbaut. [5, S. 46]

Somit wird die potentielle Energie aus den Abfallstoffen in der Vergärung nicht in die Produktion von neuer Biomasse eingesetzt, sondern bleibt durch den Prozess der anaeroben Verstoffwechslung hindurch erhalten.

Dadurch kann sie vom Mensch aus dem Reaktionsprodukt  $\text{CH}_4$  gewonnen werden. Bemerkenswert und zusätzlich vorteilhaft erweist sich, dass die Verringerung der Wachstumsgeschwindigkeit der Mikroorganismen aufgrund der Energieknappheit sich nicht hemmend auf die Abbauvorgänge auswirkt, da die Spaltung der Polymere durch Enzyme (siehe Stichwort „Hydrolyse“ in Kapitel 3.2.1.1 „Reaktionsphasen des anaeroben Abbaus“) ohne besonderen Energiegebrauch vonstatten geht. [5, S. 46]

Somit stellen Vergärungsverfahren durch die Erfüllung der an sie herangetragenen Anforderungen einerseits und die Sinnhaftigkeit der stofflichen wie energetischen Verwertung andererseits eine attraktive Entsorgungsoption dar.

### 3.5 Technische Nutzung von Biogas

Die Nutzung des Energieinhalts des Biogases erfolgt durch Umwandlung in Strom, Wärme und Kraftstoff. Abbildung 9 zeigt eine Übersicht der Nutzungsoptionen und Aufbereitungsschritte von Biogas. Die Gewichtung innerhalb der Einsatzbereiche ist jedoch nicht gleichmäßig verteilt. Derzeit nimmt der Einsatz in Blockheizkraftwerken (BHKW) zur Gewinnung von Strom und Wärme mehr als 90 % der Biogasproduktion ein. [6, S. 25]

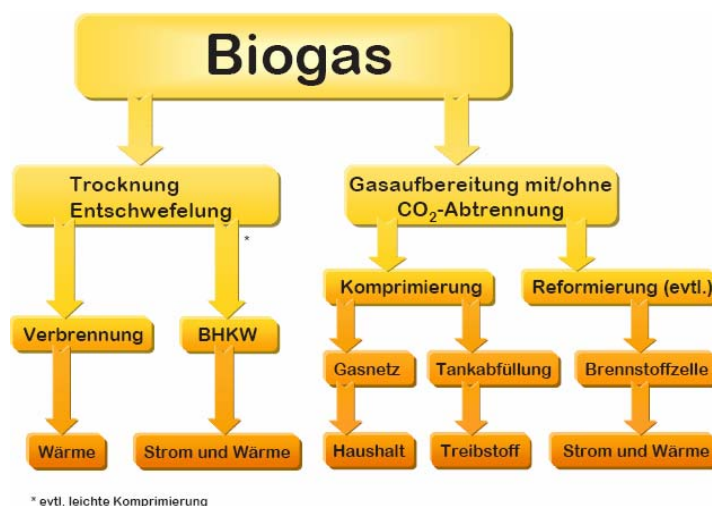


Abbildung 9: Nutzungsoptionen und Aufbereitungsschritte von Biogas [6, S. 25]

#### 3.5.1 Aufbereitung des Biogases

##### Entschwefelung

Die diversen Nutzungsvarianten bedingen je nach Anwendung eine spezifische Aufbereitung des Biogases (siehe auch Abbildung 9). In jedem Fall muss das Biogas aus dem Reaktor getrocknet und entschwefelt werden. Verbleibt der enthaltene  $\text{H}_2\text{S}$  (siehe „Zusammensetzung“ im Kapitel 3.1 „Chemisch-Physikalische Eigenschaften von Biogas“) im Biogas wird er bei der Verbrennung zu Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) oxidiert und kann gravierende Korrosionsprobleme in den nachgeschalteten Anlagenteilen nach sich ziehen.



Für die Entfernung des Schwefels (S) sind zurzeit drei Verfahren in Verwendung: Die biologische Entschwefelung durch Mikroorganismen, die Absorptionsentschwefelung und die chemische Entschwefelung.

Bei der biologischen Entschwefelung stehen zwei Ansätze zur Verfügung. Es kann einerseits 3-5 % Luft in den Gasraum geblasen werden (wobei auf eine strikte räumliche Trennung des Gasspeichers vom Reaktor zu achten ist, da der Eintrag von Luftsauerstoff in den Reaktor die für die Methanisierungsstufe essentiellen anaeroben Bedingungen verletzt). In diesem Verfahren sind Thiobacilli (Bakterien, die sich von S ernähren) dafür verantwortlich,  $H_2S$  zu elementarem S zu reduzieren, der sich an der Wand des Behälters abscheidet. Die zweite Methode besteht darin das Biogas über ein Festbett zu leiten, das schwefeloxidierende Mikroorganismen enthält. Das aufoxidierte Schwefeloxid (SO) löst sich dabei in einer flüssigen Phase. Die Absorptionsentschwefelung macht sich die katalytische Oxidation durch Raseneisenerz in einem trockenen Turmentschwefeler zunutze, um das Biogas seines Schwefelgehaltes zu entledigen. Die chemische Entschwefelung basiert auf der Zugabe von dreiwertigen Eisensalzen im Fermenter, die den S in schwerlöslichen Eisensulfiden binden. Die Eisensulfide sinken auf den Reaktorboden und können chemisch als Wertstoff rückgewonnen werden.

Keines dieser drei Verfahren gewährleistet eine vollständige Entfernung des S. Je nach ursprünglicher Belastung ist ein Verbleib von mehreren 100 ppm  $H_2S$  im Biogas zu beachten. [6, S. 24]

### Abtrennung des $CO_2$

Für die Verwendung von Biogas als Erdgasersatz (mittels Einspeisung in das Gasnetz oder als Kraftstoff) ist eine Abtrennung des  $CO_2$  vonnöten. Für diese Aufgabe sind zwei Methoden in Gebrauch: Die nasse Gaswäsche und das Kryoverfahren.

Die nasse Gaswäsche scheidet  $H_2S$  und  $CO_2$  in einem mehrstufigen Verfahren mit  $H_2O$  unter Druck ab, während das Kryoverfahren auf die unterschiedlichen Gefrierpunkte der Gase  $CO_2$  und  $CH_4$  als Trennungsmerkmal zurückgreift. Beide Ansätze arbeiten höchst effizient und produzieren Biogase mit 98 %  $CH_4$ -Gehalt und reines  $CO_2$ , das sich getrennt verkaufen lässt. [6, S. 24 u. S. 25]

### Entfernung sonstiger Probleminhaltsstoffe

Der Einsatz von Biogas in Brennstoffzellen erfordert Reinheitsgrade, die nur über aufwändige Verfahren unter Zuhilfenahme diverser Katalysatoren zu erreichen sind. In Oxidkeramischen Brennstoffzellen kann das derartig gereinigte Biogas direkt eingebracht werden. Die Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzelle hingegen erlaubt nur reines  $H_2$  als Treibstoff, der über den zusätzlichen Schritt eines Reformers aus dem reinen Biogas gewonnen werden kann. [6, S. 25]

### 3.5.2 Nutzungsmöglichkeiten

Eine Einteilung der Nutzung lässt sich orientiert nach den eben beschriebenen Aufbereitungsstufen von Biogas (Kapitel 3.5.1 „Aufbereitung des Biogases“) treffen.

#### Verbrennung in Kesseln und Einsatz in BHKWs

Die rudimentäre Forderung in der Aufbereitung nach Trocknung und Entschwefelung kann der direkten Verbrennung in Kesseln und dem Einsatz in BHKWs zugeordnet werden. Dabei stellt die direkte Verbrennung die einfachste Form der energetischen Verwertung dar. Sie zielt darauf ab, aus Biogas lediglich Wärme zu erzeugen und spielt in ihrer anteilmäßigen Bedeutung keine tragende Rolle.

Die Hauptanwendung von Biogas (> 90 %) kommt hingegen dem Betrieb von BHKWs zu. Dafür sind derzeit vier Aggregattypen in Verwendung: Gas-Otto-Motoren, Zündstrahlmotoren, Gas-Diesel-Motoren und Mikrogasturbinen. Tabelle 4 fasst die Merkmale dieser BHKW-Maschinensätze, gereiht nach steigender Leistung von links nach rechts, zusammen.

Tabelle 4: Unterscheidungsparameter von BHKW-Aggregaten [6, S. 26]

Aggregat-Typ	Gas-Otto-Motor	Zündstrahlmotor	Gas-Diesel-Motor	Mikrogasturbine
elektr. Wirkungsgrad	25-27 %	30-35 %	35-40 %	25-27 %
Leistungsbereich	< 30 kW <sub>el</sub>	30-150 kW <sub>el</sub>	> 150 kW <sub>el</sub>	> 200 kW <sub>el</sub>
Wartungsbedarf	hoch	hoch	niedrig	niedrig
Investitionskosten	niedrig	mittel	hoch	sehr hoch

Gas-Otto-Motoren kommen in kleinen Anlagen, d.h. in Anlagen < 30 kW<sub>el</sub> zum Einsatz. Sie zeichnen sich durch niedrige Investitionskosten und hohen Verschleiß und somit Wartungsbedarf aus.

Zündstrahlmotoren sind Dieselmotoren, bei denen dem Gas zur Gewährleistung eines betriebssicheren Gemisches 7-10 % Heizöl beigemischt wird. Der elektrische Wirkungsgrad ist hoch, allerdings trägt auch das Zündöl zu einem Teil der Leistung bei, was streng genommen aus der Betrachtung der Verwertung des Biogases ausgenommen, oder zumindest in einer Berechnung berücksichtigt werden sollte.

Gas-Diesel-Motoren eignen sich für die Verwendung in großen Anlagen ( $> 150 \text{ kW}_{\text{el}}$ ). Charakteristisch ist die Vorverdichtung des Biogases auf 80 mbar, wodurch kein Zündöl mehr notwendig ist. Vorteile ergeben sich aus dem höchsten elektrischen Wirkungsgrad der vier verglichenen Modelle und dem geringen Wartungsbedarf. Nachteilig wirkt sich die geringe Regelbarkeit aus. Diesem Phänomen kann mit der Auslegung der angestrebten Leistung in separat schaltbaren Modulen entgegnet werden.

Mikrogasturbinen werden unter besonderen Rahmenbedingungen eingesetzt, beispielsweise in sehr großen Anlagen ( $> 200 \text{ kW}_{\text{el}}$ ), oder bei Bedarf an hohen Dampftemperaturen ( $250\text{-}300 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Von Nachteil sind der niedere elektrische Wirkungsgrad und die sehr hohen Investitionskosten.

### Einspeisung in ein Gasnetz

Die Einspeisung von Biogas in ein Niederdruckgasnetz stellt höhere Ansprüche an seine Qualität. Dabei handelt es sich in erster Linie um eine Aufkonzentrierung des  $\text{CH}_4$ -Gehalts durch Abtrennung des  $\text{CO}_2$ -Anteils, wie bereits unter dem Begriff „Abtrennung des  $\text{CO}_2$ “ in Kapitel 3.5.1 „Aufbereitung des Biogases“ ausgeführt. [6, S. 26]

### Einsatz in Brennstoffzellen

Der Einsatz von Biogas in Brennstoffzellen ist technologisch bereits möglich, allerdings wirtschaftlich, bedingt durch die geringen Produktionszahlen, zumeist noch in Frage gestellt. Tabelle 5 bietet einen Überblick über verfügbare Typen und deren Eigenschaften.

Tabelle 5: Typen von Brennstoffzellen (englisch FC = fuel cell) und deren Eigenschaften [6, S. 26]

AFC	Die Alkalische Brennstoffzelle: bereits in den fünfziger und sechziger Jahren entwickelt, sehr teuer in der Anwendung
PEMFC	Die Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzelle: hocheffektiv, 60 % elektrischer Wirkungsgrad, aber hohe Ansprüche an die Reinheit des Wasserstoffs
PAFC	Die Phosphorsaure Brennstoffzelle, ist bereits kommerziell verfügbar, kann mit Erdgas oder Biogas betrieben werden, wobei in einem Reformer der Wasserstoff aus diesen Gasen aufbereitet wird, 42 % elektrischer Wirkungsgrad
MCFC	Die Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle: wird bei sehr hohen Temperaturen ( $650 \text{ }^\circ\text{C}$ ) betrieben und kann daher ohne vorherigen Reformerprozess mit Erdgas oder Biogas betrieben werden, elektrischer Wirkungsgrad über 50 %, noch in Entwicklung
SOFC	Die Oxidkeramische Brennstoffzelle: mit $800\text{-}1000 \text{ }^\circ\text{C}$ noch höhere Betriebstemperatur als MCFC und kann auch mit Erdgas oder Biogas direkt betrieben werden, durch nachgeschaltetes Gas- oder Dampfturbinenkraftwerk kann der elektrische Wirkungsgrad auf 70 % gesteigert werden; in der Entwicklung weniger weit als MCFC

## 4 Datenerhebung der Biogasanlagen

### 4.1 Vorgangsweise und Bezugsquellen

In einem ersten Schritt wurden in einer Telefonrecherche die Betreiber der steiermärkischen Biogasanlagen ausfindig gemacht. Auf Basis von Adresslisten der „Lokalen Energie Agentur Oststeiermark“ (LEA, Ing. Karl Puchas), der „Bioenergie-Service reg. GenmbH“ (Ing. Franz Moser) sowie des abteilungsinternen Anlagenkatasters konnte eine Datenbank mit 46 Anlagenbetreibern zusammengestellt werden.

Aufgrund der Erfahrung in der Abteilung mit einer geringen Rücklaufquote der Fragebögen rechnen zu müssen, war der Herstellung eines persönlichen Kontakts zu den Anlagenbetreibern eine besondere Bedeutung beigemessen, woraus eine fruchtbare Kollaboration zwischen den Kontaktpersonen und der FA19D erwuchs.

Diese enge Zusammenarbeit ermöglichte es, sich Synergieeffekte zu Nutze zu machen und vier der ursprünglich angeführten Anlagen als nicht mehr in Betrieb befindlich, als nicht existent, als doppelt geführter redundanter Eintrag sowie als nicht realisiertes Projekt zu identifizieren und von der Liste zu nehmen. Des Weiteren konnte die Datenbank gemäß den Zielen dieser Studie auf das Einzugsgebiet Steiermark spezifiziert werden, in dem ein Betreiber, dessen Abnehmer von Wärme und Strom sich zwar in der Steiermark befindet, dessen Anlage allerdings außerhalb der definierten Systemgrenze Steiermark liegt, nicht in der statistischen Auswertung Berücksichtigung gefunden hat. Lediglich ein Betreiber war trotz wiederholten telefonischen Urgierens nicht bereit, den Fragebogen zu returnieren.

Daraus ergibt sich ein endgültiges Datenmaterial aus 40 Anlagen, von denen vier zum Zeitpunkt der Erhebung (Juli 2005) bereits errichtet waren, sich jedoch noch nicht in Betrieb bzw. erst in Projektierung befanden. Dieser 10 %ige Anteil der Biogasanlagen in der Steiermark wurde in der Datenaufbereitung getrennt unter dem Begriff „In Planung“ zusammengefasst und verarbeitet, während auf die restlichen 36 Anlagen mit dem Begriff „In Betrieb“ Bezug genommen wird.

Zur Abfragung der gewünschten Informationen wurde ein eigener Fragebogen „Informationsblatt Biogasanlagen Steiermark“<sup>3)</sup> entworfen.

---

<sup>3)</sup> Aus Datenschutzgründen hat die Dateninhaberin (FA19D) die Anführung der ausgefüllten und bearbeiteten Fragebögen untersagt. Deshalb darf zur Einsicht dieser detaillierten Informationen auf den Projektbericht „Biogasanlagen in der Steiermark – Eine Bestandsaufnahme per Juli 2005“, Anhang S. III-LXVI [9, Anhang S. III-LXVI] verwiesen werden.

In Abbildung 10 ist eine Landkarte der Steiermark mit den eingetragenen Biogasanlagen dargestellt. Hierzu ist zu bemerken, dass als Anlagenstandort in erster Näherung der Gemeindemittelpunkt der betreffenden Ortschaft angenommen wurde und eine Anlage nicht im Geographischen Informationssystem (GIS) der FA19D gefunden werden konnte und somit in der Eintragung fehlt. Diese Anlage hat aber selbstverständlich Eingang in die statistische Auswertung gefunden.

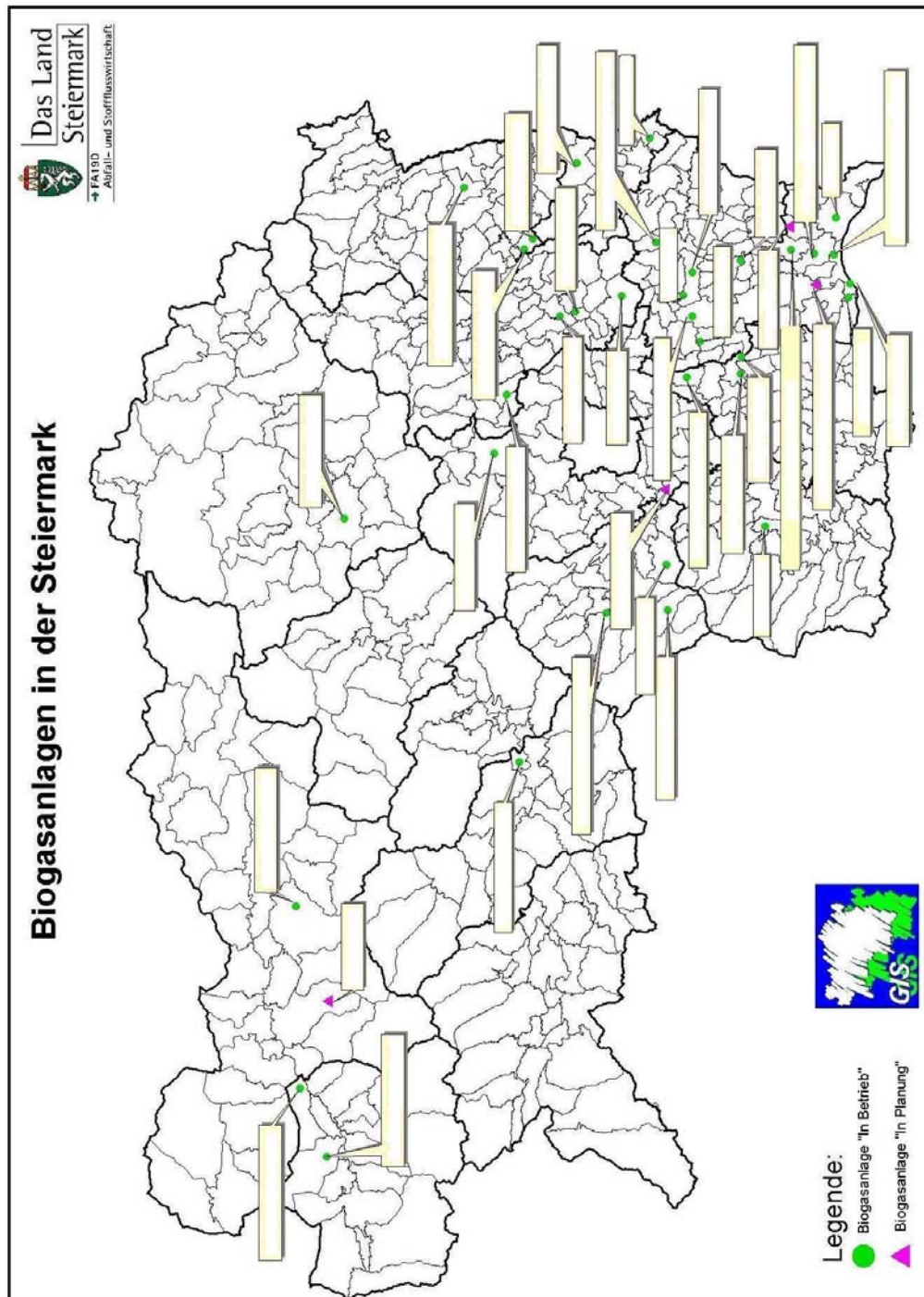


Abbildung 10: Karte: Biogasanlagen in der Steiermark

## 4.2 Berechnungsweise

Um ein effizientes, vergleichendes Datenmanagement zu gewährleisten wurden sämtliche Mengenangaben auf die Masseinheit Tonnen/Jahr (t/a) normiert. Die für diese Umrechnungen benötigten Materialdichten konnten einerseits teilweise von den Anlagenbetreibern erfragt, andererseits in Absprache mit der Betreuerin der FA19D geschätzt werden. Eine vollständige Auflistung der verwendeten Materialdichten findet sich im „Anhang A Materialdichten“.

Alle Werte in diesem Bericht wurden zwecks anschaulicher Handhabung nach folgenden Regeln gerundet.

- Abrundung von Zahlenwerten 1-4
- Aufrundung von Zahlenwerten 5-9
- Rundung von sechsstelligen Zahlen auf volle 1000er
- Rundung von fünfstelligen, vierstelligen und dreistelligen Zahlen auf volle 100er
- Rundung nur von Endergebnissen
- Keine weiteren Berechnungen mit gerundeten Werten (Vermeidung einer doppelten Rundung). Im Bedarfsfall von Zwischenergebnissen bzw. Gesamtsummen über mehrere Rubriken, die ihrerseits bereits als Endergebnis gerundet worden waren, wurde jene Summe explizit mit den exakten Werten berechnet und dieses Endergebnis gerundet

Aufgrund dieser Bestimmungen kann gegebenenfalls die Summe einzelner Zwischensummen von dem im Text angegebenen Wert abweichen. Diese Stellen sind mit einer Fußnote und einem Verweis auf obige Rundungsregeln in diesem Kapitel versehen.

Eine detaillierte Auflistung sämtlicher Berechnungen ist im „Anhang B Kalkulationstabellen“ einzusehen.



## 5 Auswertung der Fragebögen

Der Fragebogen „Informationsblatt Biogasanlagen Steiermark“ gliedert sich in die sieben Unterpunkte „Betreiber“, „Bescheid“, „Prozess“, „Betrieb“, „Durchmischung“, „Input“ und „Output“ (siehe „Anhang C Fragebogen leer“). In diesem Kapitel wird die Auswertung dieser Merkmale einer Biogasanlage in derselben Reihenfolge, wie diese im Fragebogen angeführt sind, präsentiert. Lediglich die Bereiche „Input“ und „Output“ werden als Einheit unter der Überschrift „Stoffflusswirtschaftliche Betrachtung“ dargestellt.

Aus Gründen der einfachen Handhabung ist der Fragebogen prinzipiell darauf ausgelegt, mit „Ja“ und „Nein“ entsprechend des zutreffenden oder nicht zutreffenden Merkmals beantwortet zu werden. Nur in einzelnen Punkten, in denen eine detaillierte Information unumgänglich ist, wurden konkrete Daten verlangt.

Im ersten Unterpunkt des Fragebogens „Betreiber“ finden sich die Kontaktdaten der Anlagenbetreiber. Diese Daten wurden keiner statistischen Auswertung unterzogen. Somit ergeben sich für das Kapitel 5 „Auswertung der Fragebögen“ die fünf Unterkapitel 5.1 „Bescheid“, 5.2 „Prozess“, 5.3 „Betrieb“, 5.4 „Durchmischung“ und 5.5 „Stoffflusswirtschaftliche Betrachtung“.

Wie in Kapitel 4.1 „Vorgangsweise und Bezugsquellen“ bereits erwähnt, lässt sich die Gesamtheit der Anlagen in die Kategorien „In Betrieb“ und „In Planung“ unterteilen. Es werden in jedem Unterkapitel unter der Überschrift I zuerst die Anlagen „In Betrieb“ und anschließend unter der Überschrift II jene „In Planung“ behandelt.

### 5.1 Bescheid

#### 5.1.1 Datum des Genehmigungsbescheids

Im Sinne einer effektiven Handhabung der Genehmigungsdaten wurden die Anlagen in die sieben Gruppen „1980iger“ (Datum des Genehmigungsbescheids zwischen 1980-1989), „1990iger“ (Datum des Genehmigungsbescheids zwischen 1990-1999), „2000“, „2001“, „2002“, „2003“ und „2004“ eingeteilt, wobei jeweils die erstmalige Genehmigung der Anlage zur Auswertung herangezogen wurde. Daraus ergibt sich, dass eventuelle Genehmigungen zur Erweiterung einer Anlage nicht in die Darstellung einbezogen sind.

I Anlagen „In Betrieb“

Die nachstehende Abbildung 11 zeigt die Entwicklung der Genehmigungen von Biogasanlagen „In Betrieb“ seit den 1980iger Jahren. Die steigende Bedeutung von Biogasanlagen in der Abfallbehandlung ist deutlich am Wachstumstrend in den letzten Jahren zu erkennen. Im Jahr 2004 ist elf Konsenswerbern die Genehmigung zur Errichtung und Betrieb einer Biogasanlage erteilt worden. Dies entspricht der Summe der Genehmigungen dieser Kategorie in den beiden Jahren zuvor (2002, 2003) oder auch der Gesamtzahl an Genehmigungen dieser Kategorie der beiden letzten Jahrzehnte des vorigen Jahrhunderts (1980-1999).

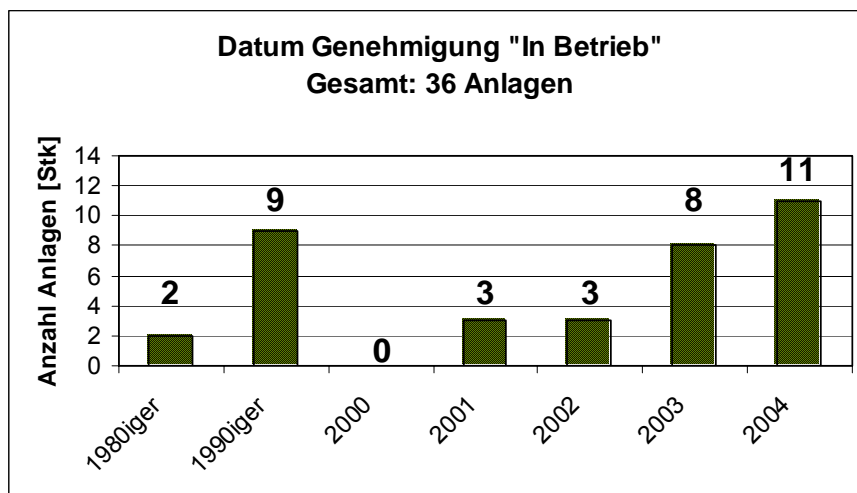


Abbildung 11: Verteilung der Anlagen: Genehmigungen „In Betrieb“

II Anlagen „In Planung“

In Abbildung 12 ist der status quo der Genehmigungen von Anlagen „In Planung“ ersichtlich. Die vier Anlagen dieser Kategorie teilen sich vom Standpunkt des Genehmigungsdatums in den Jahren 2002, 2003 und 2004 im Verhältnis 1 : 2 : 1 auf.

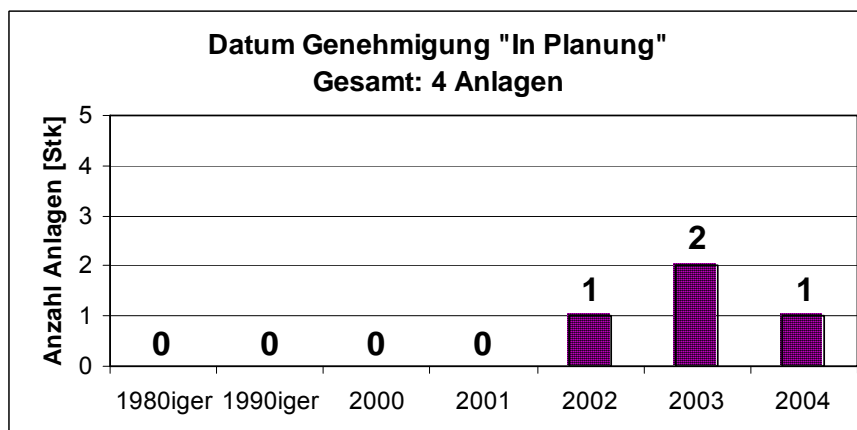


Abbildung 12: Verteilung der Anlagen: Genehmigungen „In Planung“



## 5.1.2 Bewilligungsverfahren

Die Biogasanlagen in der Steiermark können eingeteilt werden in Bewilligungsverfahren nach der Gewerbeordnung (GewO), dem Wasserrechtsgesetz (WRG), nach einer kombinierten Genehmigung nach der Gewerbeordnung und dem Wasserrechtsgesetz (GewO+WRG), nach dem Abfallwirtschaftsgesetz (AWG) und nach dem steiermärkischen Gasgesetz (Gasgesetz). Fünf Betreiber haben in dieser Rubrik keine Angaben gemacht. Daraus ergeben sich die sechs Kategorien GewO, WRG, GewO+WRG, AWG, Gasgesetz und k.A. (keine Angaben in der gesamten Rubrik) in den Diagrammen.

### I Anlagen „In Betrieb“

Abbildung 13 zeigt die Verteilung der Anlagen „In Betrieb“ nach Bewilligungsverfahren. Herausragend ist der überwiegende Anteil von Genehmigungen nach der Gewerbeordnung. Mehr als die Hälfte der Biogasanlagen dieser Kategorie sind nach dieser Rechtsgrundlage bewilligt.

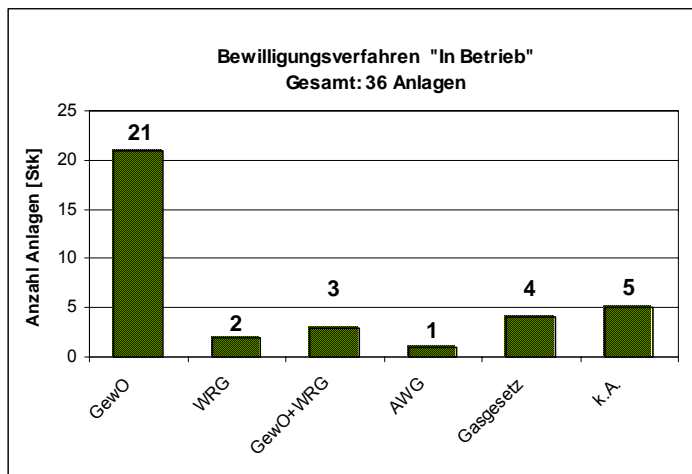


Abbildung 13: Verteilung der Anlagen: Bewilligungsverfahren „In Betrieb“

### II Anlagen „In Planung“

Abbildung 14 hebt den Trend nach Bewilligung nach der Gewerbeordnung bei den Anlagen „In Planung“ noch deutlicher hervor. Sämtliche Anlagen dieser Kategorie wurden nach dieser Rechtsgrundlage bewilligt.

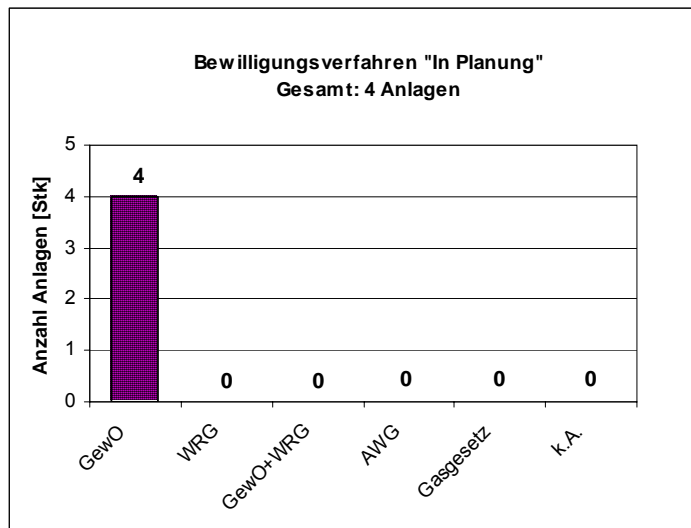


Abbildung 14: Verteilung der Anlagen: Bewilligungsverfahren „In Planung“

## 5.2 Prozess

Zum besseren Verständnis ist der Interpretation der Ergebnisse dieses Fragebogenabschnitts eine Beschreibung der abgefragten Prozessparameter sowie der Besonderheiten in der Auswertung vorangestellt.

- Prozesstemperatur

Wie in Kapitel 3.3.2 „Hygienisierung von Inputmaterial“ bereits diskutiert, kommt der Prozesstemperatur im Hinblick auf eine eventuelle Hygienisierung eine besondere Bedeutung zu. An dieser Stelle soll lediglich auf die Unterscheidung zwischen thermophil und mesophil und die fehlende Einheitlichkeit einer Definition in der Literatur sowie auf die daraus erwachsenen Grenzziehungen für diese Arbeit eingegangen werden.

Generell bezeichnen die beiden Begriffe thermophil und mesophil den Parameter Temperatur, unter der entsprechend thermophil bzw. mesophil benannte Mikroorganismen, die das Herzstück des Fermentationsprozesses darstellen, vom Standpunkt der Umgebungstemperatur ideale Lebensbedingungen auffinden. Die Grenze zwischen mesophiler und thermophiler Prozessführung ist in der Literatur nicht eindeutig definiert. (siehe dazu auch Kapitel 2 „Begriffe und Definitionen“). In fachlicher Abstimmung mit der Betreuerin der FA19D wurde die Grenze bei 50 °C gezogen. Somit ist für diese Arbeit eine Prozesstemperatur von 50 °C oder höher als thermophil definiert.

- Trockenmasse

Anhand des Anteils an Trockenmasse (TM) im Fermenter lässt sich der Vergärungsprozess in eine Nassvergärung (< 15 % TM) und eine Trockenvergärung (20-40 % TM) unterteilen.

- Betrieb 1-stufig / 2-stufig

Unter bestimmten Bedingungen ist es sinnvoll die Hydrolyse von der Methanisierung prozesstechnisch zu trennen (siehe „Prozessführung“ im Kapitel 3.3.3 „Verfahrensmerkmale“). Leider hat dieser Punkt im Fragebogen bei vielen Betreibern zu Missverständnissen geführt, da unter der Überschrift „Betrieb 1-stufig / 2-stufig“ oftmals die Vor- bzw. Nachfermentation verstanden wurde. Da es nicht möglich war, alle Betreiber nochmals telefonisch zu erreichen und diesen Punkt abzuklären, wurde dieser Aspekt der Prozessführung aus der Auswertung herausgenommen.

- Mono- / Co-Vergärung

Der Unterscheidung hinsichtlich der eingesetzten Materialien wurde im Detail unter dem Stichwort „Inputmaterialien: Mono- / Co-Vergärung“ im Kapitel 3.3.3 „Verfahrensmerkmale“ Rechnung getragen.

- Hygienisierung

Für den Fall eines vorhandenen Hygienisierungsaggregats sieht das Datenblatt Angaben zu den charakteristischen Hygienisierungsparametern Temperatur [°C], Druck [bar], Verweildauer [min] und Größtkorn [mm] vor. Diese Detailinformation wurde jedoch aufgrund der geringen Anzahl von installierten Hygienisierungsvorrichtungen als nicht signifikant für das Gesamtbild befunden. Deshalb beschränkt sich die Auswertung dieses Parameters auf die Abfrage nach einer vorhandenen bzw. nicht vorhandenen Hygienisierungsanlage <sup>4)</sup>.

### I Anlagen „In Betrieb“

Abbildung 15 zeigt die Verteilung der Anlagen „In Betrieb“ in Bezug auf die abgefragten Prozessparameter. Herausragend ist der überwiegende Anteil der Prozessführung bei weniger als 50 °C, unter Bedingungen der Nassvergärung und als Co-Vergärung. Mehr als die Hälfte der Betreiber dieser Kategorie gibt an, keine Hygienisierung vorgeschaltet zu haben. Aufgrund von fehlenden Angaben seitens der Betreiber stimmt die Summe der Segmente für die abgefragten Parameter Trockenmasse (35) und Hygienisierung (28) nicht mit der Gesamtsumme der Biogasanlagen „In Betrieb“ (36) überein.

---

<sup>4)</sup> Aus Datenschutzgründen hat die Dateninhaberin (FA19D) die Anführung der ausgefüllten und bearbeiteten Fragebögen untersagt. Deshalb darf zur Einsicht dieser detaillierten Informationen auf den Projektbericht „Biogasanlagen in der Steiermark – Eine Bestandsaufnahme per Juli 2005“, Anhang S. III-LXVI [9, Anhang S. III-LXVI] verwiesen werden.

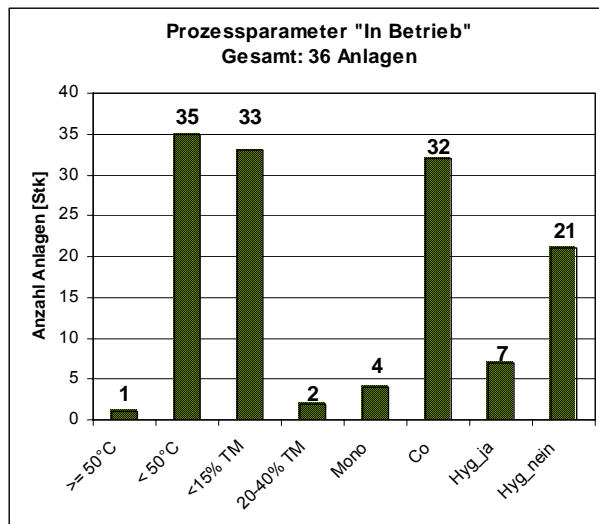


Abbildung 15: Verteilung der Anlagen: Prozessparameter „In Betrieb“

### II Anlagen „In Planung“

Abbildung 16 hebt den Trend nach Prozessführung unter weniger als 50 °C sowie unter Bedingungen der Nassvergärung bei den Anlagen „In Planung“ noch deutlicher hervor. Sämtliche Anlagen dieser Kategorie werden mesophil bzw. unter Nassvergärung betrieben. Bei der Verteilung der Anzahl der eingebrachten Substratarten herrscht unter den Anlagen „In Planung“ ein Gleichgewicht. Jeweils 50 % werden als Co- bzw. Mono-Vergärung angegeben. Der Parameter Hygienisierung ist durch ein weniger stark ausgeprägtes Übergewicht der Anlagen „In Planung“ ohne eine derartige Einrichtung charakterisiert. Doppelt so viele Anlagen „In Planung“ verzichten auf eine Hygienisierung. Aufgrund von fehlenden Angaben seitens der Betreiber stimmt die Summe der Segmente für den abgefragten Parameter Hygienisierung (3) nicht mit der Gesamtsumme der Biogasanlagen „In Planung“ (4) überein.

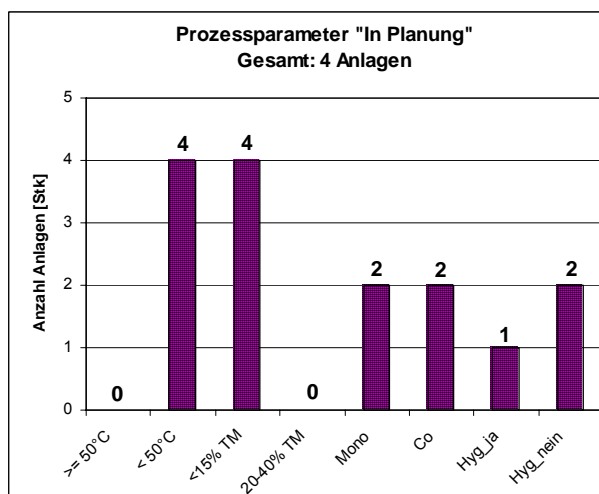


Abbildung 16: Verteilung der Anlagen: Prozessparameter „In Planung“

### 5.3 Betrieb

In diesem Unterkapitel wurde der Schwerpunkt in die Auswertung der Beschickungsart „Batch“, „Fed-Batch“ und „kontinuierlich“ der Fermenter gelegt. Unter einem „Batch“-betriebenen Fermenter wird ein diskontinuierlicher Betrieb verstanden. Der Reaktor wird beschickt und erst nach Ende der Reaktion entleert. In einem „Fed-Batch“ betriebenen Fermenter läuft der Reaktor kontinuierlich, während Beschickung und Entleerung diskontinuierlich erfolgen. Ein „kontinuierlich“ betriebener Fermenter letztlich wird quasi im Endlosbetrieb gefahren. Es wird im gleichen Ausmaß frisches Substrat nachgeliefert, wie ausreagiertes Substrat abgezogen. Die Information bezüglich eines Voll- oder Probetriebes wurde hingegen in Absprache mit der Betreuerin der FA19D als von untergeordneter Bedeutung eingestuft und deshalb nicht in die detaillierte Auswertung aufgenommen <sup>5)</sup>.

#### I Anlagen „In Betrieb“

Abbildung 17 zeigt die Verteilung der Anlagen „In Betrieb“ in Bezug auf Beschickungsarten der Fermenter. Die überwiegende Mehrheit von 28 der 36 Betreiber dieser Kategorie (rund 78 %) hat sich für einen kontinuierlichen Betrieb entschieden. Die zweitgrößte Gruppe hat eine Kombination eines „Fed-Batch“ Betriebs mit der kontinuierlichen Betriebsweise gewählt, macht allerdings nur einen Anteil von rund 8 % der Anlagen „In Betrieb“ aus.

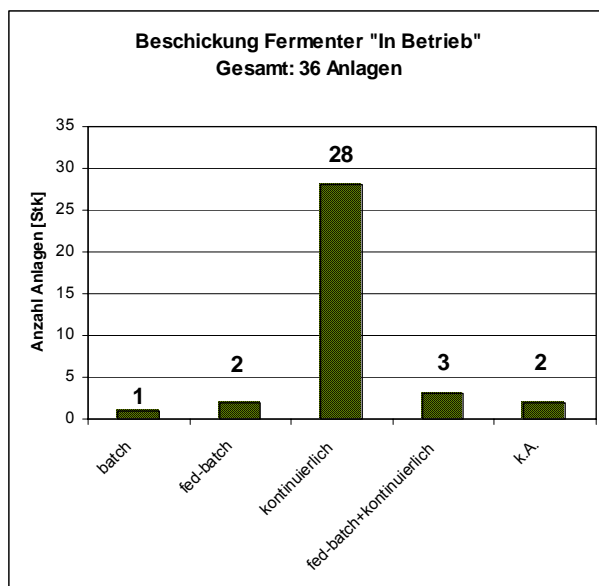


Abbildung 17: Verteilung der Anlagen: Beschickungsarten „In Betrieb“

<sup>5)</sup> Aus Datenschutzgründen hat die Dateninhaberin (FA19D) die Anführung der ausgefüllten und bearbeiteten Fragebögen untersagt. Deshalb darf zur Einsicht dieser detaillierten Informationen auf den Projektbericht „Biogasanlagen in der Steiermark – Eine Bestandsaufnahme per Juli 2005“, Anhang S. III-LXVI [9, Anhang S. III-LXVI] verwiesen werden.

## II Anlagen „In Planung“

Abbildung 18 ist ersichtlich, dass sich die Vorherrschaft der kontinuierlichen Beschickung der Fermenter auch bei den Anlagen „In Planung“ fortsetzt. Drei der vier Betreiber dieser Kategorie haben sich für diese Betriebsart entschieden.

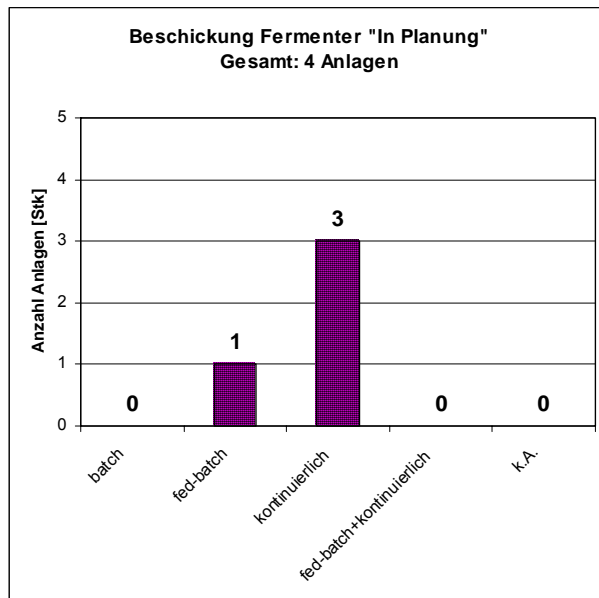


Abbildung 18: Verteilung der Anlagen: Beschickungsarten „In Planung“

## 5.4 Durchmischung

Die Funktion der Durchmischung des Substrats im Fermenter wurde bereits in Kapitel 3.3.3 „Verfahrensmerkmale“ diskutiert. Sie dient der Homogenisierung von Nährstoffen und Mikroorganismen und zieht in der Folge eine Erhöhung der (Gas)ausbeute und auch eine Verkürzung der Verweildauer des Substrats im Reaktor nach sich. Es sind drei Arten der Durchmischung in Gebrauch: Mechanisch, hydraulisch und pneumatisch, die nach Bedarf auch kombiniert werden können.

### I Anlagen „In Betrieb“

Abbildung 19 zeigt die Verteilung der Anlagen „In Betrieb“ in Bezug auf Durchmischungsarten der Fermenter. Die überwiegende Mehrheit von 30 der 36 Betreiber dieser Kategorie (rund 83 %) hat sich für eine mechanische Durchmischung entschieden. Diese Gruppe ist zehnmal so stark vertreten wie die zweitgrößte Fraktion, jene die eine kombinierte mechanisch-hydraulische Durchmischung gewählt haben.

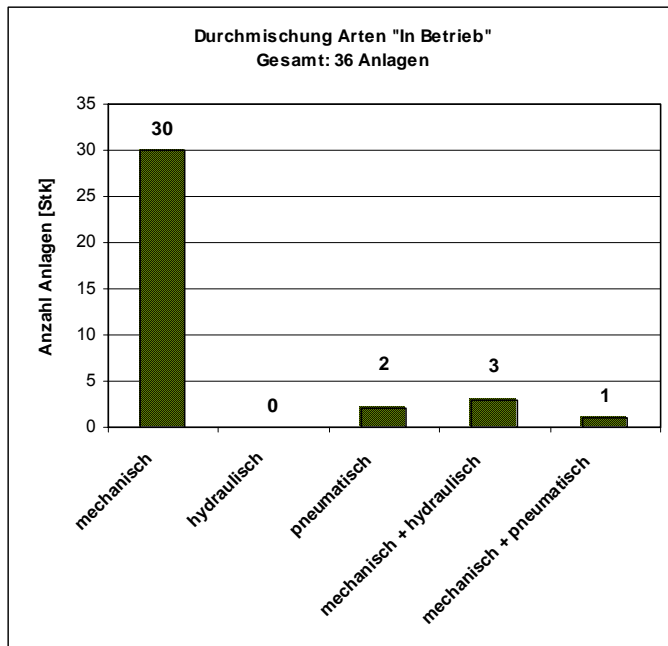


Abbildung 19: Verteilung der Anlagen: Durchmischungsarten „In Betrieb“

II Anlagen „In Planung“

In der nachstehenden Abbildung 20 ist ersichtlich, dass sich die Vorherrschaft der mechanischen Durchmischung der Fermenter auch bei den Anlagen „In Planung“ fortsetzt. Alle vier Betreiber dieser Kategorie haben sich für diese Betriebsart entschieden.

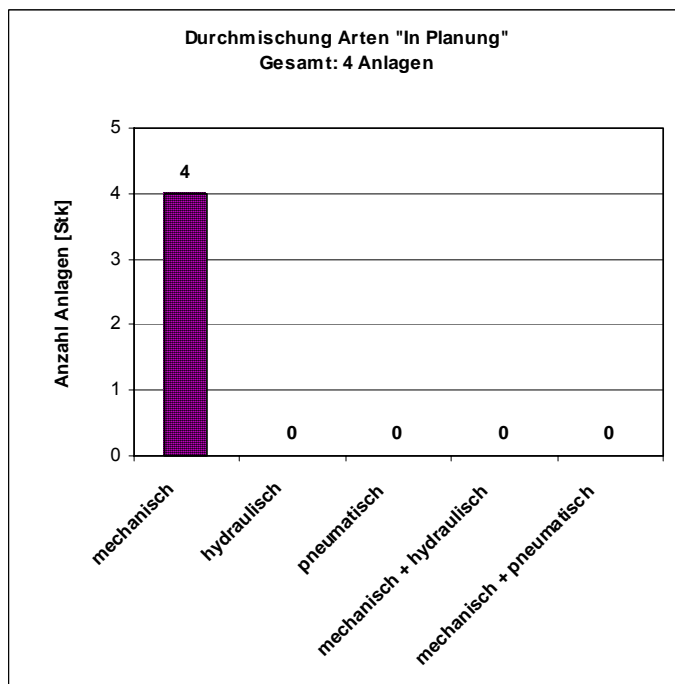


Abbildung 20: Verteilung der Anlagen: Durchmischungsarten „In Planung“

## 5.5 Stoffflusswirtschaftliche Betrachtung

Die stoffflusswirtschaftliche Betrachtung stellt gemäß den Zielvorgaben (siehe Kapitel 1.2 „Zielsetzung“) einen der Schwerpunkte dieser Arbeit dar. In diesem Kapitel soll ein Eindruck der Stoffflussarten von Biogasanlagen, wie auch deren Größenordnung, vermittelt werden. Dazu wurde die Gesamtheit der Stoffflüsse in die zwei Gruppen „Inputmaterial“ (Kapitel 5.5.1) und „Output“ (Kapitel 5.5.2) unterteilt. Es wird stets zuerst ein Überblick über die Verteilung der Anzahl der Anlagen des jeweiligen Punktes vermittelt und im Anschluss die mengenmäßige Aufstellung präsentiert.

### 5.5.1 Inputmaterial

Unter Inputmaterial werden in dieser Arbeit jene Substanzen verstanden, die in die Biogasanlagen als Substrate eingebracht werden. Der Fragebogen spezifiziert die Materialien nach den Merkmalen „Material“, „Schlüsselnummer“, „Herkunft“ und „Menge“. In der Spalte „Material“ findet sich eine kurze Bezeichnung der Substanz in Worten<sup>6)</sup>. Für die Spalte „Schlüsselnummer“ war die Eintragung der Abfallschlüsselnummern der Inputsubstanzen vorgesehen. Da die Mehrheit der Betreiber zu diesem Punkt keine oder nur unzureichende Angaben gemacht hat, entfällt die Auswertung nach den Schlüsselnummern.

Aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften und in der Folge stark divergierenden Verarbeitungsvorschriften von Substanzen landwirtschaftlichen und gewerblichen Ursprungs (siehe Kapitel 3.3.2 „Hygienisierung von Inputmaterial“), erschien eine Gliederung der Inputmaterialien in die beiden Gruppen „Herkunft: Landwirtschaft“ und „Herkunft: Gewerbe“ sinnvoll. Diese Einteilung schließt jedoch eine Mehrfachnennung in beiden Gruppen von einzelnen Betreibern nicht aus (für die detaillierte Auflistung und Berechnung siehe „Anhang B Kalkulationstabellen“).

Des Weiteren wurde der Vielzahl von Inputmaterialien durch die nochmalige Unterteilung der Gruppe „Herkunft: Landwirtschaft“ in die Kategorien I-III sowie der Gruppe „Herkunft: Gewerbe“ in die Kategorien IV-VII Rechnung getragen. Tabelle 6 zeigt eine Aufstellung und Bezeichnung der einzelnen Kategorien.

---

<sup>6)</sup> Aus Datenschutzgründen hat die Dateninhaberin (FA19D) die Anführung der ausgefüllten und bearbeiteten Fragebögen untersagt. Deshalb darf zur Einsicht dieser detaillierten Informationen auf den Projektbericht „Biogasanlagen in der Steiermark – Eine Bestandsaufnahme per Juli 2005“, Anhang S. III-LXVI [9, Anhang S. III-LXVI] verwiesen werden.



Tabelle 6: Kategorien der Inputmaterialien

Unterteilung der Inputmaterialien	
Herkunft	
Landwirtschaft	
	Kat I = Kategorie I = Wirtschaftsdünger Kat II = Kategorie II = landwirtschaftliche Reststoffe Kat III = Kategorie III = Silage
Gewerbe	
	Kat IV = Kategorie IV = Altfette Kat V = Kategorie V = Speisereste Kat VI = Kategorie VI = Lebensmittelindustrie Kat VII = Kategorie VII = ausgestufte gefährliche Abfälle

Um den Zugriff auf die Daten zu erleichtern, wird die Auswertung der jeweiligen Gruppe „Herkunft: Landwirtschaft“ bzw. „Herkunft: Gewerbe“ mit einer eigenen Überschrift präsentiert und anschließend in einer Gesamtdarstellung zusammengefasst.

### I Anlagen „In Betrieb“

#### Inputmaterial aus der Landwirtschaft

Abbildung 21 zeigt die Verteilung der Anlagen „In Betrieb“ in Bezug auf die Herkunft des Inputmaterials aus der Landwirtschaft. Aufgrund von Mehrfachnennungen von Kategorien in manchen Betrieben übersteigt die Summe an Nennungen die Gesamtzahl der Betreiber (für die detaillierte Auflistung und Berechnung siehe „Anhang B Kalkulationstabellen“).

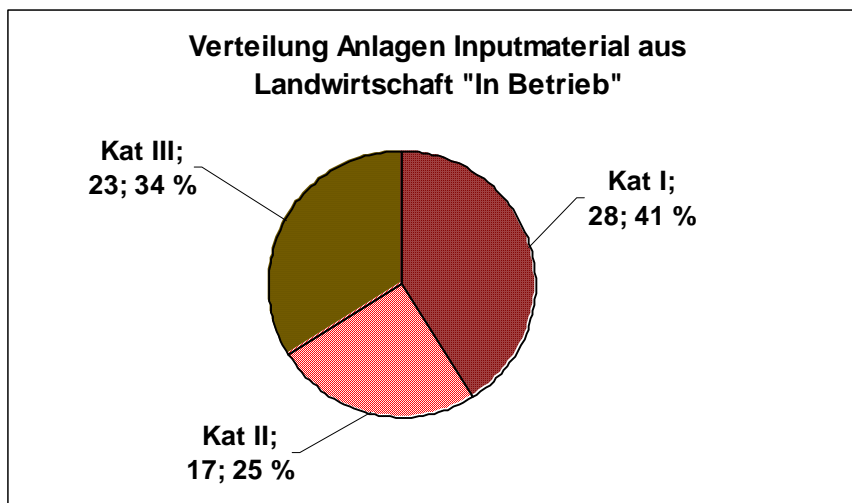


Abbildung 21: Verteilung der Anlagen: Inputmaterialien aus Landwirtschaft „In Betrieb“

Abbildung 22 demonstriert die Verteilung der Kategorien I, II und III des Inputmaterials aus der Landwirtschaft der Anlagen „In Betrieb“ in Bezug auf die jährlichen Inputmengen. Es zeigt sich deutlich ein überwiegender Anteil an Kategorie III-Material von rund 62 %. Die Kategorie I trägt rund 28 %, die Kategorie II rund 10 % zum Gesamtaufkommen bei.

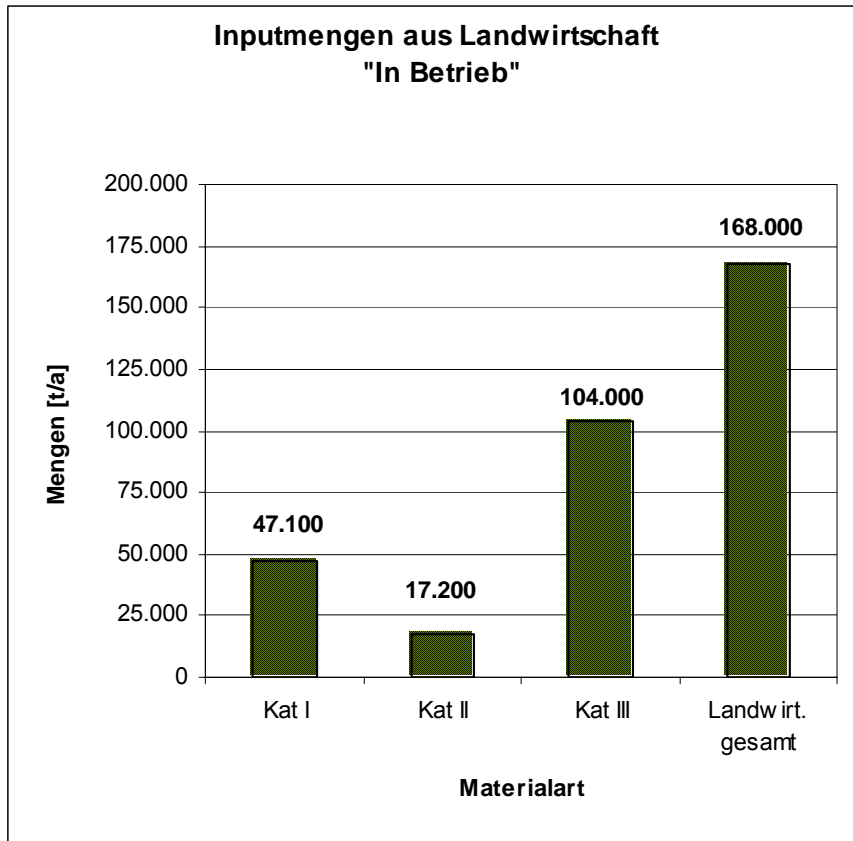


Abbildung 22: Inputmengen aus Landwirtschaft „In Betrieb“

Inputmaterial aus Gewerbe

Abbildung 23 zeigt die Verteilung der Anlagen „In Betrieb“ in Bezug auf die Herkunft des Inputmaterials aus Gewerbe.

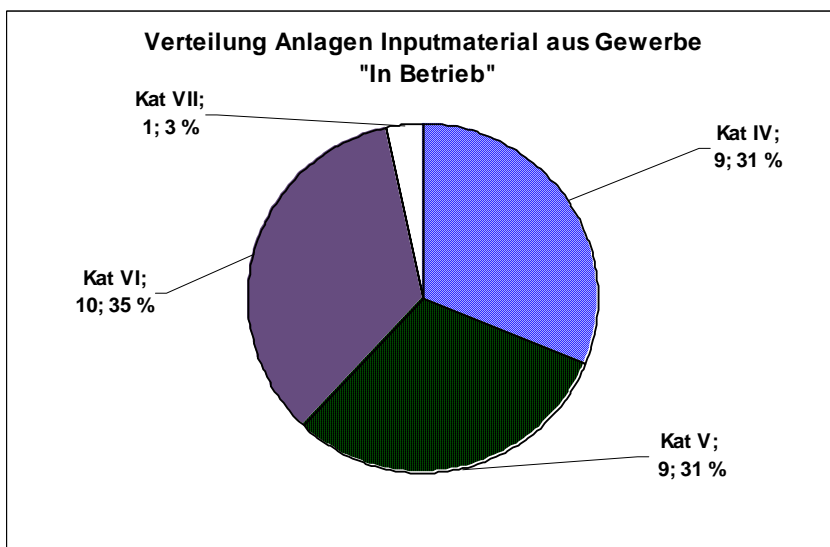


Abbildung 23: Verteilung der Anlagen: Inputmaterialien aus Gewerbe „In Betrieb“

Abbildung 24 demonstriert die Verteilung der Kategorien IV, V, VI und VII des Inputmaterials aus Gewerbe der Anlagen „In Betrieb“ in Bezug auf die jährlichen Inputmengen. Es zeigt sich deutlich ein überwiegender Anteil an Kategorie VI-Material von rund 77 %. Kategorie V trägt rund 16 % zum Gesamtinput bei, auf die Kategorie IV verfallen rund 7 % des Gesamtaufkommens. Die Kategorie VII fällt mit einem Anteil von 0,3 %, der von einem einzigen Betreiber aufgebracht wird, zwar mengenmäßig nicht ins Gewicht, ihr kommt allerdings aufgrund ihrer Natur eines ausgestuften gefährlichen Abfalls Brisanz zu.

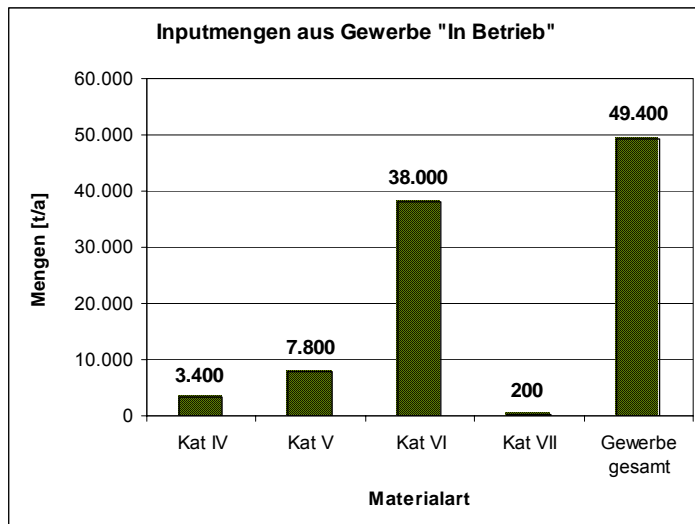


Abbildung 24: Inputmengen aus Gewerbe „In Betrieb“

## II Anlagen „In Planung“

### Inputmaterial aus der Landwirtschaft

Abbildung 25 zeigt die Verteilung der Anlagen „In Planung“ in Bezug auf die Herkunft des Inputmaterials aus der Landwirtschaft. Aufgrund von Mehrfachnennungen von Kategorien in manchen Betrieben übersteigt die Summe an Nennungen die Gesamtzahl der Betreiber (für die detaillierte Auflistung und Berechnung siehe „Anhang B Kalkulationstabellen“).

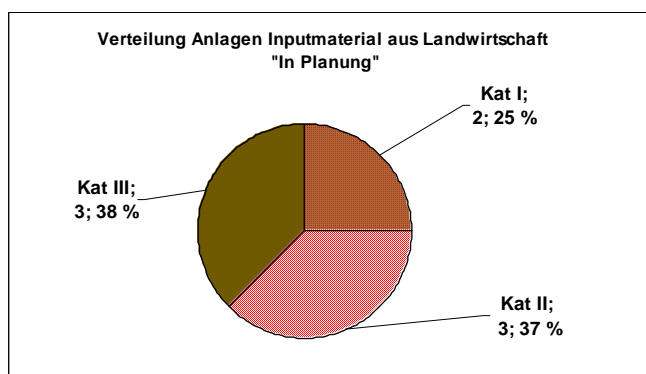


Abbildung 25: Verteilung der Anlagen: Inputmaterialien aus Landwirtschaft „In Planung“

Abbildung 26 demonstriert die Verteilung der Kategorien I, II und III des Inputmaterials aus der Landwirtschaft der Anlagen „In Planung“ in Bezug auf die jährlichen Inputmengen. Die drei Kategorien sind annähernd ausgewogen zu je einem Drittel vertreten, wobei die Kategorie III mit rund 38 % ein leichtes Übergewicht aufweist und die Kategorien I und II ex aequo bei rund 31 % liegen.

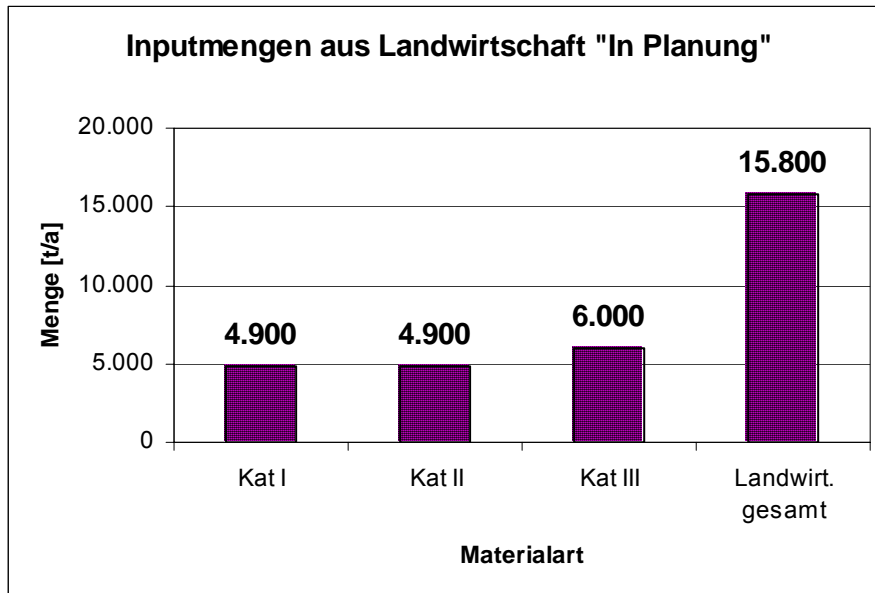


Abbildung 26: Inputmengen aus Landwirtschaft „In Planung“

#### Inputmaterial aus Gewerbe

Abbildung 27 zeigt die Verteilung der Anlagen „In Planung“ in Bezug auf die Herkunft des Inputmaterials aus Gewerbe.

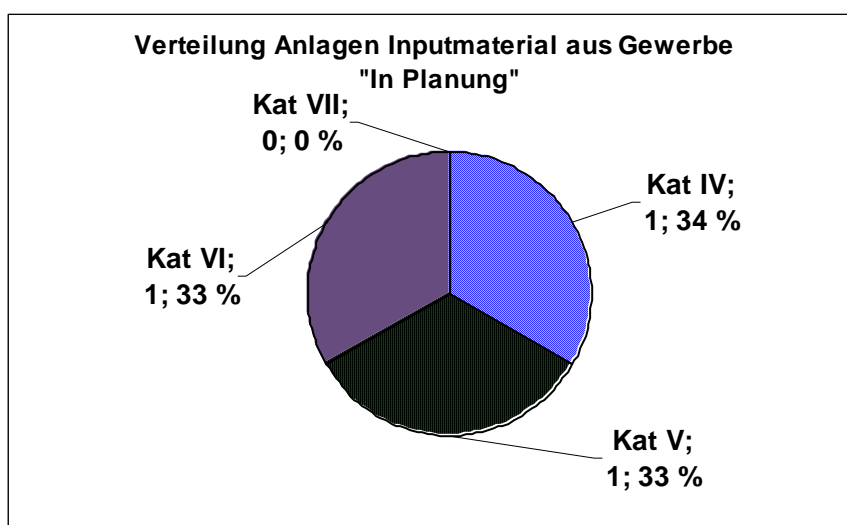


Abbildung 27: Verteilung der Anlagen: Inputmaterialien aus Gewerbe „In Planung“

Abbildung 28 demonstriert die Verteilung der Kategorien IV, V, VI und VII des Inputmaterials aus Gewerbe der Anlagen „In Planung“ in Bezug auf die jährlichen Inputmengen. Sie wird durch ein unsymmetrisches Dreibein mit zwei gewichtigen Anteilen in den Kategorien V (40 %) und VI (49 %) und einem deutlich schwächeren Anteil in der Kategorie IV (11 %) charakterisiert.

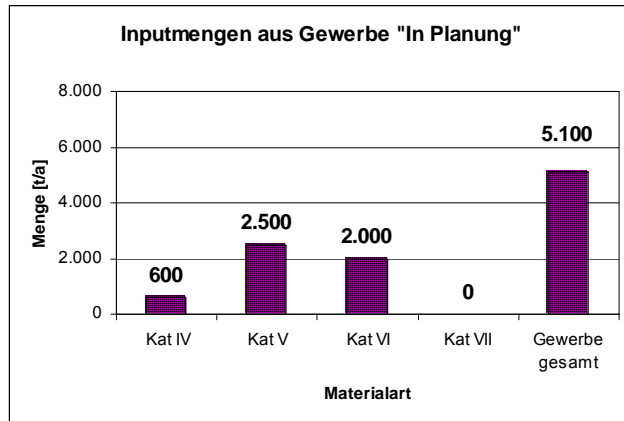


Abbildung 28: Inputmengen aus Gewerbe „In Planung“

#### Inputmaterial Steiermark gesamt

Abbildung 29 vermittelt einen Überblick über die gesamten Inputmengen. Aus Gründen der anschaulicheren Vergleichbarkeit sind die Anlagen „In Betrieb“ und „In Planung“ in einem Diagramm zusammengefasst. Demnach werden derzeit in die Anlagen „In Betrieb“ rund 218.000 t/a Material eingebracht. Davon stammen rund 49.400 t/a (23 %) aus gewerblichen Betrieben und rund 168.000 t/a (77 %) aus der Landwirtschaft <sup>7)</sup>. Die Gesamtkapazität bei den Anlagen „In Planung“ beträgt rund 20.800 t/a, wovon rund 5.100 t/a (24 %) gewerblicher Herkunft und rund 15.800 t/a (76 %) dem Sektor Landwirtschaft zuzuordnen sind <sup>8)</sup>. Im Vergleich status quo zu Kapazität „In Planung“ lässt sich etwa ein Faktor zehn erkennen. Nach Einbindung der derzeit geplanten Anlagen werden die betrachteten 40 Biogasanlagen rund 239.000 t/a Material verarbeiten <sup>9)</sup>.

<sup>7)</sup> Die Summe der im Diagramm und Text verwendeten gerundeten Werte beträgt 217.400 t/a. Der angegebene Wert 218.000 t/a ergibt sich aus den Rundungsregeln, siehe Kapitel 4.2 „Berechnungsweise“.

<sup>8)</sup> Die Summe der im Diagramm und Text verwendeten gerundeten Werte beträgt 20.900 t/a. Der angegebene Wert 20.800 t/a ergibt sich aus den Rundungsregeln, siehe Kapitel 4.2 „Berechnungsweise“.

<sup>9)</sup> Die Summe der im Diagramm und Text verwendeten gerundeten Werte beträgt 238.800 t/a. Der angegebene Wert 239.000 t/a ergibt sich aus den Rundungsregeln, siehe Kapitel 4.2 „Berechnungsweise“.

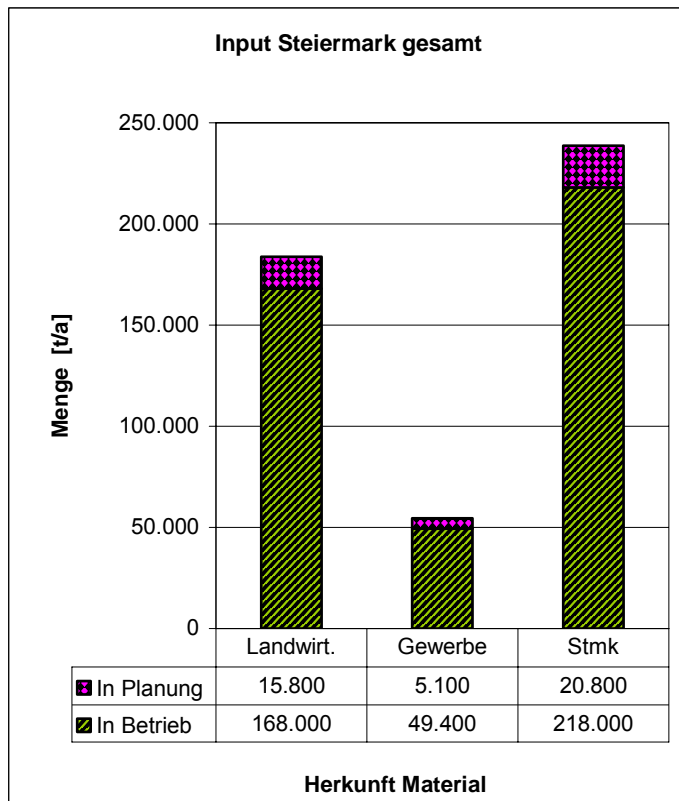


Abbildung 29: Inputmengen Steiermark gesamt

## 5.5.2 Output

Dieses Unterkapitel richtet sein Augenmerk auf jene Stoffflüsse, die aus den Biogasanlagen herauskommen. Im Gegensatz zu Kapitel 5.5.1 „Inputmaterial“, das seinen Fokus rein auf die Materialien, die in eine Biogasanlage eingebracht werden, legt, werden unter dem Begriff Output sowohl die materiellen als auch die energetischen Produkte und die Verwertung des vergorenen Materials betrachtet. Als materielle Produkte verlassen Biogasgülle und Gärrückstände<sup>10)</sup>, subsumierend als „Vergorenes“ bezeichnet, die Anlage, während sich eine Anlage vom energetischen Standpunkt anhand der erzeugten elektrischen und thermischen Energie charakterisieren lässt. Entsprechend werden die einzelnen Aspekte jeweils in einem eigenen Unterkapitel 5.5.2.1 „Stofflich“, 5.5.2.2 „Elektrisch“ und 5.5.2.3 „Thermisch“ bearbeitet. Aufgrund der Struktur der Outputdaten erschien es sinnvoll, die Outputmengen „In Betrieb“ und „In Planung“ gemeinsam im Überblick zu präsentieren. Deshalb erfolgt in den Unterkapiteln nur die Beschreibung der Anlagenverteilung getrennt nach den Überschriften „I Anlagen in Betrieb“ und „II Anlagen In Planung“.

<sup>10)</sup> Es ist im Rahmen einer fachlichen Diskussion zum Thema Biogas von Bedeutung, zwischen den Bezeichnungen „Gülle“, „Biogasgülle“ und „Gärrückstände“ zu diversifizieren. Zur exakten Definition dieser Begriffe siehe auch Kapitel 2 „Begriffe und Definitionen“

### 5.5.2.1 Stofflich

Aus dem Biogasprozess resultiert ein stofflicher Output, der im Sinne einer effizienten Nachvollziehbarkeit der Stoffströme zuerst unter dem Aspekt der primären Produktion („Output produziert“) betrachtet wird. Im Anschluss daran richtet sich die Diskussion an die stoffliche Verwertung („Output verwertet“) der Vergärungsprodukte.

#### Output produziert

##### Outputmaterialien

##### I Anlagen „In Betrieb“

Abbildung 30 zeigt die Verteilung der Anlagen „In Betrieb“ in Bezug auf den Output Vergorenes. Unter der Annahme, dass sämtliche Biogasanlagen auch tatsächlich Biogas erzeugen, liefert die Spalte Biogas für die Verteilung der Anzahl der Anlagen keine sinnvoll auswertbare Information. Deshalb demonstriert dieses Diagramm nur die Anzahl der Anlagen im Hinblick auf Biogasgülle, Gärrückstände und den gemeinsamen Anfall von Biogasgülle und Gärrückständen. Aufgrund von fehlenden Angaben von vier Betreibern stimmt die Summe der Segmente (32) nicht mit der Gesamtsumme der Biogasanlagen „In Betrieb“ (36) überein. Die Auswertung (siehe „Anhang B Kalkulationstabellen“) zählt in der Spalte Biogas nur 29 der 36 Anlagen „In Betrieb“. Diese Abweichung ist ebenfalls auf nicht erfolgte Angaben zu diesem Punkt seitens der Betreiber zurückzuführen.

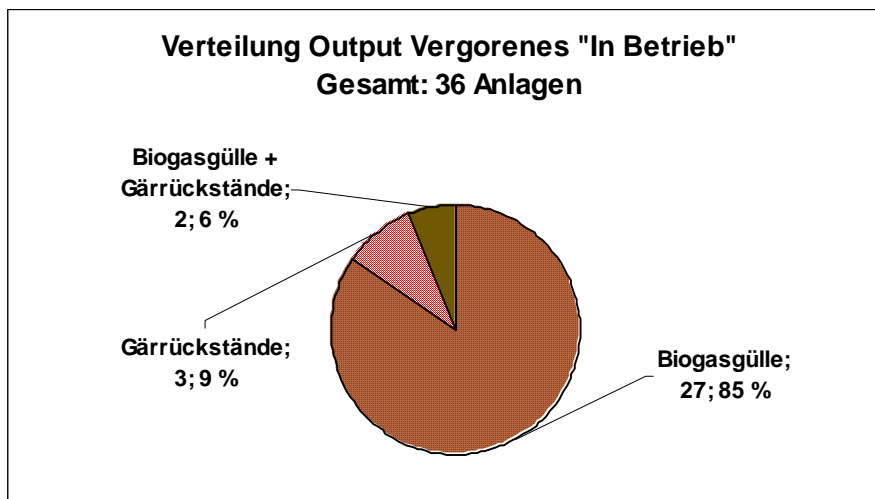


Abbildung 30: Verteilung der Anlagen: Output Vergorenes „In Betrieb“

##### II Anlagen „In Planung“

Abbildung 31 zeigt die Verteilung der Anlagen „In Planung“ in Bezug auf den Output Vergorenes. Dieses Diagramm demonstriert ebenfalls aus besagten Gründen nur die Anzahl der Anlagen im Hinblick auf Biogasgülle, Gärrückstände und den gemeinsamen Anfall von Biogasgülle und Gärrückständen.

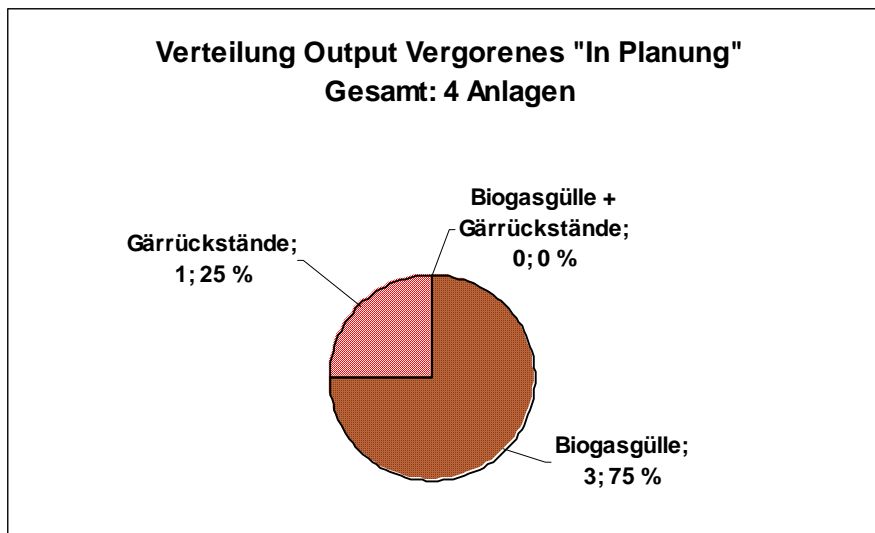


Abbildung 31: Verteilung der Anlagen: Output Vergorenes „In Planung“

#### Output stofflich Steiermark gesamt

Abbildung 32 vermittelt einen Überblick über die stofflichen Outputmengen. Aus Gründen der anschaulicheren Vergleichbarkeit sind die Anlagen „In Betrieb“ und „In Planung“ in einem Diagramm zusammengefasst. Demnach entstehen derzeit in den Anlagen „In Betrieb“ rund 228.000 t/a Material.

Dieser stoffliche Gesamtoutput setzt sich aus rund 37.100 t/a (16 %) Biogas, rund 174.000 t/a (76 %) Biogasgülle und rund 16.800 t/a (7 %) Gärrückstände zusammen <sup>11)</sup>. Herausragend ist der hohe Anteil an Biogasgülle, der mehr als dreiviertel der Gesamtmenge ausmacht. Die nicht gasförmigen Produkte Biogasgülle und Gärrückstände des Biogasprozesses ergeben zusammengefasst 191.000 t/a (84 %) <sup>12)</sup>. Diese Sparte wurde bewusst explizit noch einmal angeführt, da sie jenen Stofffluss darstellt, der einer stofflichen Verwertung zugänglich gemacht werden kann. Dieser Aspekt mag für die Betrachtung von landwirtschaftlichen Aufbringungsflächen bzw. Kompostierkapazitäten (je nach Verwertungsschiene, siehe weiter unten in diesem Kapitel unter „Output verwertet“) von Interesse sein.

<sup>11)</sup> Die Summe der im Diagramm und Text verwendeten gerundeten Werte beträgt 227.900 t/a. Der angegebene Wert 228.000 t/a ergibt sich aus den Rundungsregeln, siehe Kapitel 4.2 „Berechnungsweise“.

<sup>12)</sup> Die Summe der im Diagramm und Text verwendeten gerundeten Werte beträgt 190.800 t/a. Der angegebene Wert 191.000 t/a ergibt sich aus den Rundungsregeln, siehe Kapitel 4.2 „Berechnungsweise“.



Die Gesamtkapazität bei den Anlagen „In Planung“ beträgt rund 32.100 t/a, wovon rund 6.600 t/a (21 %) der Sparte Biogas, rund 23.500 t/a (73 %) der Sparte Biogasgülle und rund 2.000 t/a (6 %) der Sparte Gärrückstände zuzuordnen sind.

Die geringe mengenmäßige Gewichtung der Gärrückstände aus Anlagen „In Planung“ wird - durch die breite Streuung der Größenordnungen im Diagramm bedingt - unfreiwilligerweise zusätzlich betont. Der Eintrag „Gärrückstände“ ist sehr wohl vorhanden, allerdings aufgrund des Maßstabs kaum erkennbar. Der Anteil an Vergorenem beträgt rund 25.500 t/a (79 %). Nach Einbindung der derzeit geplanten Anlagen werden die betrachteten 40 Biogasanlagen rund 260.000 t/a Material produzieren.

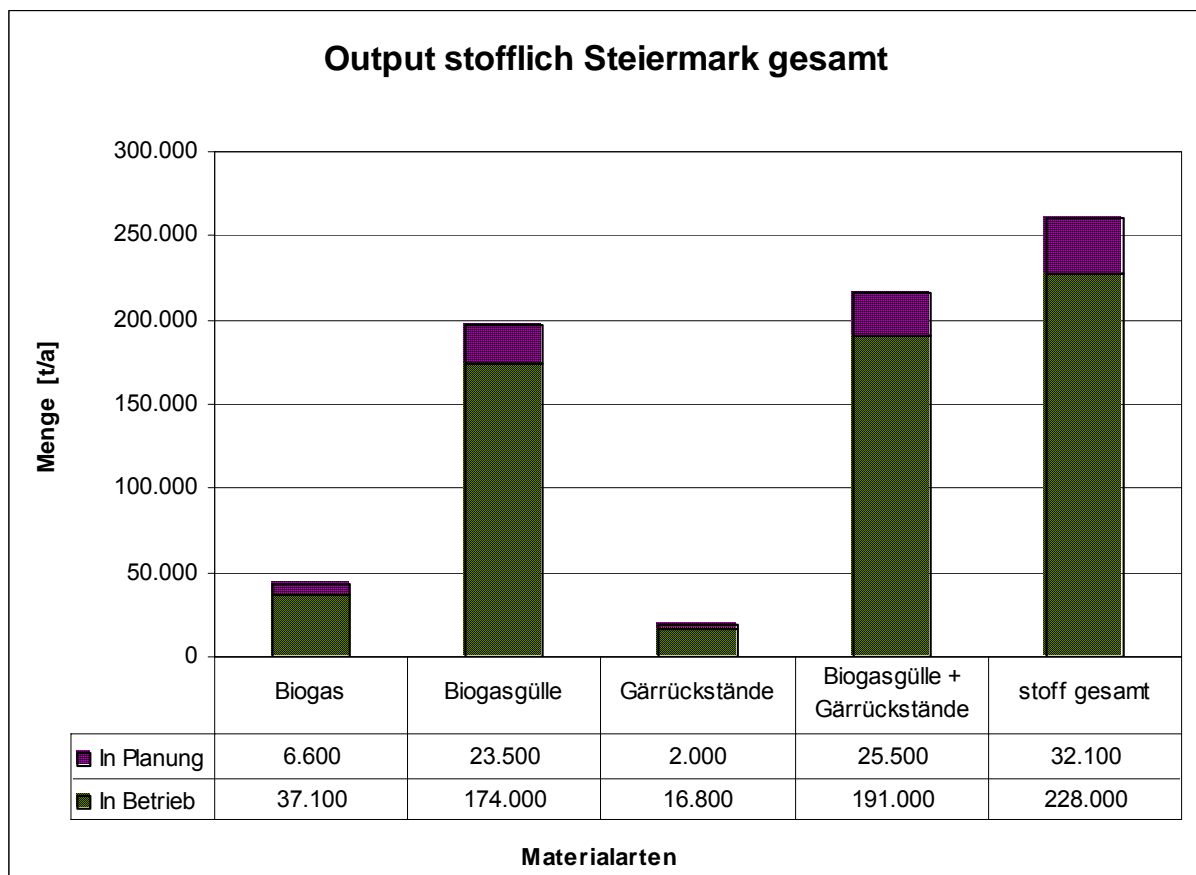


Abbildung 32: Outputmengen stofflich Steiermark gesamt

### Output verwertet

#### Verwertungsansätze für Vergorenes

Gestützt auf das Datenmaterial der 40 Anlagenbetreiber, die in dieser Arbeit erfasst wurden, lässt sich folgende Aussage formulieren: Die stoffliche Verwertung der materiellen Produkte Biogasgülle und Gärrückstände des Biogasprozesses erfolgt in der Steiermark mittels Aufbringung auf landwirtschaftliche Flächen und durch Kompostierung.

Diese beiden Verwertungsschienen stehen jedoch in ihrer mengenmäßigen Bedeutung - gemessen an Masse Outputmaterial in t/a, die den jeweiligen Weg beschreitet - keinesfalls gleichberechtigt neben einander. Die Auswertung der Fragebögen brachte ein überwältigendes Bekenntnis der Anlagenbetreiber in der Steiermark zur landwirtschaftlichen Verwertung hervor.

### I Anlagen „In Betrieb“

Abbildung 33 zeigt die Verteilung der Anlagen „In Betrieb“ in Bezug auf die stoffliche Verwertung. Dieses Diagramm demonstriert die Anzahl der Anlagen, die die angefallenen Stoffmengen an Vergorenem landwirtschaftlich verwerten (abgekürzt als „Landwirt.“ für Landwirtschaft), einer Kompostierung zuführen (gekennzeichnet als „Kompost“ für Kompostierung) sowie eine Kombination aus beiden Verwertungsansätzen verfolgen. Aufgrund von fehlenden Angaben von vier Betreibern stimmt die Summe der Segmente (32) nicht mit der Gesamtsumme der Biogasanlagen „In Betrieb“ (36) überein.

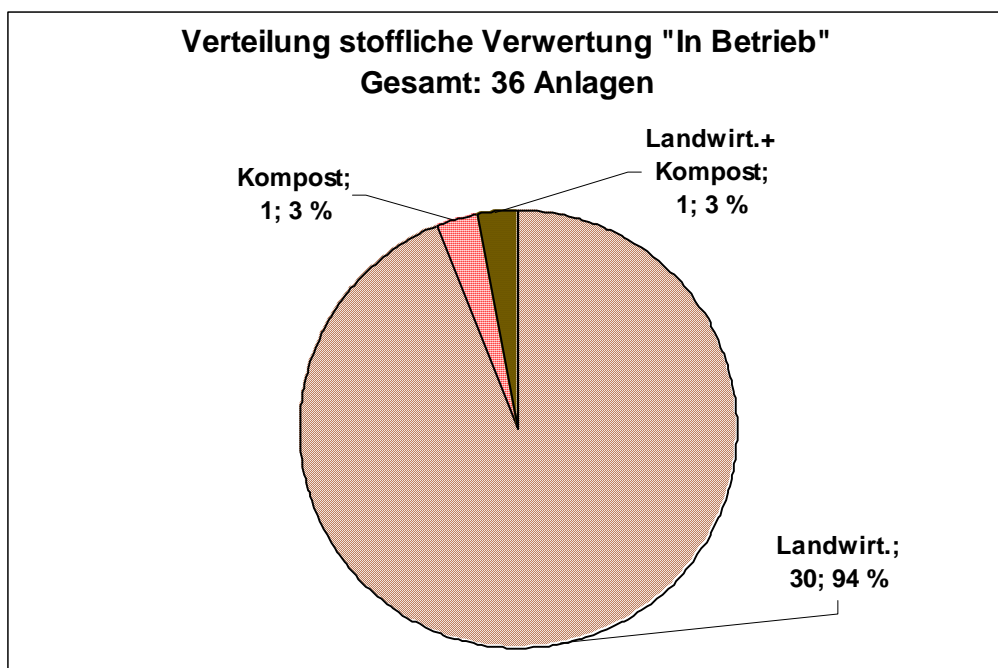


Abbildung 33: Verteilung der Anlagen: stoffliche Verwertung „In Betrieb“

### II Anlagen „In Planung“

Abbildung 34 zeigt die Verteilung der Anlagen „In Planung“ in Bezug auf die stoffliche Verwertung. Dieses Diagramm demonstriert die Anzahl der Anlagen, die die angefallenen Stoffmengen an Vergorenem landwirtschaftlich verwerten, einer Kompostierung zuführen sowie eine Kombination aus beiden Verwertungsansätzen verfolgen. Aufgrund von fehlenden Angaben von einem Betreiber stimmt die Summe der Segmente (3) nicht mit der Gesamtsumme der Biogasanlagen „In Planung“ (4) überein.

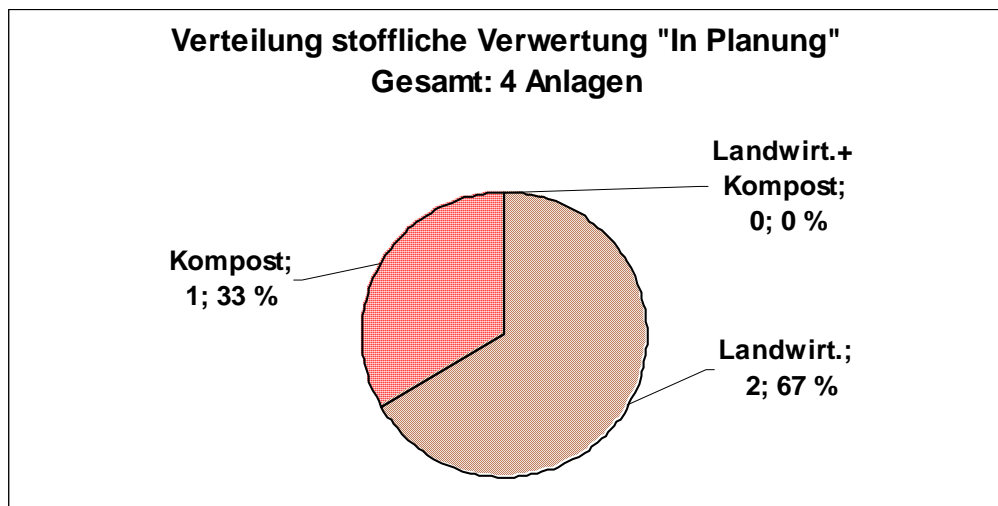


Abbildung 34: Verteilung der Anlagen: stoffliche Verwertung „In Planung“

#### Output stoffliche Verwertung Steiermark gesamt

Abbildung 35 vermittelt einen Überblick über die stoffliche Verwertung des Outputs. Aus Gründen der anschaulicheren Vergleichbarkeit sind die Anlagen „In Betrieb“ und „In Planung“ in einem Diagramm zusammengefasst. Demnach werden derzeit in den Anlagen „In Betrieb“ rund 169.000 t/a stofflich verwertet. Davon werden rund 2.000 t/a (1 %) einer Kompostierung und rund 167.000 t/a (99 %) einer landwirtschaftlichen Verwertung zugeführt. Diese extreme Anteilsverteilung in den Mengen spiegelt sich ebenfalls bei der Anzahl der Anlagen wider.

Die Gesamtkapazität bei den Anlagen „In Planung“ beträgt rund 19.100 t/a, wovon rund 2.000 t/a (10 %) der Kompostierung und rund 17.100 t/a (90 %) der Aufbringung in der Landwirtschaft zuzuordnen sind. Der Trend zur landwirtschaftlichen Verwertung lässt sich auch bei den Anlagen in Planung nachvollziehen, wenn auch nicht so scharf ausgeprägt.

Die geringe mengenmäßige Gewichtung der Verwertungsschiene Kompostierung wird - durch die breite Streuung der Größenordnungen im Diagramm bedingt - unfreiwilligerweise zusätzlich betont. Der Eintrag ist sehr wohl vorhanden, allerdings aufgrund des Maßstabs kaum erkennbar. Nach Einbindung der derzeit geplanten Anlagen werden die betrachteten 40 Biogasanlagen rund 188.000 t/a an Abfallprodukten aus dem Vergärungsprozess einer stofflichen Verwertung zuführen <sup>13)</sup>.

<sup>13)</sup> Die Summe der im Diagramm und Text verwendeten gerundeten Werte beträgt 188.100 t/a. Der angegebene Wert 188.000 t/a ergibt sich aus den Rundungsregeln, siehe Kapitel 4.2 „Berechnungsweise“.

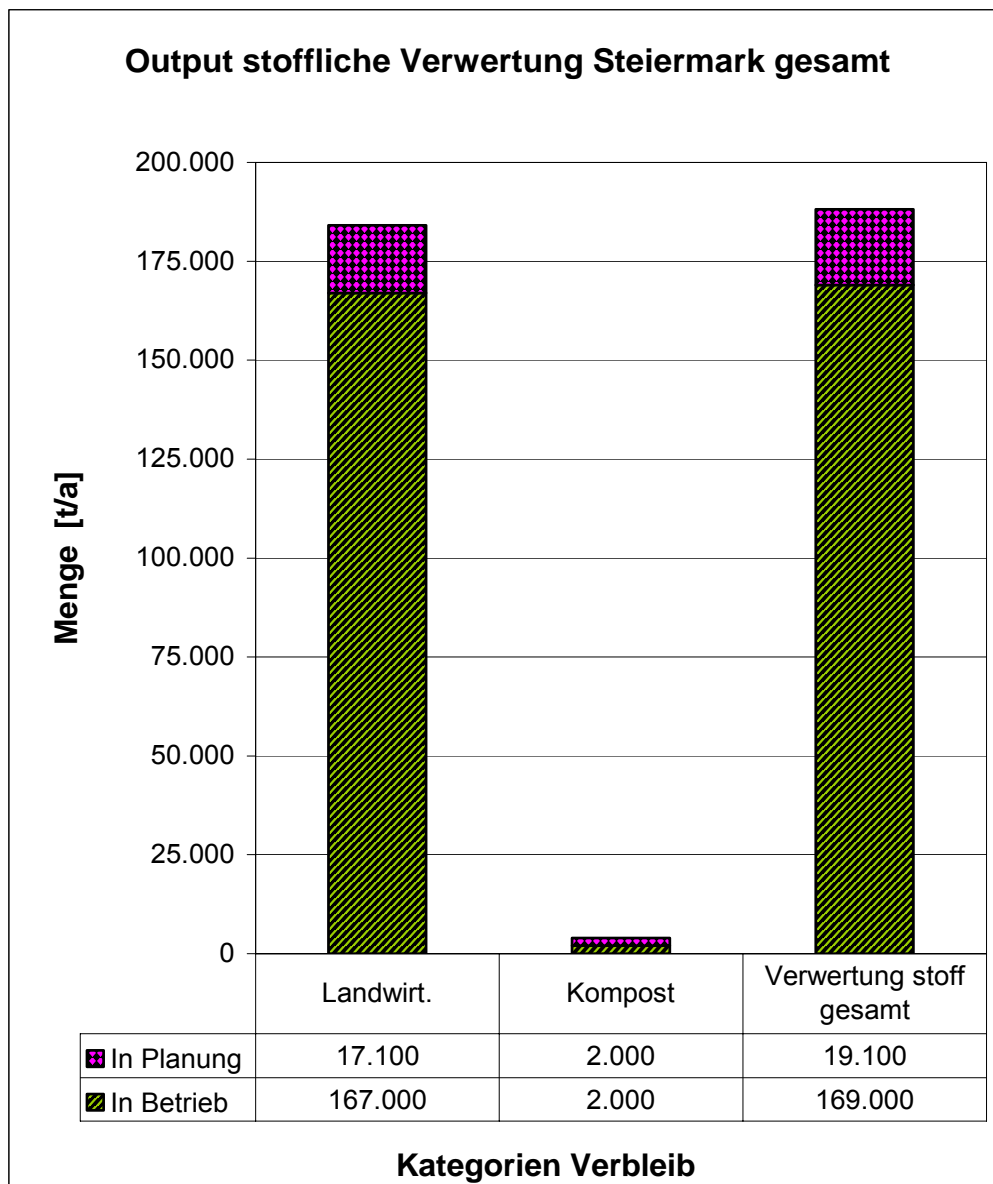


Abbildung 35: Output stoffliche Verwertung Steiermark gesamt

### 5.5.2.2 Elektrisch

Im Sinne eines erleichterten Überblicks über die produzierte elektrische Leistung wurden die Anlagen nach der Größe der Leistung in die Kategorien A, B und C eingeteilt. Tabelle 7 zeigt eine Aufstellung der Leistungsbereiche der Kategorien A, B und C.

Tabelle 7: Leistungsbereiche Kategorien Elektrisch

<b>Leistungsbereiche Kategorien Elektrisch</b>
Kat A = Kategorie A =< 999 MWh/a
Kat B = Kategorie B = 1000-3499 MWh/a
Kat C = Kategorie C = 3500-5000 MWh/a

I Anlagen „In Betrieb“

Abbildung 36 zeigt die Verteilung der Anlagen „In Betrieb“ in Bezug auf den Output elektrische Leistung. Dieses Diagramm demonstriert die Anzahl der Anlagen in den Kategorien A, B und C sowie den Anteil der Anlagen, die das erzeugte Biogas lediglich hinsichtlich des thermischen Energiegehalts verwerten und keine Verstromung vorsehen. Aufgrund von fehlenden Angaben von zwei Betreibern stimmt die Summe der Segmente (34) nicht mit der Gesamtsumme der Biogasanlagen „In Betrieb“ (36) überein.

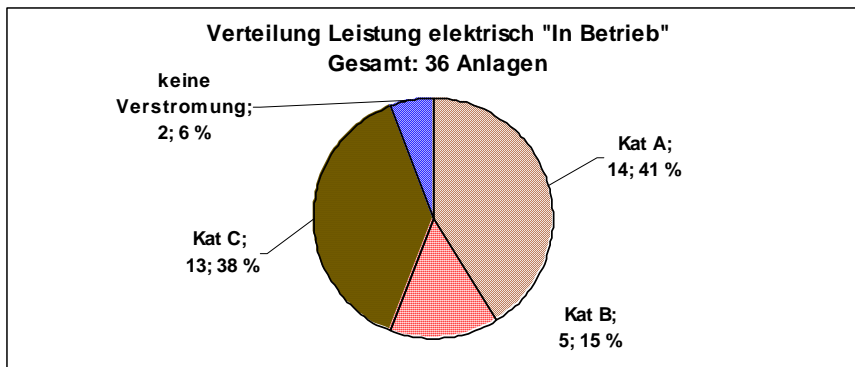


Abbildung 36: Verteilung der Anlagen: Output elektrische Leistung „In Betrieb“

II Anlagen „In Planung“

Abbildung 37 zeigt die Verteilung der Anlagen „In Planung“ in Bezug auf den Output elektrische Leistung. Dieses Diagramm demonstriert die Anzahl der Anlagen in den Kategorien A, B und C sowie den Anteil der Anlagen, die das erzeugte Biogas lediglich hinsichtlich des thermischen Energiegehalts verwerten und keine Verstromung vorsehen. Wie aus der Aufstellung ersichtlich, ist dies jedoch bei den Anlagen „In Planung“ nicht der Fall. Daraus kann geschlossen werden, dass sämtliche Anlagen „In Planung“ sowohl für eine elektrische als auch für eine thermische Verwertung des erzeugten Biogases konzipiert sind.

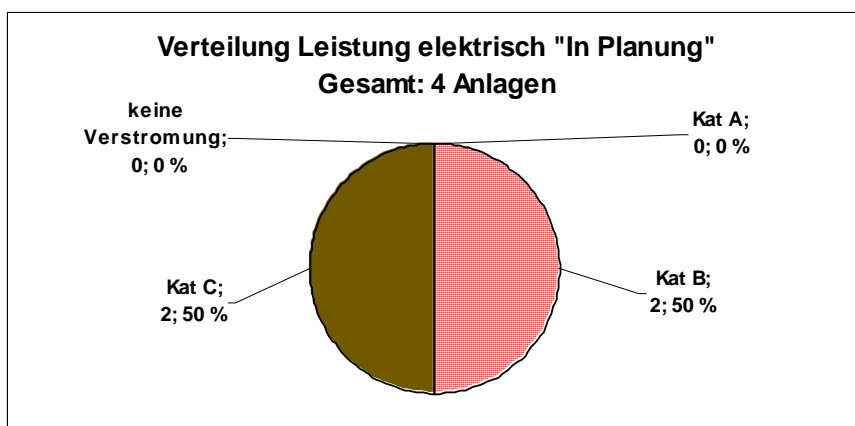


Abbildung 37: Verteilung der Anlagen: Output elektrische Leistung „In Planung“

### Output elektrisch Steiermark gesamt

Abbildung 38 vermittelt einen Überblick über den gesamten elektrischen Output. Aus Gründen der anschaulicheren Vergleichbarkeit sind die Anlagen „In Betrieb“ und „In Planung“ in einem Diagramm zusammengefasst.

Demnach entstehen derzeit in den Anlagen „In Betrieb“ rund 70.600 Megawattstunden/Jahr (MWh/a) elektrische Leistung. Zu dieser elektrischen Gesamtleistung tragen die Anlagen der Kategorie A rund 5.200 MWh/a (7 %), jene der Kategorie B rund 7.800 MWh/a (11 %) und jene der Kategorie C rund 57.700 MWh/a (82 %), bei <sup>14)</sup>. Bezeichnend lässt sich mit einem Blick auf die Verteilung der Anzahl der Anlagen feststellen, dass sich Kategorie C (13 Anlagen) und Kategorie A (14 Anlagen) in etwa die Waage halten, in den 13 leistungsstärksten Anlagen jedoch mehr als zehnmal so viel elektrische Energie wie in den 14 leistungsschwächsten Anlagen erzeugt wird.

Die Gesamtkapazität bei den Anlagen „In Planung“ beträgt rund 12.000 MWh/a, wovon rund 4.000 MWh/a (33 %) der Kategorie B und rund 8.000 MWh/a (67 %) der Kategorie C zuzuordnen sind. Keine der Anlagen „In Planung“ sieht eine elektrische Leistung kleiner als 1000 MWh/a (Kategorie A) vor. Daraus lässt sich ein eindeutiger Trend in den zukünftigen Biogasanlagen zu höherer Leistung ablesen. Nach Einbindung der derzeit geplanten Anlagen werden die betrachteten 40 Biogasanlagen rund 82.600 MWh/a elektrische Leistung produzieren.

---

<sup>14)</sup> Die Summe der im Diagramm und Text verwendeten gerundeten Werte beträgt 70.700 MWh/a. Der angegebene Wert 70.600 MWh/a ergibt sich aus den Rundungsregeln, siehe Kapitel 4.2 „Berechnungsweise“.

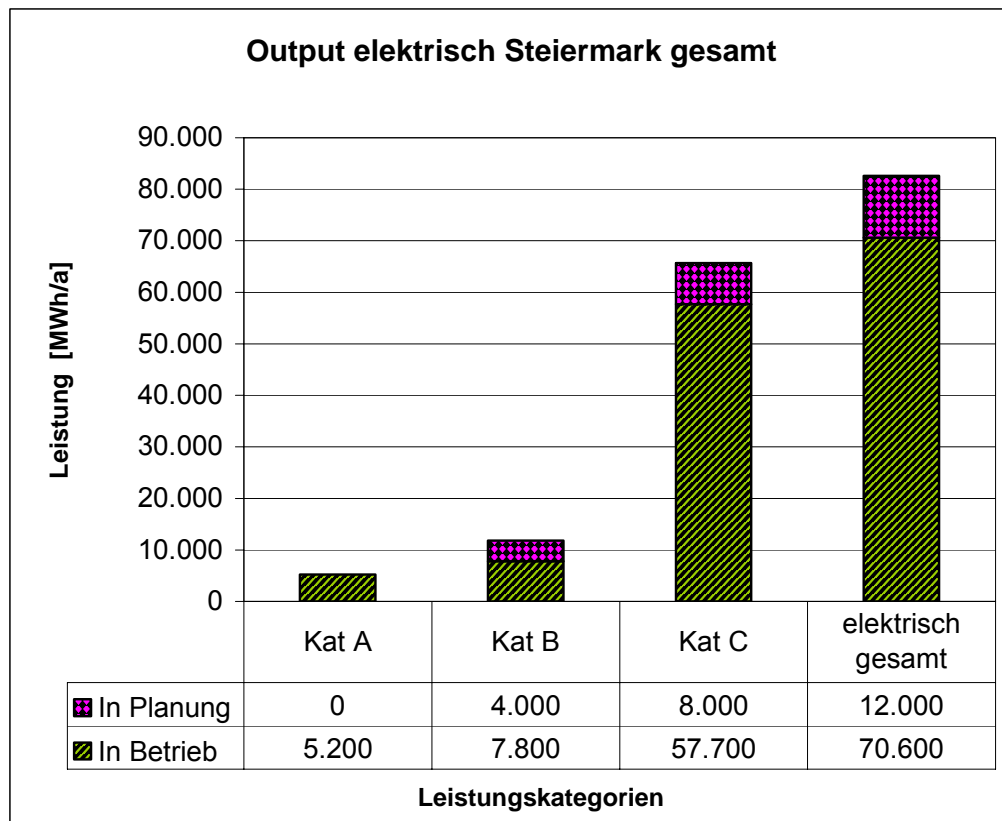


Abbildung 38: Output elektrisch Steiermark gesamt

### 5.5.2.3 Thermisch

Im Sinne eines erleichterten Überblicks über die produzierte thermische Leistung wurden die Anlagen nach der Größe der Leistung in die Kategorien X, Y und Z eingeteilt. Tabelle 8 zeigt eine Aufstellung der Leistungsbereiche der Kategorien X, Y und Z.

Tabelle 8: Leistungsbereiche Kategorien Thermisch

<b>Leistungsbereiche Kategorien Thermisch</b>
Kat X = Kategorie X =< 999 MWh/a
Kat Y = Kategorie Y= 1000-3499 MWh/a
Kat Z = Kategorie Z = 3500-6500 MWh/a

#### 1 Anlagen „In Betrieb“

Abbildung 39 zeigt die Verteilung der Anlagen „In Betrieb“ in Bezug auf den Output thermische Leistung. Dieses Diagramm demonstriert die Anzahl der Anlagen in den Kategorien X, Y und Z sowie den Anteil der Anlagen, die keine thermische Verwertung des Biogases vorsehen. Wie aus der Aufstellung ersichtlich ist dies jedoch bei den Anlagen „In Betrieb“ nicht der Fall. Daraus kann geschlossen werden, dass sämtliche Anlagen „In Betrieb“ für eine thermische Verwertung des erzeugten Biogases konzipiert sind.

Aufgrund von fehlenden Angaben von drei Betreibern stimmt die Summe der Segmente (33) nicht mit der Gesamtsumme der Biogasanlagen „In Betrieb“ (36) überein.

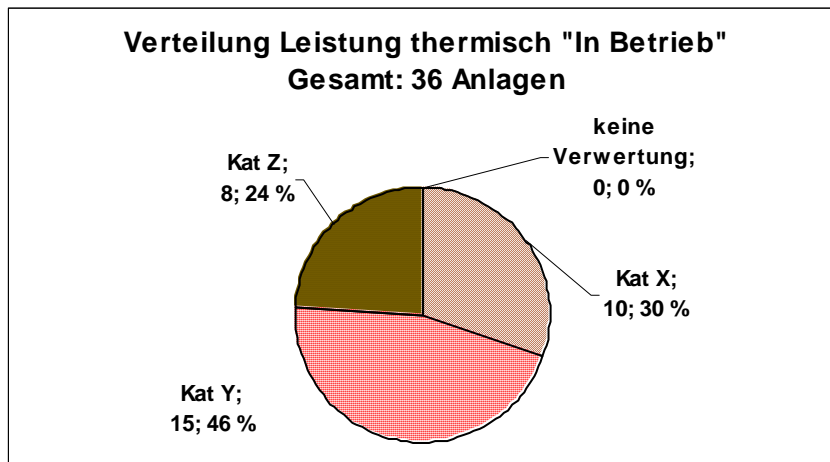


Abbildung 39: Verteilung der Anlagen: Output thermische Leistung „In Betrieb“

### II Anlagen „In Planung“

Abbildung 40 zeigt die Verteilung der Anlagen „In Planung“ in Bezug auf den Output thermische Leistung. Dieses Diagramm demonstriert die Anzahl der Anlagen in den Kategorien X, Y und Z sowie den Anteil der Anlagen, die keine thermische Verwertung des Biogases vorsehen. Dies ist jedoch wie bei den Anlagen „In Betrieb“ mit den gleichen Konsequenzen nicht der Fall.

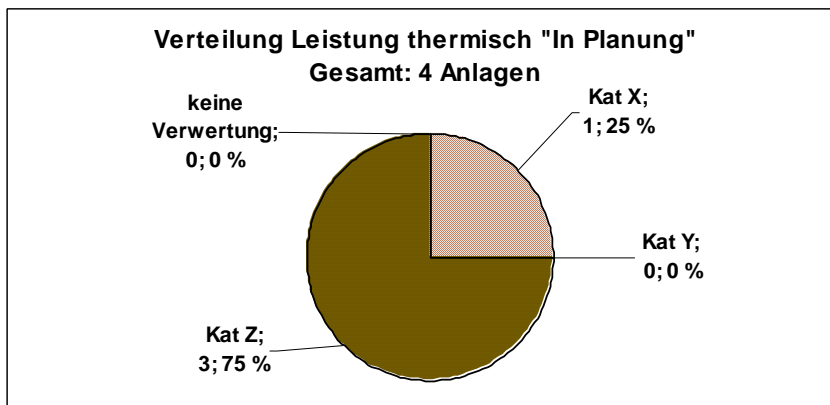


Abbildung 40: Verteilung der Anlagen: Output thermische Leistung „In Planung“



### Output thermisch Steiermark gesamt

Abbildung 41 vermittelt einen Überblick über den gesamten thermischen Output. Aus Gründen der anschaulicheren Vergleichbarkeit sind die Anlagen „In Betrieb“ und „In Planung“ in einem Diagramm zusammengefasst. Demnach entstehen derzeit in den Anlagen „In Betrieb“ rund 70.900 MWh/a thermische Leistung.

Zu dieser thermischen Gesamtleistung tragen die Anlagen der Kategorie X rund 2.200 MWh/a (3 %), jene der Kategorie Y rund 28.200 MWh/a (40 %) und jene der Kategorie Z rund 40.500 MWh/a (57 %), bei. Allerdings wird in der Kategorie Z mit rund der Hälfte (8) der Anlagen der Kategorie Y (15) beinahe eineinhalbmal so viel thermische Energie erzeugt.

Die Gesamtkapazität bei den Anlagen „In Planung“ beträgt rund 14.300 MWh/a, wovon rund 800 MWh/a (6 %) der Kategorie X und rund 13.500 MWh/a (94 %) der Kategorie Z zuzuordnen sind. Die geringe leistungsmäßige Gewichtung der Kategorie X aus Anlagen „In Planung“ wird - durch die breite Streuung der Größenordnungen im Diagramm bedingt - unfreiwilligerweise zusätzlich betont. Der Eintrag der Kategorie X ist sehr wohl vorhanden, allerdings aufgrund des Maßstabs kaum erkennbar. Keine der Anlagen „In Planung“ sieht eine thermische Leistung im Bereich 1000-3500 MWh/a (Kategorie Y) vor<sup>15)</sup>. Daraus lässt sich ein eindeutiger Trend in den zukünftigen Biogasanlagen zu höherer Leistung ablesen. Nach Einbindung der derzeit geplanten Anlagen werden die betrachteten 40 Biogasanlagen rund 85.100 MWh/a thermische Leistung produzieren<sup>16)</sup>.

---

<sup>15)</sup> Die Kategorie Y ist in einem Bereich von 1000-3499 MWh/a thermischer Leistung definiert. Die obere Grenze wurde im Dienste der Anschaulichkeit an dieser Stelle im Text bewusst auf 3500 MWh/a aufgerundet.

<sup>16)</sup> Die Summe der im Diagramm und Text verwendeten gerundeten Werte beträgt 85.200 MWh/a. Der angegebene Wert 85.100 MWh/a ergibt sich aus den Rundungsregeln, siehe Kapitel 4.2 „Berechnungsweise“.

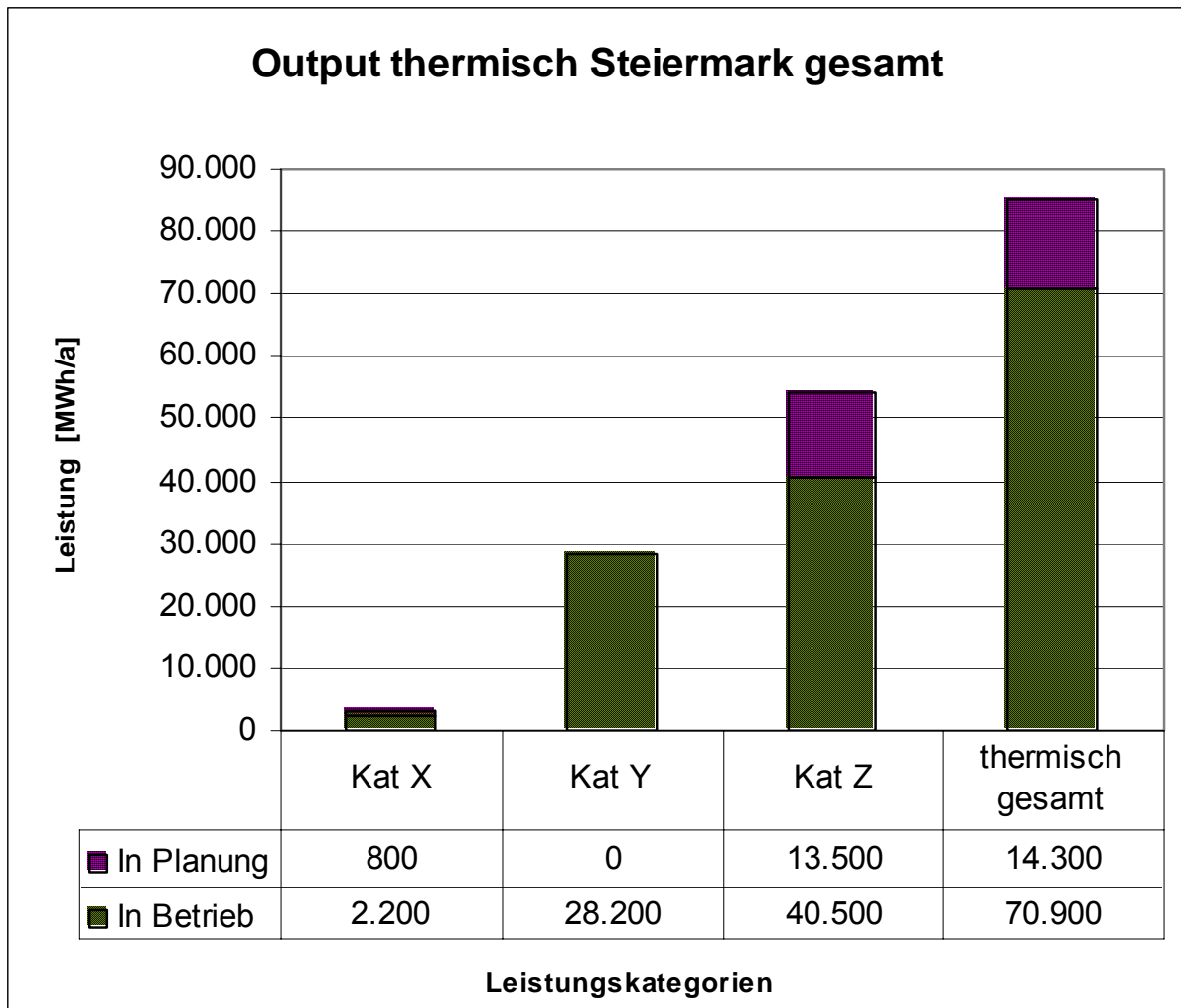


Abbildung 41: Output thermisch Steiermark gesamt

## 6 Ergebnisse / Diskussion

Die Angaben zu den 40 in dieser Studie erfassten Biogasanlagen wurden in Kapitel 5 „Auswertung der Fragebögen“ graphisch aufbereitet und kommentiert. Dieses Kapitel „Ergebnisse/Diskussion“ setzt die Kommentierung fokussiert auf die drei Grundfragen „Bewilligungsverfahren“, „Prozessführung“ und „stoffflusswirtschaftliche Betrachtung“ der Biogasanlagen in der Steiermark (siehe Kapitel 1.2 „Zielsetzung“) mittels jeweils eines herausragenden Merkmals fort. Es wird einerseits bewusst nur ein Charakteristikum beschrieben und auf die Angabe von exakten Zahlenwerten verzichtet, andererseits der Versuch unternommen, Gemeinsamkeiten zwischen den Parametern aufzuzeigen, um in diesem Kapitel ein Gefühl für einen Überblick, Trends und Größenordnungen zu vermitteln. Für eine detaillierte Betrachtungsweise sei auf das vorangegangene Kapitel 5 „Auswertung der Fragebögen“ und den „Anhang B Kalkulationstabellen“ verwiesen.

### 6.1 Bewilligungsverfahren

#### I Anlagen „In Betrieb“

Bei der Betrachtung der gesetzlichen Basis, die der Bewilligung der Biogasanlagen „In Betrieb“ zugrunde gelegt ist, zeichnet sich ein deutliches Übergewicht zugunsten einer Abwicklung des Verfahrens nach der Gewerbeordnung ab. Mehr als die Hälfte der Anlagen hält einen Genehmigungsbescheid nach dieser Rechtsgrundlage inne.

#### II Anlagen „In Planung“

Die Anlagen „In Planung“ unterstreichen diesen Trend eindrucksvoll. Sämtliche Anlagen dieser Kategorie geben einen Genehmigungsbescheid nach der Gewerbeordnung an.

### 6.2 Prozessführung

Die Grundfrage der Prozessführung wird in diesen Ausführungen durch die Prozesstemperatur repräsentiert. Die Wahl dieses Parameters fiel mit Bedacht auf seine weitläufige Bedeutung im Hinblick auf die Prozessführung und auf Aspekte der Projektfinanzierung, wie in Kapitel 3.3 „Großtechnische Herstellung von Biogas“ ausgeführt.

#### I Anlagen „In Betrieb“

Die Betrachtung der Prozesstemperatur der Anlagen „In Betrieb“ zeichnet ein eindeutiges Bild im Sinne mesophiler Temperaturverhältnisse im Fermenter. Nur eine Anlage fällt unter die für diese Arbeit getroffene Definition für thermophile Prozessführung ( $T \geq 50 \text{ °C}$ ) (siehe Stichwort „Prozesstemperatur“, Kapitel 5.2 „Prozess“) liegt jedoch mit  $50 \text{ °C}$  Prozesstemperatur exakt an der Grenze. Im Sinne dieses Kapitels kann somit von einer mesophilen Prozessführung in den Biogasanlagen „In Betrieb“ gesprochen werden.

### II Anlagen „In Planung“

Für die Anlagen, die noch nicht in Betrieb gegangen sind, ist eine exakte Aussage in Bezug auf die Prozesstemperatur möglich. Sämtliche Anlagen „In Planung“ sind für eine mesophile Prozessführung konzipiert.

Dieses starke Bekenntnis zu niederen Temperaturen im Reaktor bei beiden Anlagenkategorien steht in direktem Zusammenhang zum Trend in den Inputmaterialien nach landwirtschaftlicher Herkunft, die, als Substanzen der Gruppe A, keiner Hygienisierung bedürfen (siehe Kapitel 3.3.2 „Hygienisierung von Inputmaterial“).

## **6.3 Stoffflusswirtschaftliche Betrachtung**

Im Gegensatz zur detaillierten Auswertung nach Anzahl und Mengen der Anlagen in Kapitel 5.5 „Stoffflusswirtschaftliche Betrachtung“ beziehen sich die Beispiele in diesem Unterkapitel ausschließlich auf Mengenangaben.

### **6.3.1 Inputmaterial**

Für die Diskussion des Inputmaterials wurde der Aspekt der Herkunft der eingebrachten Substanzen gewählt.

#### I Anlagen „In Betrieb“

Wie bereits im Kapitel 6.2 „Prozessführung“ erwähnt, ergibt die Neigung der Anlagenbetreiber zu mesophilen Bedingungen im Reaktor eine Korrelation zur überwiegend landwirtschaftlichen Herkunft der Materialien. Mehr als dreiviertel der eingesetzten Mengen in den Anlagen „In Betrieb“ lassen sich dieser Gruppe zuordnen.

#### II Anlagen „In Planung“

Die Anlagen „In Planung“ fügen sich unisono in die von der komplementären Sparte vorgezeichnete Tendenz ein. Der Anteil des Inputmaterials aus landwirtschaftlicher Herkunft übersteigt in den Anlagen „In Planung“ ebenfalls die 75 % Marke.

### **6.3.2 Output**

#### **6.3.2.1 Stofflich**

##### **Output produziert**

Die stofflichen Outputmengen haben mit den Inputmengen die Eigenschaft gemeinsam, jeweils ein herausstehendes Charakteristikum aufzuweisen. Auffallend ist der identische Anteil von 75 %.

Diese Zahlengleichheit ist allerdings auf keinen technischen Zusammenhang zurückzuführen. Beim den materiellen Produkten der Biogasanlagen nimmt die Biogasgülle diese dominierende Rolle ein.

#### I Anlagen „In Betrieb“

Der Anteil an Biogasgülle nimmt dreiviertel von der gesamten vergorenen Masse, die die Anlagen „In Betrieb“ nach dem Biogasprozess verlässt, ein.

#### II Anlagen „In Planung“

Bei den Anlagen „In Planung“ beansprucht die Biogasgülle ebenso dreiviertel von der gesamten vergorenen Masse.

### **Output verwertet**

Bezeichnend für die stoffliche Verwertung ist der hohe Anteil an landwirtschaftlicher Verwertung.

#### I Anlagen „In Betrieb“

Die Anlagen „In Betrieb“ zeigen die extremste Relation zwischen Parametern der gleichen Zuordnung. Es wird praktisch die gesamte stoffliche Outputmenge auf landwirtschaftlichen Flächen aufgebracht.

#### II Anlagen „In Planung“

Anlagen „In Planung“ grenzen sich in Bezug auf die stoffliche Verwertung in der Landwirtschaft weniger scharf von der alternativen Verwertungsschiene der Kompostierung ab. 90 % der stofflichen Outputmenge dieser Gruppe werden der dominierenden Verwertungsart landwirtschaftliche Aufbringung zugeführt.

### **6.3.2.2 Elektrisch**

Der Output an elektrischer Leistung ist durch eine verstärkte Hinwendung zu höheren Leistungen geprägt.

#### I Anlagen „In Betrieb“

In den Anlagen „In Betrieb“ werden mehr als 80 % der gesamten Produktion von Elektrizität im Leistungsbereich C (3500-5000 MWh/a, siehe Kapitel 5.5.2.2 „Elektrisch“) erzeugt.

### II Anlagen „In Planung“

Die Anlagen „In Planung“ bleiben der eingeschlagenen Richtung zur leistungsstarken elektrischen Anlagenauslegung treu, weisen allerdings eine weniger stark ausgeprägte Neigung im betrachteten Leistungsbereich C von lediglich zweidrittel der gesamten verstromten Leistung auf.

#### **6.3.2.3 Thermisch**

Über die Kennzahlen „Elektrische Leistung“ und „Thermische Leistung“ lässt sich ein gemeinsamer Bogen spannen, der ein Bekenntnis zu höherer Leistung und damit größeren Anlagen ablegt.

### I Anlagen „In Betrieb“

In den Anlagen „In Betrieb“ klafft die Schere zwischen dem betrachteten höchsten Leistungssegment Z (3500-6500 MWh/a, siehe Kapitel 5.5.2.3 „Thermisch“) und den anderen Kategorien weniger stark auseinander. Nichtsdestoweniger wird mehr als die Hälfte der gesamten thermischen Leistung von den leistungsstärksten Anlagen generiert.

### II Anlagen „In Planung“

Bei den Anlagen „In Planung“ wiederum ist die Ausprägung zu hohen thermischen Leistungen besonders stark entwickelt. Annähernd die gesamte thermische Leistung kann dieser Kategorie zugeordnet werden.

Mit der Darstellung der technischen Grundlagen der Biogasproduktion im Kapitel 3 „Grundlagen“, der detaillierten Aufbereitung des Datenmaterials in Kapitel 5 „Auswertung der Fragebögen“ und mittels der vergleichenden Ausführungen in diesem Kapitel „Ergebnisse / Diskussion“ wurden die zu Beginn der Arbeit formulierten Ziele (siehe Kapitel 1.2 „Zielsetzung“) erreicht.

## 7 Zusammenfassung

Die anoxische Abfallbehandlung erfolgt in Biogasanlagen und hat in den letzten Jahren als Entsorgungsschiene für vergärbare organische Reststoffe aus Landwirtschaft, Industrie, Gewerbe und Haushalten stark an Bedeutung gewonnen. Eine Biogasanlage ist eine räumliche, organisatorische und wirtschaftliche Einheit zur anoxischen Vergärung von organischen Abfällen und Energiepflanzen.

Das als Produkt aus der anaeroben Nahrungskette gewonnene Biogas besteht überwiegend aus  $\text{CH}_4$  (50-75 %) und  $\text{CO}_2$  (25-50 %) und kann in weitaus geringeren Anteilen  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{NH}_3$  und  $\text{H}_2\text{S}$  enthalten [5, S.48]. Die Vergärung von organischem Material ist ein komplizierter Prozess, der einer gewissenhaften Planung und Steuerung bedarf, die bereits bei der Wahl der eingesetzten Materialien ansetzt. Über die Aufbereitung des Abfalls erfolgt die Herstellung einer prozessoptimierten und den gesetzlichen Rahmenbedingungen genügende Zusammensetzung des Substrats (siehe Kapitel 3.3.1 „Abfallaufbereitung“ und Kapitel 3.3.2 „Hygienisierung von Inputmaterial“). Im Fermentationsprozess selbst ist v.a. auf die Parameter Temperatur und pH-Wert Sorge zu legen. Je nach Inputmaterial und Prozessführung kann mit einem Biogasertrag von 800-1000 l/kg oTS gerechnet werden. Vor der Anwendung (BHKW, Einspeisung in ein Erdgasnetz, Einsatz in Brennstoffzellen) ist das Biogas gemäß der Anforderungen der Nutzungsoptionen nochmals aufzubereiten (siehe „Entschwefelung“ und „Abtrennung des  $\text{CO}_2$ “ im Kapitel 3.5.1 „Aufbereitung des Biogases“).

Die Vorzüge der anoxischen Abfallbehandlung erwachsen aus der Möglichkeit der effizienten Entsorgung (Massenreduktion, Verringerung der geruchsintensiven Stoffe sowie Reduktion des seuchenhygienischen Potentials) einerseits und der energetischen und stofflichen Verwertung der organischen Abfälle durch die Erzeugung von Strom, Wärme und Dünger andererseits.

Der Vormarsch der Biogasproduktion in der Steiermark ist durch eine Agglomeration von Anlagen im Süden und Südosten der Steiermark geprägt (siehe Abbildung 10) und anhand der v.a. im 21. Jahrhundert steigenden Zahlen von bewilligten Anlagen eindrucksvoll dokumentiert. Allein im Jahr 2004 wurde zwölf der 40 Konsenswerber die Genehmigung zur Errichtung und Betrieb einer Biogasanlage erteilt.

Eine herausragende Stellung in Bezug auf die Bewilligungsverfahren nimmt hierbei die Genehmigung nach der Gewerbeordnung ein. 25 der 40 Anlagen halten einen Genehmigungsbescheid dieser Rechtsgrundlage inne.

Im Rahmen der Prozessführung kommt der Prozesstemperatur, die während des Biogasprozesses im Fermenter vorherrscht, eine besondere Bedeutung zu. Generell wird zwischen „mesophilen“ und „thermophilen“ Bedingungen unterschieden. Die Grenze der Temperaturbereiche ist in der Literatur nicht exakt definiert und wurde für diese Arbeit mit 50 °C festgesetzt. Demnach wird eine Prozesstemperatur von 50 °C oder höher als thermophil bezeichnet.

Die besondere Aufmerksamkeit auf die Temperaturverhältnisse rechtfertigt sich nicht nur im Hinblick auf die verfahrenstechnische Auslegung der Anlage, sondern auch durch die vorhandene Gesetzeslage. Diese sieht je nach Inputmaterialien und eingestellter Prozesstemperatur zwingend eine Hygienisierung unter definierten Bedingungen für Temperatur, Druck, Verweildauer des Substrats in der Hygienisierungseinheit und Größtkorn vor. Daraus ergibt sich die Ausnahmestellung dieses Parameters, der in dieser Arbeit im Detail in den Kapiteln 3.3.2 „Hygienisierung von Inputmaterial“ und 3.3.3 „Verfahrensmerkmale“ - Stichwort „Temperatur“ - Rechnung getragen wurde.

Die Merkmale „Beschickungsart des Fermenters“ und „Durchmischungsart des Fermenters“ spielen für die Erlangung eines Gesamteindrucks der Biogasanlagen in der Steiermark eine untergeordnete Rolle und finden deshalb in diesem Kapitel keine nähere Ausführung. Eine Beschreibung und Kommentierung dieser Parameter findet sich in den Kapiteln 5.3 „Betrieb“ bzw. 5.4 „Durchmischung“.

Gemäß § 2 (1) „Allgemeine Aufzeichnungspflicht“ der Abfallnachweisverordnung besteht in Österreich die Verpflichtung Art, Menge, Herkunft und Verbleib von Abfällen zu dokumentieren [14, § 2(1)]. In Anlehnung an diese vier Grundsäulen wurde die stoffflusswirtschaftliche Betrachtung in diesem Projekt konzipiert. „Art“ und „Menge“ der Materialien erfuhr jeweils eine getrennte Bearbeitung in den Kapiteln 5.5.1 „Inputmaterial“ und 5.5.2 „Output“, während die nähere Betrachtung der „Herkunft“ der Substanzen nur bei den eingebrachten Stoffen (siehe Unterteilung in die Gruppen „Herkunft: Landwirtschaft“ und „Herkunft: Gewerbe“ in Kapitel 5.5.1 „Inputmaterial“) und der „Verbleib“ lediglich bei den ausgehenden Massen (siehe Stichwort „Output verwertet“ in Kapitel 5.5.2.1 „Stofflich“) sinnvoll zu erfassen erschien.

Nach Inbetriebnahme der Anlagen „In Planung“ werden in die 40 betrachteten Biogasanlagen in der Steiermark rund 239.000 t/a Material eingebracht werden und rund 260.000 t/a an stofflichen Produkten die Anlagen verlassen. Dieser stoffliche Output umfasst rund 43.700 t/a Biogas sowie rund 216.000 t/a Vergorenes (Biogasgülle und Gärrückstände)<sup>17)</sup>. Die aus dem Biogas gewonnene energetische Leistung beträgt rund 82.600 MWh/a elektrisch und rund 85.100 MWh/a thermisch. Das vergorene Substrat wird zum überwiegenden Anteil von 184.000 t/a landwirtschaftlich verwertet. Lediglich 4.000 t/a sind für eine Kompostierung vorgesehen. Tabelle 9 fasst die Kennzahlen der Stoffflüsse zusammen.

---

<sup>17)</sup> Die Summe der im Text verwendeten gerundeten Werte beträgt 259.700 t/a. Der angegebene Wert 260.000 t/a ergibt sich aus den Rundungsregeln, siehe Kapitel 4.2 „Berechnungsweise“.



Tabelle 9: Stoffflusskennzahlen der Biogasanlagen in der Steiermark

Kennzahlen Stoffflüsse							
Input Material	Output stofflich			Output Leistung		Output stoffliche Verwertung	
gesamt	gesamt	Biogas	Biogasgülle + Gärrückstände	elektrisch	thermisch	Landwirtschaft	Kompost
[t/a]	[t/a]	[t/a]	[t/a]	[MWh/a]	[MWh/a]	[t/a]	[t/a]
239.000	260.000	43.700	216.000	82.600	85.100	184.000	4.000

In dieser Studie sind 40 Biogasanlagen in der Steiermark erfasst, wovon sich 36 Anlagen „In Betrieb“ befinden und vier Betreiber ihre Anlagen noch nicht angefahren haben. Durch die Diversität des Datenmaterials von 40 Anlagen gewährleistet diese Arbeit einen repräsentativen Überblick über die Ist-Situation (Stand Juli 2005) dieses Sektors der steiermärkischen Abfallwirtschaft.

## 8 Verzeichnisse

### 8.1 Literatur

- [1] Maier, J.: Bioverfahrenstechnik – Folienskriptum zur Vorlesung LV.Nr. 510502. Teil 3. Leoben: Montanuniversität Leoben, Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik, 2005.
- [2] BGBl. I 2002/102. Bundesgesetz vom 1. Juli 2002 über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002 – AWG 2002).
- [3] BGBl. II 1997/227 idF v. BGBl. II 2000/178: Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie über die Festsetzung von gefährlichen Abfällen und Problemstoffen (Festsetzungsverordnung gefährliche Abfälle).
- [4] Weiland, P.: Verfahrenstechnik der anaeroben Behandlung organischer Abfälle. In: Kämpfer, P., Weißenfels, W. (Hrsg.): Biologische Behandlung organischer Abfälle. Berlin: Springer, 2001. – ISBN 3-540-41915-2, S. 99-122
- [5] Scherer, P.: Mikrobiologie der Vergärung von festen Abfallstoffen. In: Kämpfer, P., Weißenfels, W. (Hrsg.): Biologische Behandlung organischer Abfälle. Berlin: Springer, 2001. – ISBN 3-540-41915-2, S. 45-80
- [6] Plöchl, M.: Technische Nutzung von Biogas. In: Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg (Hrsg.): Biogas in der Landwirtschaft. Potsdam: Arbeitsgruppe BIOGAS der Brandenburgischen Energie Technologie Initiative (ETI), 2003, S. 24-28
- [7] Pfundtner, E.: Der sachgerechte Einsatz von Biogasgülle und Gärrückständen im Acker- und Grünland., Wien: Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz beim Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umweltschutz und Wasserwirtschaft, 2001.
- [8] Bundesministerium für Gesundheit und Frauen (Hrsg.): Erlass GZ: 39.190/12-IV/B/7/04 betreffend die Verarbeitung von tierischen Nebenprodukten in Biogas- und Kompostieranlagen, Ablieferung und Sammlung von Küchen- und Speiseabfällen sowie ehemaligen Lebensmitteln. Wien: BMGF, 2004.
- [9] Reichard, T.: Biogasanlagen in der Steiermark – eine Bestandsaufnahme per Juli 2005., Graz: Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 19D Abfall- und Stoffflusswirtschaft, 2005.

- [10] Lorber, K.: Stoffliche Verwertung von Umkehrosmose-Sickerwasserkonzentrat zur Deponie-Rückbewässerung mit erhöhter Deponiegasproduktion und verkürzter Nachsorgephase. Gutachten im Auftrag der A.S.A. Abfallservice Halbenrain GmbH, 2006.
- [11] Europäische Union: Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 3. Oktober 2002 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte. In: Amtsblatt Nr. L114 vom 10/10/2002.
- [12] Bundesministerium für Gesundheit und Frauen (Hrsg.): Erläuterung zum Erlass GZ: 39.190/12-IV/B/7/04 Spezifische Bedingungen bei der Verarbeitung tierischer Nebenprodukte in Kompostier- und Biogasanlagen. Wien: BMGF, 2004.
- [13] Roschke, M.: Verwertung der Gärrückstände. In: Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg (Hrsg.): Biogas in der Landwirtschaft. Potsdam: Arbeitsgruppe BIOGAS der Brandenburgischen Energie Technologie Initiative (ETI), 2003, S. 29-30
- [14] BGBl. II 2003/618. Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Nachweispflicht für Abfälle (Abfallnachweisverordnung 2003)

## 8.2 Abkürzungen

°C	Grad Celsius
$\rho$	Dichte
%	Prozent
<	kleiner als
>	größer als
$\leq$	kleinergleich
$\geq$	größergleich
a	Jahr
atm	Atmosphäre, Atmosphärendruck
ATP	Adenosintriphosphat
AWG	Abfallwirtschaftsgesetz
BGBl	Bundesgesetzblatt
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMGF	Bundesministerium für Gesundheit und Frauen
bzw.	beziehungsweise
C	Kohlenstoff

CH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> H, HAc	Essigsäure
CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	Methylamin
CH <sub>3</sub> OH	Methanol
CH <sub>4</sub>	Methan
CO	Kohlenmonoxid
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
d.h.	das heißt
Durchm.	Durchmischung
EG	Europäische Gemeinschaft
evtl.	eventuell
FA19D	Fachabteilung 19D, Steiermärkische Landesregierung
FC	fuel cell, englische Bezeichnung der Brennstoffzelle
Gasgesetz	steiermärkisches Gasgesetz
gef. Abfälle	gefährliche Abfälle
GewO	Gewerbeordnung
GIS	Geographisches Informationssystem
GZ	Geschäftszeichen
h	Stunde
H <sub>2</sub>	molekularer Wasserstoff
H <sub>2</sub> O	Wasser
H <sub>2</sub> S	Schwefelwasserstoff
HCO <sub>2</sub> H	Ameisensäure
HPro	Propionsäure
Hrsg.	Herausgeber
idF v.	in der Fassung vom
k	Korngröße des Größtkorns
k.A.	keine Angaben in der gesamten Rubrik
Kap.	Kapitel
Kat	Kategorie
kg	Kilogramm, eintausend Gramm
kJ	Kilojoule, eintausend Joule
Kompost	Kompost (Produkt), Kompostierung (Verfahren)
Landwirt.	landwirtschaftlich, Landwirtschaft
LV.Nr.	Lehrveranstaltungsnummer
m. Feststoffabtr.	mit Feststoffabtrennung
m <sup>3</sup> /a	Kubikmeter pro Jahr
mbar	Millibar, tausendstel bar
mg	Milligramm, tausendstel Gramm
mm	Millimeter, tausendstel Meter
MWh/a	Megawattstunden pro Jahr
N	elementarer Stickstoff
N <sub>2</sub>	molekularer Stickstoff

N <sub>2</sub> O	Lachgas
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ammonium
Nr.	Nummer
O	elementarer Sauerstoff
o. Feststoffabtr.	ohne Feststoffabtrennung
O <sub>2</sub>	molekularer Sauerstoff
oTS	organische Trockensubstanz
PH <sub>2</sub>	Wasserstoffpartialdruck
reg. GenmbH	registrierte Genossenschaft mit beschränkter Haftung
S	Schwefel
SO	Schwefeloxid
SO <sub>2</sub>	Schwefeldioxid
Stk	Stück
t	Tonne
t/a	Tonnen pro Jahr
TM	Trockenmasse
TNP-VO	Tierische Nebenprodukte Verordnung
TS	Trockensubstanz
u.a.	und andere
v.a.	vor allem
Vol %	Volumsprozent
WRG	Wasserrechtsgesetz
z.B.	zum Beispiel

### 8.3 Tabellen

Tabelle 1: Komponenten und deren Anteile im Biogas .....	9
Tabelle 2: Verfahrensparameter von Vergärungsverfahren für feste Abfallstoffe .....	16
Tabelle 3: Steuerungsmöglichkeiten zur Erreichung einer separaten, sauren Hydrolysestufe bei der Feststoffvergärung .....	24
Tabelle 4: Unterscheidungsparameter von BHKW-Aggregaten .....	29
Tabelle 5: Typen von Brennstoffzellen (englisch FC = fuel cell) und deren Eigenschaften ...	30
Tabelle 6: Kategorien der Inputmaterialien .....	44
Tabelle 7: Leistungsbereiche Kategorien Elektrisch .....	55
Tabelle 8: Leistungsbereiche Kategorien Thermisch .....	58
Tabelle 9: Stoffflusskennzahlen der Biogasanlagen in der Steiermark .....	68

## 8.4 Abbildungen

Abbildung 1: Abhängigkeit des CH <sub>4</sub> -Gehalts im Biogas von der Stoffgruppe des Inputmaterials .....	10
Abbildung 2: Schema des anaeroben Abbaus organischer Substanz .....	12
Abbildung 3: Auswirkung des PH <sub>2</sub> auf die Thermodynamik der bakteriellen Umsetzung von Acetat, Propionat, Ethanol sowie der Methanbildung aus H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> .....	13
Abbildung 4: Allgemeines Verfahrensschema der Abfallvergärung .....	14
Abbildung 5: Fließbild der ein- und zweistufigen Nassvergärung .....	19
Abbildung 6: Konzentrationsverschiebung von HAc, HPro, H <sub>2</sub> S und NH <sub>3</sub> in Abhängigkeit des pH-Werts.....	23
Abbildung 7: Theoretisch mögliche Biogaserträge einiger Stoffgruppen .....	24
Abbildung 8: C-Bilanz der Vergärung von Bioabfall mit Nachkompostierung .....	26
Abbildung 9: Nutzungsoptionen und Aufbereitungsschritte von Biogas .....	27
Abbildung 10: Karte: Biogasanlagen in der Steiermark.....	32
Abbildung 11: Verteilung der Anlagen: Genehmigungen „In Betrieb“ .....	35
Abbildung 12: Verteilung der Anlagen: Genehmigungen „In Planung“.....	35
Abbildung 13: Verteilung der Anlagen: Bewilligungsverfahren „In Betrieb“ .....	36
Abbildung 14: Verteilung der Anlagen: Bewilligungsverfahren „In Planung“ .....	37
Abbildung 15: Verteilung der Anlagen: Prozessparameter „In Betrieb“ .....	39
Abbildung 16: Verteilung der Anlagen: Prozessparameter „In Planung“ .....	39
Abbildung 17: Verteilung der Anlagen: Beschickungsarten „In Betrieb“ .....	40
Abbildung 18: Verteilung der Anlagen: Beschickungsarten „In Planung“ .....	41
Abbildung 19: Verteilung der Anlagen: Durchmischungsarten „In Betrieb“ .....	42
Abbildung 20: Verteilung der Anlagen: Durchmischungsarten „In Planung“ .....	42
Abbildung 21: Verteilung der Anlagen: Inputmaterialien aus Landwirtschaft „In Betrieb“ .....	44
Abbildung 22: Inputmengen aus Landwirtschaft „In Betrieb“ .....	45
Abbildung 23: Verteilung der Anlagen: Inputmaterialien aus Gewerbe „In Betrieb“ .....	45
Abbildung 24: Inputmengen aus Gewerbe „In Betrieb“ .....	46
Abbildung 25: Verteilung der Anlagen: Inputmaterialien aus Landwirtschaft „In Planung“ .....	46
Abbildung 26: Inputmengen aus Landwirtschaft „In Planung“ .....	47

Abbildung 27: Verteilung der Anlagen: Inputmaterialien aus Gewerbe „In Planung“ .....	47
Abbildung 28: Inputmengen aus Gewerbe „In Planung“ .....	48
Abbildung 29: Inputmengen Steiermark gesamt .....	49
Abbildung 30: Verteilung der Anlagen: Output Vergorenes „In Betrieb“ .....	50
Abbildung 31: Verteilung der Anlagen: Output Vergorenes „In Planung“ .....	51
Abbildung 32: Outputmengen stofflich Steiermark gesamt .....	52
Abbildung 33: Verteilung der Anlagen: stoffliche Verwertung „In Betrieb“ .....	53
Abbildung 34: Verteilung der Anlagen: stoffliche Verwertung „In Planung“ .....	54
Abbildung 35: Output stoffliche Verwertung Steiermark gesamt .....	55
Abbildung 36: Verteilung der Anlagen: Output elektrische Leistung „In Betrieb“ .....	56
Abbildung 37: Verteilung der Anlagen: Output elektrische Leistung „In Planung“ .....	56
Abbildung 38: Output elektrisch Steiermark gesamt .....	58
Abbildung 39: Verteilung der Anlagen: Output thermische Leistung „In Betrieb“ .....	59
Abbildung 40: Verteilung der Anlagen: Output thermische Leistung „In Planung“ .....	59
Abbildung 41: Output thermisch Steiermark gesamt .....	61

# ANHANG

## A. Materialdichten

Input					
Kat. No	Kategorie	Material	Herkunft	Dichte $\rho$ [t/m <sup>3</sup> ] <sup>*)</sup>	
I	Wirtschaftsdünger	Schweinegülle	Landwirt.	1,1	
		Rindergülle	Landwirt.	1,1	
		Biogasgülle	Landwirt.	0,95	
		Hühnermist	Landwirt.	0,75	
II	Landwirt. Reststoffe	Rasenschnitt	Landwirt.	0,5	
		Maiskorn	Landwirt.	0,4	
		Getreideabfälle	Landwirt.	0,4	
		Weizenkleie	Landwirt.	0,4	
III	Silage	Maisilage	Landwirt.	0,5	
		Grassilage	Landwirt.	0,5	
IV	Altfette	Frittierfett	Gewerbe	0,91	
V	Speisereste	Küchenabfälle	Gewerbe	0,7	
VI	Lebensmittelindustrie	Schlachtabfälle	Gewerbe	1,1	
		Futtermolke	Gewerbe	1,1	
		Schlempe	Gewerbe	1,1	
		Obstrestern	Gewerbe	0,7	
		Rübenschnitte	Gewerbe	0,7	
VII	ausgestufte gef. Abfälle	Glycerinphase	Gewerbe	1,01	
Output					
		Material		Dichte $\rho$ [t/m <sup>3</sup> ] [6, S.24]	
		Biogas		0,0012	

\*) laut Angabe diverser Anlagenbetreiber



## B. Kalkulationstabellen

In diesem Kapitel des Anhangs sind die detaillierten Kalkulationstabellen in der Reihenfolge des Textflusses angeführt. Aus Datenschutzgründen werden die Anlagenbetreiber nicht namentlich genannt. Um die eindeutige Zuordnung der Daten zu den jeweiligen Biogasanlagen zu gewährleisten wurde die Nummerierung der Anlagen von 1-40 aus dem Projektbericht „Biogasanlagen in der Steiermark – Eine Bestandsaufnahme per Juli 2005“ [9] beibehalten.

### 5.1 Bescheid

#### 5.1.1 Datum des Genehmigungsbescheids

No	1980iger	1990iger	2000	2001	2002	2003	2004
1		1					
2						1	
3							1
4				1			
5				1			
6		1					
7		1					
8							
9		1					
10							1
11	1						
12							1
13		1					
14						1	
15							1
16							1
17					1		
18							1
19							
20							
21					1		
22	1						
23							1
24						1	
25		1					
26							1
27					1		
28						1	
29						1	
30		1					
31						1	
32		1					
33				1			
34							

No	1980iger	1990iger	2000	2001	2002	2003	2004
35		1					
36							1
37							1
38						1	
39							1
40						1	
	2	9	0	3	3	8	11
8					1		
19						1	
20						1	
34							1
	0	0	0	0	1	2	1

Legende Datum:

Anlage "In Betrieb"

Anlage "In Planung"

1980iger = 1980-1989

1990iger = 1990-1999

1 = JA

### 5.1.2 Bewilligungsverfahren

No	GewO	WRG	GewO+WRG	AWG	Gasgesetz	k.A.
1					1	
2			1			
3					1	
4	1					
5	1					
6		1				
7						1
8						
9	1					
10	1					
11						1
12	1					
13					1	
14	1					
15	1					
16	1					
17			1			
18	1					
19						
20						
21	1					
22					1	
23						1
24	1					
25		1				
26	1					
27	1					
28						1
29	1					
30						1
31	1					

No	GewO	WRG	GewO+WRG	AWG	Gasgesetz	k.A.
32	1					
33	1					
34						
35	1					
36	1					
37				1		
38	1					
39	1					
40			1			
	<b>21</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
8	1					
19	1					
20	1					
34	1					
	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Legende Bewilligung:

Anlage "In Betrieb"

Anlage "In Planung"

GewO = Gewerbeordnung  
 WRG = Wasserrechtsgesetz  
 GewO+WRG = nach Gewerbeordnung und Wasserrechtsgesetz genehmigt  
 AWG = Abfallwirtschaftsgesetz  
 Gasgesetz = steiermärkisches Gasgesetz  
 k.A. = keine Angaben in der gesamten Rubrik  
 1 = JA

**5.2 Prozess**

No	T	TM		Vergärung		Hygienisierung		Hyg_ ja	Hyg_ nein
		>= 50°C	< 50°C	<15% TM	20-40% TM	Mono	Co		
1			1	1			1		1
2			1	1			1		1
3			1	1			1		1
4			1	1			1		1
5			1	1			1	1	
6			1	0	0		1		1
7		1		1			1		1
8									
9			1		1		1		1
10			1	1			1	1	
11			1	1		1		0	0
12			1	1			1		1
13			1	1		1			1
14			1	1			1		1
15			1	1			1	1	
16			1	1			1	1	
17			1	1			1	0	0
18			1	1			1		1
19									
20									
21			1	1			1		1
22			1	1			1		1

No	T	TM		Vergärung		Hygienisierung		Hyg_ ja	Hyg_ nein
		>= 50°C	< 50°C	<15% TM	20-40% TM	Mono	Co		
23			1	1			1	0	0
24			1	1			1	1	
25			1	1			1		1
26			1	1			1		1
27			1	1			1	0	0
28			1		1		1		1
29			1	1			1		1
30			1	1			1	0	0
31			1	1			1	1	
32			1	1			1		1
33			1	1			1	0	0
34									
35			1	1			1	1	
36			1	1			1		1
37			1	1			1	0	0
38			1	1			1		1
39			1	1			1	0	0
40			1	1			1		1
		1	35	33	2	4	32	7	21
8			1	1			1	1	
19			1	1			1		1
20			1	1			1		1
34			1	1			1	0	0
		0	4	4	0	2	2	1	2

Legende Prozess:

Anlage "In Betrieb"

Anlage "In Planung"

T = Temperatur in °C

TM = Anteil Trockenmasse in %

0 = keine Angaben zu diesem Punkt

1 = JA

### 5.3 Betrieb

No	batch	fed-batch	kontinuierlich	fed-batch+kontinuierlich	k.A.
1		1			
2			1		
3		1			
4			1		
5			1		
6			1		
7			1		
8					
9			1		
10			1		
11			1		
12			1		
13			1		
14			1		
15			1		
16			1		

No	batch	fed-batch	kontinuierlich	fed-batch+kontinuierlich	k.A.
17	1				
18				1	
19					
20					
21					1
22			1		
23				1	
24			1		
25			1		
26			1		
27			1		
28				1	
29			1		
30					1
31			1		
32			1		
33			1		
34					
35			1		
36			1		
37			1		
38			1		
39			1		
40			1		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>28</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
8		1			
19			1		
20			1		
34			1		
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Legende Betrieb:

Anlage "In Betrieb"

Anlage "In Planung"

fed-batch+kontinuierlich = Anlage sowohl fed-batch als auch kontinuierlich betrieben

k.A. = keine Angaben in der gesamten Rubrik

1 = JA

## 5.4 Durchmischung

No	mechanisch	hydraulisch	pneumatisch	mechanisch + hydraulisch	mechanisch + pneumatisch
1				1	
2	1				
3	1				
4	1				
5	1				
6	1				
7	1				
8					
9	1				
10	1				
11	1				
12	1				
13			1		
14	1				
15	1				
16	1				
17	1				
18	1				
19					
20					
21	1				
22			1		
23	1				
24	1				
25	1				
26					1
27				1	
28	1				
29	1				
30	1				
31	1				
32	1				
33				1	
34					
35	1				
36	1				
37	1				
38	1				
39	1				
40	1				
	<b>30</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>
8	1				
19	1				
20	1				
34	1				
	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

## Legende Durchmischung:

Anlage "In Betrieb"

Anlage "In Planung"

mechanisch + pneumatisch = Durchmischung erfolgt sowohl mechanisch als auch pneumatisch

mechanisch + hydraulisch = Durchmischung erfolgt sowohl mechanisch als auch hydraulisch

1 = JA

## 5.5 Stoffflusswirtschaftliche Betrachtung

### 5.5.1 Inputmaterial

#### Berechnung Inputmaterial im Detail

#### Verteilung der Anlagen nach Inputmaterial

No	Landwirtschaft			Gewerbe			
	Kat I [t/a]	Kat II [t/a]	Kat III [t/a]	Kat IV [t/a]	Kat V [t/a]	Kat VI [t/a]	Kat VII [t/a]
1	1	1	1		1		
2	1		1				
3	1		1				
4	1	1			1	1	1
5	1			1	1		
6	1	1		1	1	1	
7	1		1	1			
8							
9	1	1		1			
10	1		1	1	1	1	
11	1						
12	1	1	1				
13	1						
14	1	1	1				
15				1		1	
16				1	1	1	
17	1	1	1			1	
18	1		1				
19							
20							
21		1	1				
22	1			1	1		
23	1		1				
24		1	1	1	1	1	
25						1	
26	1		1				
27		1	1				
28		1	1				
29	1	1	1				
30	1	1					
31	1					1	
32	1		1				
33	1	1	1				
34							
35	1				1		
36	1		1				
37	1	1	1				
38	1	1	1				
39			1			1	
40	1	1	1				
	<b>28</b>	<b>17</b>	<b>23</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>1</b>
8	1	1		1	1	1	
19		1	1				
20		1	1				
34	1		1				
	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>

## Inputmengen

No	Material	Landwirtschaft			Gewerbe			
		Kat I [t/a]	Kat II [t/a]	Kat III [t/a]	Kat IV [t/a]	Kat V [t/a]	Kat VI [t/a]	Kat VII [t/a]
1	Rindergülle	188						
	Schweinegülle	317						
	Grassilage			110				
	Maissilage			110				
	Küchenabfälle					110		
	Grünschnitt		110					
	Schweinemist	110						
2	Silomais			7.200				
	Gülle	880						
	Hühnermist	135						
3	Silomais			1.000				
	Grassilage			500				
	Maiskornsilage			300				
	Rindergülle	550						
4	Schweinegülle	6.600						
	Getreideabfälle und Weizenkleie		2.000					
	Glycerinphase							152
	Susmehl, Teigreste						500	
	Fruchtsaftabfälle						400	
	Speisereste					1.400		
5	Geflügelkot	1.560						
	Schweinegülle	1.009						
	Rindergülle	600						
	Fettabscheiderinhalte				480			
	Küchen- und Speisereste					1.151		
	Sonstige	100						
6	Rindermist	300						
	Rindergülle	300						
	Grünschnitt		150					
	Abfälle von Obst und Gemüseverarbeitung						150	
	Biogener Abfall aus Haushalten						100	
	Speisereste					120		
	Frittieröle				80			
7	Fettabscheider				200			
	Fette/Öle				50			
	Gülle	1.650						
	Festmist	550						
	Silomais			550				
	Grassilage			550				
8								
9	Stallmist	975						
	Rasenschnitt		50					
	Frittierfett				54			
10	Speiseabfälle					2.500		
	Fettabscheider-Flotat				500			
	Frittierfett				19			
	Schlempe						187	
	Schweinegülle	660						
	Obstrestern						133	
	Hühnermist (Einstreu)	263						
	Legehühnermist	56						
	Silage			150				
11	Rindergülle	550						
12	Maissilage			8.500				
	Schweinegülle	2.750						
	Grünschnitt		100					
	Rindergülle	550						



No	Material	Landwirtschaft			Gewerbe			
		Kat I [t/a]	Kat II [t/a]	Kat III [t/a]	Kat IV [t/a]	Kat V [t/a]	Kat VI [t/a]	Kat VII [t/a]
13	Hühnergülle	5,5						
	Schweinegülle	5,5						
	Hühnermist	4,0						
14	Maissilage			5.050				
	Mais Ganzkorn		850					
	Hühnermist	360						
	Schweinegülle	1.870						
15	Klärschlamm						10.000	
	Molkereischlamm						1.460	
	Fettabscheiderinhalte				1.000			
16	Speisereste					1.000		
	Biomüll						2.490	
	Fettabscheiderinhalte				1.000			
17	Silo Mais			4.500				
	Sonnenblumen		1.000					
	CCM		1.500					
	Schweinegülle	1.500						
	Vinasse						1.500	
18	Silo mais			10.000				
	Grassilage, Grünroggen			1.000				
	Schweinegülle	3.300						
19								
20								
21	Maissilage			8.000				
	Maiskornsilage			160				
	Sonnenblumen		1.000					
22	Rindergülle	1.260						
	Schweinegülle	180						
	Altspeseöle				36			
	Altspesereste					216		
23	Ganzpflanzensilage (Mais,Gras, Sonnenblume)			5.000				
	Gülle	1.100						
	Hühnermist	200						
24	Silomais			1.500				
	CCM (Körnermais, naß)		960					
	Grassilage			280				
	Flotate (Fleischindustrie)						1.600	
	Fettabscheiderfett				30			
	Speisereste					1.200		
25	Abfälle aus der Fruchtverarbeitung						2.700	
26	Schweinegülle	5.500						
	Silomais			7.500				
27	Maiskorn		3.000					
	Maisilage			3.000				
	Grassilage			600				
28	Maiskorn		3.000					
	Maisilage			3.000				
	Grassilage			600				
29	Maissilage			6.000				
	Körnermais		1.200					
	Hühnermist	500						
30	Hühnergülle	660						
	Mais		60					
31	Hühnerblut/Hühnerdärm						3.146	
	Panseninhalt/Grieben						4.290	
	Futtermolke						2.574	
	Stallmist	585						
32	Rindergülle	1.100						
	Grassilage			250				
	Maissilage			50				

No	Material	Landwirtschaft			Gewerbe			
		Kat I [t/a]	Kat II [t/a]	Kat III [t/a]	Kat IV [t/a]	Kat V [t/a]	Kat VI [t/a]	Kat VII [t/a]
33	Silomais			2.200				
	Getreideabfall und Mußmais		135					
	Schweinegülle	3.300						
34								
35	Rindergülle und Mist	1.320						
	Speisereste					140		
36	Schweinegülle	2.200						
	Silomais			3.000				
37	Körnermais		15					
	Silomais			15				
	Gülle	35						
38	Maissilage			6.500				
	Sorghum (Hirse)		1.000					
	Schweinegülle	1.500						
	Maiskornsilage			1.000				
39	Grassilage			4.380				
	Maissilage			4.740				
	Molke						6.750	
40	Silomais			6.671				
	CCM		705					
	Grassilage			152				
	Grünschnittroggen		408					
	Stallmist	125						
	Schweinegülle	5.000						
		<b>47.138</b>	<b>17.243</b>	<b>103.966</b>	<b>3.449</b>	<b>7.837</b>	<b>37.980</b>	<b>152</b>
8	Schweinegülle	3.900						
	Mais		400					
	Grünschnitt		500					
	Bioabfall						1.500	
	Speiseöle				50			
	Speisereste					2.500		
	Fettabscheider				500			
	Obst und Konserven						500	
19	Silomais			2.000				
	Körnermais		2.000					
20	Silomais			2.000				
	Körnermais		2.000					
34	Gülle	964						
	Silage (Gras, Mais)			2.000				
		<b>4.864</b>	<b>4.900</b>	<b>6.000</b>	<b>550</b>	<b>2.500</b>	<b>2.000</b>	<b>0</b>

### Überblick Inputmaterial

Menge	Kat I	Kat II	Kat III	Landwirt. gesamt	Kat IV	Kat V	Kat VI	Kat VII	Gewerbe gesamt	Stmk
exakt	[t/a]	[t/a]	[t/a]	[t/a]	[t/a]	[t/a]	[t/a]	[t/a]	[t/a]	[t/a]
	47.138	17.243	103.966	168.347	3.449	7.837	37.980	152	49.418	217.764
	4.864	4.900	6.000	15.764	550	2.500	2.000	0	5.050	20.814
gerundet	Stmk total: 238.578									
	47.100	17.200	104.000	168.000	3.400	7.800	38.000	200	49.400	218.000
	4.900	4.900	6.000	15.800	600	2.500	2.000	0	5.100	20.800
	Stmk total: 239.000									
Anzahl	Kat I	Kat II	Kat III		Kat IV	Kat V	Kat VI	Kat VII		
	[Stk]	[Stk]	[Stk]		[Stk]	[Stk]	[Stk]	[Stk]		
	28	17	23		9	9	10	1		
	2	3	3		1	1	1	0		

Überblick Inputmaterial (Fortsetzung)

Gruppen gerundet		
Landwirt.	Gewerbe	Stmk
[t/a]	[t/a]	[t/a]
168.000	49.400	218.000
15.800	5.100	20.800
Stmk total:		239.000
Verteilung der Anteile		
Landwirt.	Gewerbe	Stmk
77%	23%	100%
76%	24%	100%

Legende Inputmaterial:

Anlage "In Betrieb"

Anlage "In Planung"

Kat I = Kategorie I = Wirtschaftsdünger

Kat II = Kategorie II = landwirtschaftliche Reststoffe

Kat III = Kategorie III = Silage

Kat IV = Kategorie IV = Altfette

Kat V = Kategorie V = Speisereste

Kat VI = Kategorie VI = Lebensmittelindustrie

Kat VII = Kategorie VII = ausgestufte gefährliche Abfälle

Landwirt. = Landwirtschaft

Stmk = Steiermark

1 = JA

**5.5.2 Output****5.5.2.1 Stofflich-Output produziert**Berechnung Output stofflich im Detail

## Verteilung der Anlagen nach Output stofflich

No	Biogas [m <sup>3</sup> /a]	Biogas [t/a]	Biogasgülle [t/a]	Gärrückstände [t/a]	Biogasgülle + Gärrückstände [t/a]	k.A.
1	1		1			
2	1			1		
3	1		1			
4	1		1			
5	1		1			
6	0		0	0	0	1
7	0		1			
8						
9	0		1			
10	1		1			
11	1		1			
12	1		1			
13	1		1			
14	1		1			
15	1		0	0	0	
16	1		0	0	0	
17	1		1			
18	1		1			
19						
20						
21	0		0	1		
22	1				1	
23	1		1			
24	1		1			
25	1			1		

No	Biogas [m <sup>3</sup> /a]	Biogas [t/a]	Biogasgülle [t/a]	Gärrückstände [t/a]	Biogasgülle + Gärrückstände [t/a]	k.A.
26	1		1			
27	1		1			
28	0		1	0		
29	0		1	0		
30	1		0	0	0	
31	1		1			
32	1		1			
33	1		1			
34						
35	1		1			
36	1		1			
37	1		1			
38	0		1	0		
39	1				1	
40	1		1			
	<b>29</b>		<b>27</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
8	1			1		
19	1		1			
20	1		1			
34	1		1			
	<b>4</b>		<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

## Outputmengen stofflich

No	Biogas [m <sup>3</sup> /a]	Biogas [t/a]	Biogasgülle [t/a]	Gärrückstände [t/a]	Biogasgülle + Gärrückstände [t/a]	k.A.
1	160.000	192	2.850		2.850	
2	1.600.000	1.920		7.000	7.000	
3	630.000	756	3.325		3.325	
4	1.000.000	1.200	7.600		7.600	
5	430.000	516	4.900		4.900	
6	0	0	0	0	0	1
7	0	0	2.500		2.500	
8		0			0	
9	0	0	1.140		1.140	
10	680.000	816	2.850		2.850	
11	1.400	2	500		500	
12	2.160.000	2.592	13.200		13.200	
13	800	1	14		14	
14	1.750.000	2.100	6.175		6.175	
15	282.510	339	0	0	0	
16	545.310	654	0	0	0	
17	2.400.000	2.880	9.000		9.000	
18	2.000.000	2.400	9.500		9.500	
19		0			0	
20		0			0	
21	0	0	0	7.809	7.809	
22	86.400	104	1.400	2	1.402	
23	1.600.000	1.920	11.400		11.400	
24	2.180.000	2.616	7.300		7.300	
25	1.000.000	1.200		1.000	1.000	
26	2.240.000	2.688	16.150		16.150	

No	Biogas [m <sup>3</sup> /a]	Biogas [t/a]	Biogasgülle [t/a]	Gärrückstände [t/a]	Biogasgülle + Gärrückstände [t/a]	k.A.
27	2.555.000	3.066	8.000		8.000	
28	0	0	6.650	0	6.650	
29	0	0	3.800	0	3.800	
30	200	0	0	0	0	
31	1.000.000	1.200	11.638		11.638	
32	225.000	270	1.520		1.520	
33	1.300.000	1.560	4.275		4.275	
34		0			0	
35	350	0	1.520		1.520	
36	960.000	1.152	5.700		5.700	
37	10.300	12	50		50	
38	0	0	9.000	0	9.000	
39	2.023.000	2.428	12.442	1.000	13.442	
40	2.078.748	2.494	9.500		9.500	
	<b>30.899.018</b>	<b>37.079</b>	<b>173.899</b>	<b>16.811</b>	<b>190.710</b>	<b>1</b>
8	1.125.260	1.350		2.000	2.000	
19	2.000.000	2.400	8.550		8.550	
20	2.000.000	2.400	8.550		8.550	
34	409.619	492	6.376		6.376	
	<b>5.534.879</b>	<b>6.642</b>	<b>23.476</b>	<b>2.000</b>	<b>25.476</b>	<b>0</b>

### Überblick Output stofflich

Menge	Output stofflich exakt				
	Biogas	Biogasgülle	Gärrückstände	Biogasgülle + Gärrückstände	stoff gesamt
	[t/a]	[t/a]	[t/a]	[t/a]	[t/a]
	37.079	173.899	16.811	190.710	227.789
	6.642	23.476	2.000	25.476	32.118
Summe:	43.721			216.186	259.907
Anzahl	Output stofflich gerundet				
	Biogas	Biogasgülle	Gärrückstände	Biogasgülle + Gärrückstände	
	[Stk]	[Stk]	[Stk]	[Stk]	
	29	27	3	2	
	4	3	1	0	

Output stofflich gerundet				
Biogas	Biogasgülle	Gärrückstände	Biogasgülle + Gärrückstände	stoff gesamt
[t/a]	[t/a]	[t/a]	[t/a]	[t/a]
37.100	174.000	16.800	191.000	228.000
6.600	23.500	2.000	25.500	32.100
43.700			216.000	260.000
Verteilung der Anteile				
Biogas	Biogasgülle	Gärrückstände	Biogasgülle + Gärrückstände	stoff gesamt
16%	76%	7%	84%	100%
21%	73%	6%	79%	100%

Legende Output stofflich:

Anlage "In Betrieb"

Anlage "In Planung"

Biogasgülle + Gärrückstände = Anfall von sowohl Biogasgülle als auch Gärrückständen

k.A. = keine Angaben in der gesamten Rubrik

0 = keine Angaben zu diesem Punkt

1 = JA

Summe = Menge in Betrieb + in Planung

stoff = stofflich

### 5.5.2.2 Elektrisch

#### Berechnung Output elektrisch im Detail

Verteilung der Anlagen nach Output elektrisch

No	Kat A [MWh/a]	Kat B [MWh/a]	Kat C [MWh/a]	keine Verstromung	k.A.
1	1				
2		1			
3	1				
4		1			
5	1				
6	0	0	0	0	1
7	1				
8					
9	1				
10	1				
11	0	0	0	0	1
12			1		
13	1				
14	1				
15	1				
16		1			
17			1		
18			1		
19					
20					
21			1		
22				1	
23			1		
24			1		
25				1	
26			1		
27			1		
28			1		
29			1		
30	1				
31		1			
32	1				
33	1				
34					

No	Kat A [MWh/a]	Kat B [MWh/a]	Kat C [MWh/a]	keine Verstromung	k.A.
35	1				
36		1			
37	1				
38			1		
39			1		
40			1		
	<b>14</b>	<b>5</b>	<b>13</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
8		1			
19			1		
20			1		
34		1			
	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

## Output elektrische Leistung

No	Kat A [MWh/a]	Kat B [MWh/a]	Kat C [MWh/a]	keine Verstromung	k.A.
1	180				
2		2.500			
3	960				
4			5.000		
5	750				
6	0	0	0	0	1
7	1,5				
8					
9	0,150				
10	989				
11	0	0	0	0	1
12			4.000		
13	525				
14	330				
15	821				
16		1.611			
17			3.600		
18			4.000		
19					
20					
21			4.672		
22				1	
23			4.000		
24			3.850		
25				1	
26			4.000		
27			4.300		
28			4.000		
29			3.912		
30	0,03				
31		1.642			
32	225				
33	0,286				
34					
35	350				
36		2.000			
37	23,6				
38			4.000		
39			4.045		
40			4.293		
	<b>5.156</b>	<b>7.753</b>	<b>57.672</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
8		2.850			
19			4.000		
20			4.000		
34		1.120			
	<b>0</b>	<b>3.970</b>	<b>8.000</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Überblick Output elektrisch

Leistung	Output elektrisch exakt				Output elektrisch gerundet				
	Kat A	Kat B	Kat C	elektrisch gesamt	Kat A	Kat B	Kat C	elektrisch gesamt	
	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]	
	5.156	7.753	57.672	70.581	5.200	7.800	57.700	70.600	
	0	3.970	8.000	11.970	0	4.000	8.000	12.000	
	Output elektrisch total:			82.551	Output elektrisch total:			82.600	
Anzahl					Verteilung der Anteile				
	Kat A	Kat B	Kat C	keine Verstromung	k.A.	Kat A	Kat B	Kat C	elektrisch gesamt
	[Stk]	[Stk]	[Stk]	[Stk]	[Stk]				
	14	5	13	2	2	7%	11%	82%	100%
	0	2	2	0	0	0%	33%	67%	100%

Legende Output elektrisch:

Anlage "In Betrieb"  
 Anlage "In Planung"  
 Kat A = Kategorie A =< 999 MWh/a  
 Kat B = Kategorie B = 1000-3499 MWh/a  
 Kat C = Kategorie C = 3500-5000 MWh/a  
 k.A. = keine Angaben in der gesamten Rubrik  
 0 = keine Angaben zu diesem Punkt  
 1 = JA

**5.5.2.3 Thermisch**

Berechnung Output thermisch im Detail

Verteilung der Anlagen nach Output thermisch

No	Kat X [MWh/a]	Kat Y [MWh/a]	Kat Z [MWh/a]	keine Verwertung	k.A.	No	Kat X [MWh/a]	Kat Y [MWh/a]	Kat Z [MWh/a]	keine Verwertung	k.A.
1	1					18		1			
2			1			19					
3		1				20					
4		1				21			1		
5		1				22	1				
6	0	0	0	0	1	23		1			
7	1					24		1			
8						25			1		
9	1					26		1			
10		1				27			1		
11	0	0	0	0	1	28			1		
12			1			29			1		
13		1				30	1				
14	1					31	0	0	0	0	1
15		1				32	1				
16		1				33	1				
17		1				34					



No	Kat X [MWh/a]	Kat Y [MWh/a]	Kat Z [MWh/a]	keine Verwertung	k.A.
35	1				
36		1			
37	1				
38		1			
39			1		
40		1			
	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>3</b>
8			1		
19			1		
20			1		
34	1				
	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

## Output thermische Leistung

No	Kat X [MWh/a]	Kat Y [MWh/a]	Kat Z [MWh/a]	keine Verwertung	k.A.
1	275				
2			3.520		
3		1.200			
4		3.000			
5		3.000			
6	0	0	0	0	1
7	2,5				
8					
9	0,100				
10		1.190			
11	0	0	0	0	1
12			5.200		
13		1.000			
14	400				
15		1.258			
16		2.282			
17		1.900			
18		2.400			
19					
20					
21			4.672		
22	390				
23		2.000			
24		2.000			
25			6.150		
26		1.760			
27			6.100		
28			5.600		
29			4.800		
30	0,05				
31	0	0	0	0	1
32	450				
33	0,480				
34					
35	650				
36		1.200			
37	26,4				
38		1.680			
39			4.445		
40		2.301			
	<b>2.195</b>	<b>28.171</b>	<b>40.487</b>	<b>0</b>	<b>3</b>

No	Kat X [MWh/a]	Kat Y [MWh/a]	Kat Z [MWh/a]	keine Verwertung	k.A.
8			3.855		
19			4.800		
20			4.800		
34	800				
	<b>800</b>	<b>0</b>	<b>13.455</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Überblick Output thermisch

Leistung	Output thermisch exakt				
	Kat X	Kat Y	Kat Z	thermisch gesamt	
	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]	
	2.195	28.171	40.487	70.853	
	800	0	13.455	14.255	
	Output thermisch total:			85.108	
Anzahl	Kat X	Kat Y	Kat Z	keine Verwertung	k.A.
	[Stk]	[Stk]	[Stk]	[Stk]	[Stk]
	10	15	8	0	3
	1	0	3	0	0

Output thermisch gerundet			
Kat X	Kat Y	Kat Z	thermisch gesamt
[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]
2.200	28.200	40.500	70.900
800	0	13.500	14.300
Output thermisch total:			85.100
Verteilung der Anteile			
Kat X	Kat Y	Kat Z	thermisch gesamt
3%	40%	57%	100%
6%	0%	94%	100%

Legende Output thermisch:

Anlage "In Betrieb"

Anlage "In Planung"

Kat X = Kategorie X =< 999 MWh/a  
 Kat Y = Kategorie Y= 1000-3499 MWh/a  
 Kat Z = Kategorie Z = 3500-6500 MWh/a  
 k.A. = keine Angaben in der gesamten Rubrik  
 0 = keine Angaben zu diesem Punkt  
 1 = JA

**5.5.2.1 Stofflich-Output verwertet**

Berechnung Output Stoffliche Verwertung im Detail

Verteilung der Anlagen nach Output Stoffliche Verwertung

No	Landwirt. [t/a]	Kompost [t/a]	Landwirt.+ Kompost [t/a]	k.A.
1	1			
2	1			
3	1			
4	1			
5	1			
6	1			
7	0	0	0	1
8				
9	1			
10	1			
11	1			
12	1			
13	1			
14	1			
15	1			
16	1			

No	Landwirt. [t/a]	Kompost [t/a]	Landwirt.+ Kompost [t/a]	k.A.
17	1			
18	1			
19				
20				
21	0	0	0	1
22	1			
23	0	0	0	1
24	1			
25		1		
26	1			
27	1			
28	1			
29	1			
30	0	0	0	1
31	1			
32	1			
33	1			
34				
35	1			
36	1			
37	1			
38	1			
39			1	
40	1			
	<b>30</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>4</b>
8		1		
19	1			
20	1			
34	0	0	0	1
	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>

## Outputmengen Stoffliche Verwertung

No	Landwirt. [t/a]	Kompost [t/a]	Landwirt.+ Kompost [t/a]	k.A.
1	2.850		2.850	
2	7.000		7.000	
3	3.325		3.325	
4	7.600		7.600	
5	4.900		4.900	
6	0	0	0	1
7	0	0	0	1
8			0	
9	1.140		1.140	
10	2.850		2.850	
11	500		500	
12	13.200		13.200	
13	14,25		14	
14	6.175		6.175	
15	0	0	0	1
16	0	0	0	1

No	Landwirt. [t/a]	Kompost [t/a]	Landwirt.+ Kompost [t/a]	k.A.
17	9.000		9.000	
18	9.500		9.500	
19			0	
20			0	
21	0	0	0	1
22	1400		1.400	
23	0	0	0	1
24	7.300		7.300	
25		1.000	1.000	
26	16.150		16.150	
27	8.000		8.000	
28	6.650		6.650	
29	3.800		3.800	
30	0	0	0	1
31	11.638		11.638	
32	1.520		1.520	
33	4.275		4.275	
34			0	
35	1.520		1.520	
36	5.700		5.700	
37	50		50	
38	9.000		9.000	
39	12.442	1.000	13.442	
40	9.500		9.500	
	<b>166.999</b>	<b>2.000</b>	<b>168.999</b>	<b>7</b>
8		2.000	2.000	
19	8.550		8.550	
20	8.550		8.550	
34	0	0	0	1
	<b>17.100</b>	<b>2.000</b>	<b>19.100</b>	<b>1</b>

### Überblick Output Stoffliche Verwertung

Mengen	Output stoffliche Verwertung exakt			
	Landwirt. [t/a]	Kompost [t/a]	Verwertung stoff gesamt [t/a]	
	166.999	2.000	168.999	
	17.100	2.000	19.100	
Summe:	184.099	4.000	188.099	
Anzahl	Landwirt. [Stk]	Kompost [Stk]	Landwirt.+ Kompost [Stk]	k.A. [Stk]
	30	1	1	4
	2	1	0	1

### Überblick Output Stoffliche Verwertung (Fortsetzung)

Mengen	Output stoffliche Verwertung gerundet		
	Landwirt.	Kompost	Verwertung stoff gesamt
	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]
	<b>167.000</b>	<b>2.000</b>	<b>169.000</b>
	<b>17.000</b>	<b>2.000</b>	<b>19.100</b>
<b>Summe:</b>	<b>184.000</b>	<b>4.000</b>	<b>188.000</b>
Anzahl	Verteilung der Anteile		
	Landwirt.	Kompost	Verwertung stoff gesamt
	99%	1%	100%
	89%	10%	100%

#### Legende stoffliche Verwertung:

Anlage "In Betrieb"

Anlage "In Planung"

k.A. = keine Angaben in der gesamten Rubrik

0 = keine Angaben zu diesem Punkt

1 = JA

Landwirt. = Verwertung in der Landwirtschaft

Kompost = Verwertung durch Kompostierung

Landwirt.+ Kompost = Verwertung in der Landwirtschaft und durch Kompostierung

### Zusammenfassung 5.5 Stoffflusswirtschaftliche Betrachtung

Kennzahlen Stoffflüsse							
Input Material	Output stofflich			Output Leistung		Output stoffliche Verwertung	
gesamt	gesamt	Biogas	Biogasgülle + Gärrückstände	elektrisch	thermisch	Landwirtschaft	Kompost
[t/a]	[t/a]	[t/a]	[t/a]	[MWh/a]	[MWh/a]	[t/a]	[t/a]
239.000	260.000	43.700	216.000	82.600	85.100	184.000	4.000

### C. Fragebogen leer

Informationsblatt Biogasanlagen Steiermark					5)	
Betreiber	Name					
	Adresse (PLZ, Ort, Straße etc)					
	Kontaktperson					
	Telefon					
	Fax					
	Emailadresse					
	website					
Bescheid	Datum des Genehmigungsbescheids					
	Bewilligungsverfahren nach (Gewerberecht, Abfallrecht, Wasserrecht, etc.)					
Prozess	Prozesstemperatur [°C]					
	Nassvergärung [ < 15 % TM]					
	Trockenvergärung [20-40 % TM]					
	Betrieb 1-stufig					
	Betrieb 2-stufig					
	Betrieb 2-stufig m.Feststoffabtr.					
	Mono-Vergärung (nur 1 Substratart)					
	Co-Vergärung					
Hygienisierung						
		T <sub>Hyg</sub> [°C]	p [bar]	t [min]	k [mm]	
Betrieb	Vollbetrieb					
	Probebetrieb					
	Batch <sup>1)</sup>					
	Fed-Batch <sup>2)</sup>					
	kontinuierlich					
Durchm.	mechanisch					
	hydraulisch					
	pneumatisch					
Input	Material	SchlüsselNr.	Herkunft <sup>3)</sup>	Menge [t/a]	oder Menge [m <sup>3</sup> /a]	
			Summe:			

Output					
	Menge gesamt				
		Biogas [m <sup>3</sup> /a]			
		Biogasgülle [t/a]			
		Gärrückstände [t/a]			
	Leistung				
		elektrisch [MWh/a]		[MWh/a]	Kommentar <sup>4)</sup>
			gesamt		
			intern		
			extern		
		thermisch [MWh/a]		[MWh/a]	Kommentar <sup>4)</sup>
			gesamt		
			intern		
			extern		
	Verwendung				
				Menge [t/a]	oder Menge [m <sup>3</sup> /a]
		Kompostierung			
		landwirtschaftliche Verwertung			
		<b>Sonstiges</b>			

**Anmerkungen:**

Bitte die Felder ausfüllen bzw. Zutreffendes ankreuzen

**Nr. | Kommentar**

- 1 Batch = diskontinuierlicher Betrieb. Reaktor beschicken, ausreagieren lassen und entleeren
- 2 Fed-Batch = Reaktor läuft kontinuierlich, Beschickung und Entleerung diskontinuierlich
- 3 woher stammt das Inputmaterial? z.B. Landwirtschaft, Gewerbe, etc.
- 4 Was geschieht mit der erzeugten elektrischen + thermischen Leistung?  
Bitte kurzen Kommentar z.B.: 70 % elektrisch ins öffentliche Netz gespeist, 50 % thermisch an Fernwärmenetz geliefert
- 5 Bitte bei Bedarf zusätzliche Zeilen einfügen

**Abkürzungen:**

TM = Trockenmasse

k = Korngröße des Größkorns

Durchm. = Durchmischung

m. Feststoffabtr. = mit Feststoffabtrennung