

INSTITUT FÜR
ENERGIEFORSCHUNG

*TREIBHAUSGAS-EMISSIONEN AUS
BIOGASANLAGEN*

ENDBERICHT

S. WOESS-GALLASCH, P. ENZINGER, G. JUNGMEIER, R. PADINGER

**INSTITUT FÜR
ENERGIEFORSCHUNG**

Elisabethstraße 5, A-8010 Graz
Tel. (0316) 876 / 1338
Fax (0316) 876 / 1320

Im Auftrag des Landesenergievereines Steiermark, Graz

*Projekt Nr.: IEF.2005.GF.005-01
Bericht Nr.: IEF-B-10/06*

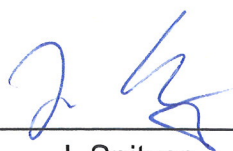
*34 Seiten
Juni 2007*

**TREIBHAUSGAS-EMISSIONEN AUS
BIOGASANLAGEN**

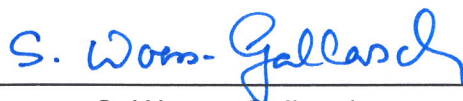
ENDBERICHT

S. Woess-Gallasch, P. Enzinger, G. Jungmeier, R. Padinger,

Projekt Nr.: IEF.2005.GF.005-01
Bericht Nr.: IEF-B-10/06
Freigegeben: Graz, am 29. Juni 2007



J. Spitzer
Institutsleiter



S. Woess-Gallasch
Projektleiter

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

Abstract (Deutsch)	3
Abstract (English)	4
1 Einleitung	5
2 Beschreibung der Biogasanlage Paldau	6
3 Durchgeführte Messungen und Ergebnisse	8
3.1 Gasmengenmessung	8
3.2 Messwerterfassung	8
4 THG-Emissionen der Biogasanlage	12
4.1 Untersuchungsrahmen	12
4.2 Methodik	12
4.3 Grunddaten	13
4.4 Modellierung für die LCA.....	16
4.4.1 Biogasanlage Paldau mit geschlossenem Endlager	16
4.4.2 Biogasanlage mit offenem Endlager	18
4.4.3 Referenzsystem	19
4.5 Ergebnisse	20
4.5.1 Kohlendioxid-Emissionen (CO ₂)	20
4.5.2 Methan-Emissionen (CH ₄).....	21
4.5.3 Lachgas-Emissionen (N ₂ O)	22
4.5.4 THG-Emissionen (CO ₂ -Äq.)	23
4.5.5 Sensitivitätsanalyse.....	24
5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	27
6 Literatur	28
7 Fotodokumentation	29

Abstract (Deutsch)

Biogasanlagen mit offenem Endlager für die ausgegorenen Stoffe können Treibhausgase (THG), insbesondere Methan an die Umwelt abgeben. Ziel dieser Studie ist es, die Wirkung der Abdeckung des Endlagers auf Basis von Messungen und einer Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Analysis: LCA) zu ermitteln. Es wurde die Biogasanlage der NegH Biostrom KEG in Paldau (Steiermark), die ein abgedecktes Endlager hat, untersucht. In dieser Anlage werden nachwachsende Rohstoffe und Gülle eingesetzt: Maiskorn 3.120 t/a, Maissilage 2.670 t/a und Grassilage 700 t/a, Schweinegülle 3.040 m³/a, Rindergülle 300 m³/a. Die Anlage besteht aus zwei Hauptfermentern (je 1000 m³) und zwei Nachfermentern (je 1100 m³). Die zwei Blockheizkraftwerke (je 250 kW Nennleistung) erzeugen jährlich rund 4 GWh Strom und 7 GWh Wärme (davon 1,3 GWh genutzt).

Anhand von Messungen der Biogasbildung im abgedeckten Endlager über den Zeitraum von Mai bis Oktober 2006 wurde ein Vergleich mit der möglichen Situation bei offenem Endlager durchgeführt. Dieser Vergleich ermöglicht eine Aussage über die durch die Abdeckung des Endlagers vermiedenen Methan-Emissionen und über die Erhöhung des Biogasertrags zur Strom- und Wärmeerzeugung.

Der Mittelwert des gemessenen Biogasertrags betrug 3,9 Nm³/h hochgerechnet 34.160 Nm³/a. Die CH₄-Konzentration im Biogas aus dem Endlager liegt mit 63,8 % deutlich über jener in den Hauptfermentern (48,8 %), womit 15,6 t CH₄/a im Endlager erzeugt werden.

In der LCA wurden die Emissionen der THG Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) und deren CO₂-Äquivalente ermittelt. Betrachtet wurden die Beiträge aus der Errichtung, dem Betrieb und der Entsorgung der Anlagen, aus dem Anbau, der Ernte sowie dem Transport der eingesetzten Rohstoffe sowie aus der Verwertung der Nebenprodukte. Drei Fälle wurden untersucht: die bestehende Biogasanlage in Paldau mit einem geschlossenen Endlager, die angenommene Biogasanlage Paldau mit einem offenen Endlager und das Referenzsystem ohne Biogasanlage, mit Bereitstellung der gleichen Menge an Strom aus Erdgas und an Wärme aus Heizöl und Holz.

Als Ergebnis zeigt sich, dass die Abdeckung des Endlagers sowohl die THG-Emissionen verringert, als auch den Biogasertrag erhöht:

- Mit offenem Endlager würden sich die CO₂-Äquivalente-Emissionen aufgrund der CH₄-Emissionen gegenüber dem geschlossenen Endlager um 27 % erhöhen.
- Der Biogasertrag wäre mit offenem Endlager um 1,4 % niedriger. Aufgrund des im geschlossenen Endlager höheren CH₄-Anteiles des Biogases würde sich die Stromerzeugung in der Biogasanlage mit offenem Endlager um 1,9 % reduzieren.
- Gegenüber dem Referenzsystem ergibt sich bei geschlossenem Endlager eine Reduktion der CO₂-Äquivalente-Emissionen um 42 %, und bei offenem Endlager um 27 %. Das heißt, mit einem offenen Endlager würde sich der THG-Nutzen der Anlage Paldau um 36 % verringern.

Zur Verallgemeinerung der Ergebnisse der Biogasanlage Paldau wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt: Art des Substrates, Umfang der Wärmenutzung, CH₄-Emissionen durch offenes Endlager. Eine Schlußfolgerung daraus ist, daß bei Vorliegen bestimmter Betriebsbedingungen (pflanzliches Substrat, geringe Wärmenutzung) bereits geringe CH₄-Verluste eine erhebliche Reduktion des THG-Nutzens von Biogasanlagen zur Folge haben.

Abstract (English)

Biogas plants with open storage of the digested material may emit methane. The goal of this study is to quantify the effect of covering the storage based on methane measurements and Life Cycle Assessment (LCA). The plant of „NegH Biostrom KEG“ in Paldau in the state of Styria, Austria, has been analysed, because this biogas plant has a covered storage. The plant is operated with renewable feedstock, mainly crops (maize corn 3,120 t/yr., and maize silage 2,670 t/yr) and animal manure (pig manure 3,040 m³/yr, cow manure 300 m³/yr). The plant includes two main digesters (1000 m³ each) und two secondary digesters (1,100 m³ each). The two gas engines (250 kW_{el} each) produce around 4 GWh/yr. electric energy und 7 GWh/yr heat (of which 1.3 GWh are used).

Biogas production in the covered storage has been measured during the period May – October 2006. On basis of these results, the theoretical case of a biogas plant without a storage cover has been simulated. A comparison of these two cases shows the amount of additional biogas produced in the covered storage and used for energy production, and thus is avoided as a methane emission.

The mean value of biogas yield in the covered storage over one measurement period was 3.9 Nm³/h or 34,160 Nm³/yr. The CH₄ concentration in the biogas produced in the storage is higher (63,8%) than the one produced in the digester (48,8%), so that 15.6 tons of CH₄ per year are produced in the storage.

In the LCA the Greenhouse Gases (GHG) carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), nitrogen oxide (N₂O) and CO₂-equivalents (CO₂-eq) have been calculated, This included the construction, the operation and dismantling of the energy systems and the cultivation, harvest and transport of the used biomass raw materials and the use of the by-products. Three cases have been assessed: The biogas plant with the covered storage, the simulated biogas plant with an open storage and the reference system without a biogas plant, where the same amount of electric energy is produced by fossil methane and the heat by heating oil and wood.

The results for the biogas plant of Paldau are that covering the storage reduces GHGs substantially and increases the biogas yield for energy production:

- With open storage the CO₂ equivalents are 27 % higher than in the case of covered storage because of the CH₄-emissions.
- The biogas yield with open storage is 1.4 % lower than with covered storage. Because of the higher CH₄ concentration in the biogas coming from covered storage, the output of electric energy and heat from the open biogas plant is 1.9 % less.
- In comparison to the reference system, the plant with a covered storage reduces CO₂-eq emissions by 42 %. With open storage the emissions are only reduced by 27 %. This means that the GHG advantage of the biogas plant with an open storage is reduced by 36 % in comparison with the biogas plant with a covered storage.

In a sensitivity analysis for a generalisation of the results from the biogas plant of Paldau, the effects of 3 parameters (type of feedstock, CH₄ emissions from the open storage, fraction of heat used from the gas engines) on the GHG emissions have been estimated. One important conclusion is that under certain condition (agricultural crops, low fraction of heat) small amounts of CH₄ losses reduce substantially the GHG benefits of biogas plants.

1 Einleitung

Einer der Gründe für den Einsatz der Biogastechnik ist die **TreibHausGas (THG)**-Reduktion zur Erfüllung der aus dem Kyoto Protokoll abgeleiteten Verpflichtungen über den Ersatz fossiler Energieträger durch Erneuerbare Energieträger. Biogasanlagen verwenden erneuerbare Energieträger, können aber - insbesondere mit einem offenen Endlager - Treibhausgase, insbesondere Methan an die Umwelt abgeben, wodurch der THG-Nutzen reduziert wird. Die Idee für diese Untersuchung wurde unter anderem im Rahmen der IEA Bioenergy Task 38 „Greenhouse Gases of Biomass and Bioenergy Systems“ entwickelt. Ziel dieser Studie ist es, die Wirkung der Abdeckung auf Basis einer Lebenszyklusanalyse (**Life Cycle Analysis: LCA**) zu ermitteln. Es wurde daher eine mit Abdeckung des Endlagers ausgeführte Biogasanlage untersucht, um das Ausmaß der Methan-Emissionen, die aufgrund der gasdichten Ausführung verhindert werden können, und darüber hinaus einer energetischen Nutzung zugeführt werden, zu bestimmen.

Dazu eignete sich die Biogasanlage der NegH Biostrom KEG in Paldau in der Steiermark: Bei dieser Anlage sind alle Komponenten inklusive des Endlagers gasdicht ausgeführt. In dieser Anlage werden nachwachsende Rohstoffe und nur zu einem geringen Anteil Gülle eingesetzt. Mit Messungen der Gasbildung im abgedeckten Endlager wurde ein Vergleich der Situation mit einem offenen Endlager durchgeführt. Dieser Vergleich ermöglicht eine Aussage über die aufgrund der Abdeckung des Endlagers vermiedenen Methan-Emissionen und über die Erhöhung des Energieertrags zur Strom- und Wärmeherzeugung.

Weiters wurde ein Vergleich mit einem angenommenen „Referenzsystem“ (keine Biogasanlage) durchgeführt. Dieses Referenzsystem ist durch eine andere ortsübliche landwirtschaftliche Nutzung der Flächen bzw. der nachwachsenden Rohstoffe und der Gülle sowie durch die Bereitstellung der gleichen Menge an Strom aus Erdgas und an Wärme aus Heizöl und Holz gekennzeichnet. Der Vergleich der Biogasanlagen mit dem Referenzsystem zeigt die Vorteile der Biogastechnik mit einem offenen und geschlossenen Endlager hinsichtlich der THG-Emissionen auf.

Folgende drei Fälle wurden untersucht:

- Bestehende Biogasanlage in Paldau mit einem geschlossenen Endlager;
- Angenommene Biogasanlage Paldau mit offenem Endlager;
- Referenzsystem ohne Biogasanlage.

Die Erkenntnisse der angestellten Vergleiche sollen Hinweise für die optimale Ausführung von Biogasanlagen liefern.

2 Beschreibung der Biogasanlage Paldau

Die Biogasanlage Paldau befindet sich im Ort Pöllau in der Gemeinde Paldau. Eigentümer und Betreiber der Biogasanlage ist die Fa. NegH Biostrom KEG. Die eingesetzten Substrate sind, Rinder- und Schweinegülle, Körnermais, Maissilage und Grassilage. Der Aufbau der Biogasanlage wird anhand des Schemas in Abbildung 2.1 (siehe Kapitel 7) erläutert.

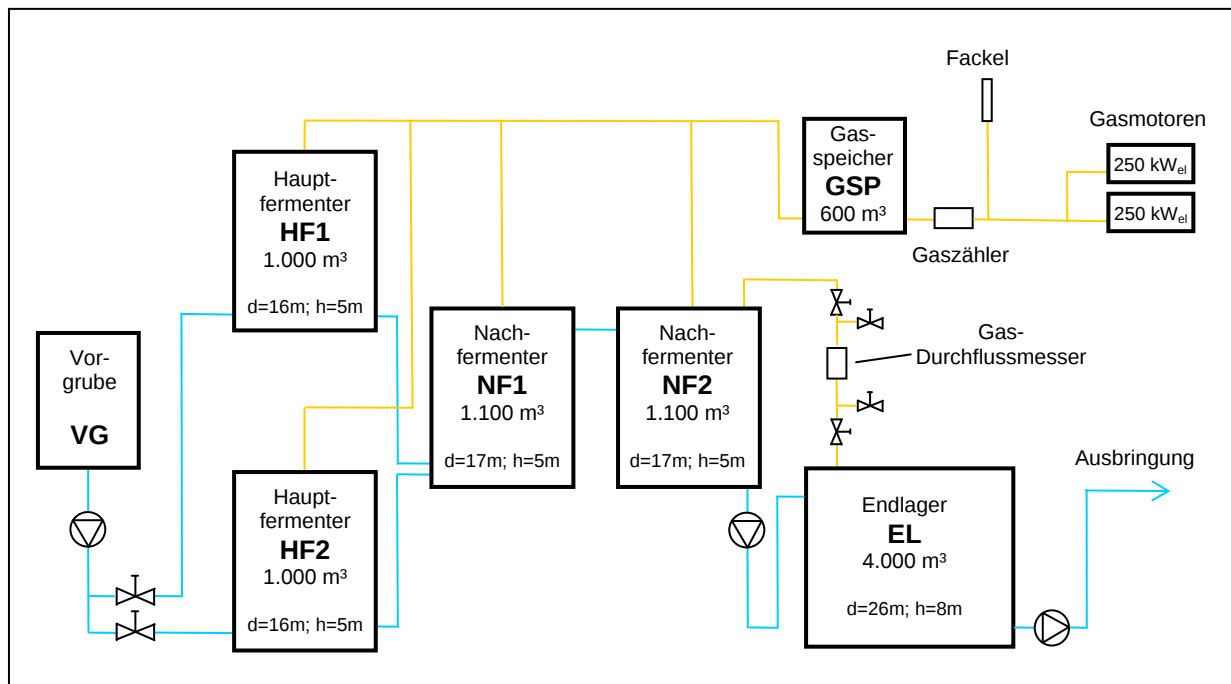


Abbildung 2.1: Schema der Biogasanlage Paldau

Zunächst erfolgt in der Vorgrube (VG) die Durchmischung folgender Frischsubstratkomponenten bzw. Mengen:

- Rinder- und Schweinegülle: ca. 15 m³ / d
- Körnermais: ca. 8,7 t / d, Wassergehalt ca. 32 %

Einmal pro Stunde werden aus der Vorgrube die beiden Hauptfermenter (Hauptfermenter 1 und Hauptfermenter 2) wechselweise automatisch beschickt. Jedem der beiden Behälter wird somit alle 2 Stunden Frischsubstrat zugeführt. Die Mais- und Grassilage wird nicht über die Vorgrube sondern direkt den beiden Hauptfermentern zugeführt: Täglich 7,5 t Frischmasse alle 3 Stunden wechselweise in Hauptfermenter 1 und Hauptfermenter 2 (dh. Hauptfermenter 1 wird alle 6 Std. mit 7,5 / 8 t beschickt). Das Substrat aus den beiden Hauptfermentern kommt anschließend in den Nachfermenter 1 und danach in den Nachfermenter 2. Es handelt sich um einen 3-stufigen Prozess. Die einzelnen Behälter haben folgende hydraulische Verweilzeiten:

- Hauptfermenter 1 und 2: Jeweils 64 Tage
- Nachfermenter 1: 35 Tage

- Nachfermenter 2: Wird kontinuierlich beschickt und einmal monatlich in das Endlager entleert.
- Endlager: Wird diskontinuierlich ca. einmal pro Monat aus dem Nachfermenter 2 beschickt und zweimal pro Jahr vollständig entleert. Bei Bedarf erfolgt zwischenzeitlich eine Teilentleerung.

Die Temperaturen in den Hauptfermentern und im Nachfermenter betragen zwischen 40 und 50 °C. Sie werden mit den übrigen Anlagendaten automatisch mitprotokolliert. Es erfolgt keine Beheizung. Im Sommer muss zeitweise gekühlt werden. Die Temperatur im Endlager wird nicht automatisch erfasst. Sie wurde im gegenständlichen Projekt zeitweise händisch gemessen. Weitere Messdaten sind als händisch geführte Listen verfügbar (pH-Wert, Beschickungsmengen, el. Zählerstände).

Der Gasspeicher (GSP) besteht aus einem Folien-Kissen mit 600 m³ Fassungsvermögen. Die beiden Gasmotoren haben eine Nennleistung von je 250 kW_{el} und brauchen gemeinsam ca. 270 m³ Gas pro Stunde. Der Heizwert des Biogases beträgt 5 kWh/Nm³. Daraus errechnet sich ein Wirkungsgrad η_{el} von etwa 37 % bei Nennleistung. Die Maissilage wird in 2 Fahrsilos, die mit Planen abgedeckt sind, gelagert und mit Hilfe eines Krans in den Tagesbehälter gefüllt. Der Körnermais wird mit einem Wassergehalt von ca. 32 % geerntet und in 2 Hochsilos (je 1.000 m³) gelagert.

Kapitel 7 (Abbildungen 7.1 - 7.10) enthält eine Fotodokumentation der Biogasanlage. Abbildung 7.1 zeigt ein Foto der gesamten Biogasanlage. Man erkennt links im Bild das Endlager. In Bildmitte sind die beiden Hochsilos für den Körnermais zu sehen. Rechts im Bild erkennt man das Maschinenhaus. Die Fermenter sind unterirdisch installiert und daher nicht zu sehen. Abbildung 7.2 zeigt die beiden Hochsilos für den Körnermais. Im Vordergrund (unter der Mauer bzw. dem Gatter) ist der große kreisförmige Deckel eines Nachfermenters zu sehen. Die Abbildungen 7.3 bis 7.8 zeigen weitere Details der Biogasanlage Paldau.

Das Substratniveau in Hauptfermenter 1 u. Hauptfermenter 2 und Nachfermenter 1 beträgt 4,5 m. Das Substrat gelangt durch Überlauf von Hauptfermenter 1 bzw. Hauptfermenter in Nachfermenter 1 und von dort ebenfalls durch Überlauf in Nachfermenter 2. Nachfermenter 2 wird dadurch kontinuierlich beschickt. Etwa einmal monatlich wird Substrat von Nachfermenter 2 ins Endlager gepumpt (ca. 700 m³, Beschickungsdauer ca. 10 Std. => 70 m³/h; Pumpendurchsatz abhängig von Substratkonsistenz).

Im Endlager sind 2 Rührwerke (langsamlaufende Propeller) installiert, die täglich 4 mal (um 6:00, 12:00, 18:00 und 24:00 Uhr) für 1 Stunde eingeschaltet sind um einer Schwimmdeckenbildung vorzubeugen. Die vollständige Entleerung des Endlagers erfolgt zweimal jährlich. Die Entleerung beträgt maximal 700 m³ pro Tag und dauert etwa 1 Monat. Dabei wird das Gasventil zu Nachfermenter 2 geschlossen und Belüftungsklappen am Endlager geöffnet. In 2 Minuten werden 11 m³ in die Güllefässer gepumpt. Daraus ergibt sich ein Volumenstrom von 330 m³/h.

Der Gasdruck in der Anlage beträgt 2 mbar. Das Endlager ist mit Wasservorlage auf maximal 30 mbar Überdruck gesichert.

3 Durchgeführte Messungen und Ergebnisse

Mit der Messung der Biogasmenge aus dem Endlager wurde am 17. März 2006 begonnen. Allerdings erfolgte von Anfang April 2006 bis 10. Mai 2006 eine Total-Entleerung des Endlagers, so dass der relevante Beurteilungszeitraum zwischen zwei Total-Entleerungen des Endlagers zwischen 10. Mai 2006 und 19. September 2006 liegt.

3.1 Gasmengenmessung

Die Messung der Gasmenge vom Endlager in die übrigen Komponenten der Biogasanlage erfolgte mit Hilfe eines Gaszählers mit Durchflusssensor der Fa. ESTERS Elektronik, Type 005 GD 100 / 1 mit Rechengerät GVPA-303-GDR. Der Messwertgeber (Abbildung 7.8) ist ein Fluidistor-Oszillator, dessen Schwingungsfrequenz direkt proportional der Geschwindigkeit des den Fluidistor durchströmenden Gases ist. In der Messkammer befinden sich Gaskanäle und ein feststehender Wirbelkörper. Die Schwingungsfrequenz wird mit einem Heißdrahtfühler in einem der Kanäle erfasst. Im Störfall kann dieser Fühler leicht ausgetauscht werden und der Fühlerwechsel hat keinen Einfluss auf die Kalibrierung. Durch den so genannten „Fluidistor“ strömt nur ein Teilstrom des Messgases und er ist parallel zu einem Unterteil geschaltet (Hauptstrom), der eine Drossel mit gleichem Durchflusskoeffizienten enthält. Die Schwingungsfrequenz des Fluidistors ist deshalb ein Maß für den Gesamtdurchfluss durch das Messgerät.

3.2 Messwerterfassung

Die Messwerterfassungsanlage erhält die Messdaten vom Rechengerät des Durchflussmessers (Converter GVPA-303-GDR-Exia, Kapitel 7, Abbildung 7.9). Es stellte sich heraus, dass der Durchflussmesser nicht in die bestehende Anlagen-Datenerfassungsanlage eingebunden werden konnte und die Gasproduktion sehr ungleichmäßig war. Um die Gasproduktion im Endlager messen zu können, war es notwendig vorübergehend eine eigene kontinuierliche Messwerterfassungsanlage zu installieren (siehe Kapitel 7, Abbildung 7.10). Am Rechengerät des Durchflussmessers wird der Momentandurchfluss in m^3/h und mit einem Rollenzählwerk die aufsummierte Durchflussmenge in m^3 angezeigt. Zusätzlich wurde der Momentandurchfluss als 4 bis 20 mA Signal (entspricht 0 bis $100 \text{ m}^3/\text{h}$) und die Durchflussmenge als 1 Impuls/ m^3 an das Intelligente Sensor-Modul ISM 110 (Fa. Gantner) übertragen. Die Impulse wurden im Sensor-Modul aufsummiert und dieser Summenwert gemeinsam mit dem Momentan-Durchflusswert über einen RS 485/RS232 Konverter dem Messcomputer zugeführt. Mit der Software DASYLab wurden die Messwerte visualisiert und als 10-Sekunden Mittelwert abgespeichert. Die Auswertung der Messdaten erfolgte mittels EXCEL.

Abbildung 3.1 zeigt die Ergebnisse der Messungen im Zeitraum von 27. März 2006 bis 9. Oktober 2006. Der relevante Zeitraum zwischen 2 Total-Entleerungen des Endlagers liegt zwischen 15. Mai 2006 und 19. September 2006.

Durch Stromausfälle (z. B. bei Gewittern) kam es zwischenzeitlich zu einem Verlust von Messdaten. Dieser Datenverlust betraf jedoch nur den zeitlichen Verlauf der Gasproduktion in diesem Zeitabschnitt (rote Kurve in Abbildung 3.1). Der Summenwert des produzierten Gases stand verlustsicher am mechanischen

Rollenzählwerk des Rechengerätes zur Verfügung und wurde öfters protokolliert (graue Kurve in Abbildung 3.1). Der Mittelwert des gemessenen Gasertrags aus dem Endlager über diesen Zeitraum beträgt $3,9 \text{ m}^3/\text{h}$. Die CH_4 Konzentration im Gas aus dem Endlager war mit 63,8 % deutlich höher als die CH_4 Konzentration aus den Hauptfermentern (48,8 %). Eine detaillierte Auswertung der Ergebnisse befindet sich in Kapitel 4.2.

Abbildung 3.2 zeigt eine Detaildarstellung der Gasproduktion im Endlager über den Zeitraum von einem Tag. Wie ersichtlich verlaufen die Messwerte nicht kontinuierlich sondern zeigen charakteristische Spitzen, die mit dem jeweils einstündigen Betrieb der Rührwerke im 6-Stunden Intervall einhergehen.

Weitere Diskontinuitäten in der Gasströmung sind erwartungsgemäß durch die Befüllvorgänge des Endlagers bedingt, bei denen das zugeführte Substrat die entsprechende Gasmenge aus dem Endlager verdrängt. Abbildung 3.3 zeigt hierzu beispielhaft eine Detaildarstellung der Messergebnisse.

Um den Gasertrag im Endlager zu berechnen wurde vom gemessenen Volumenstrom das Volumen des zugeführten Substrats abgezogen. Bei ausgeschaltetem Rührwerk und ohne Befüllvorgänge des Endlagers wurde ein vergleichsweise gleichmäßiger Gasproduktionsverlauf im Endlager gemessen (siehe Abbildung 3.4)

Die CH_4 -Emissionen aus offenen Endlagern hängen im Wesentlichen von der hydraulischen Verweilzeit in den Fermentern ab. Paldau verfügt über eine Verweilzeit von über 100 Tagen in den Haupt- und Nachfermentern. Bei Anlagen mit einer kürzeren Verweilzeit wären die CH_4 -Emissionen im Endlager erheblich höher. Viele der neu errichteten Biogasanlagen weisen bereits eine hohe Verweildauer der Substrate auf.

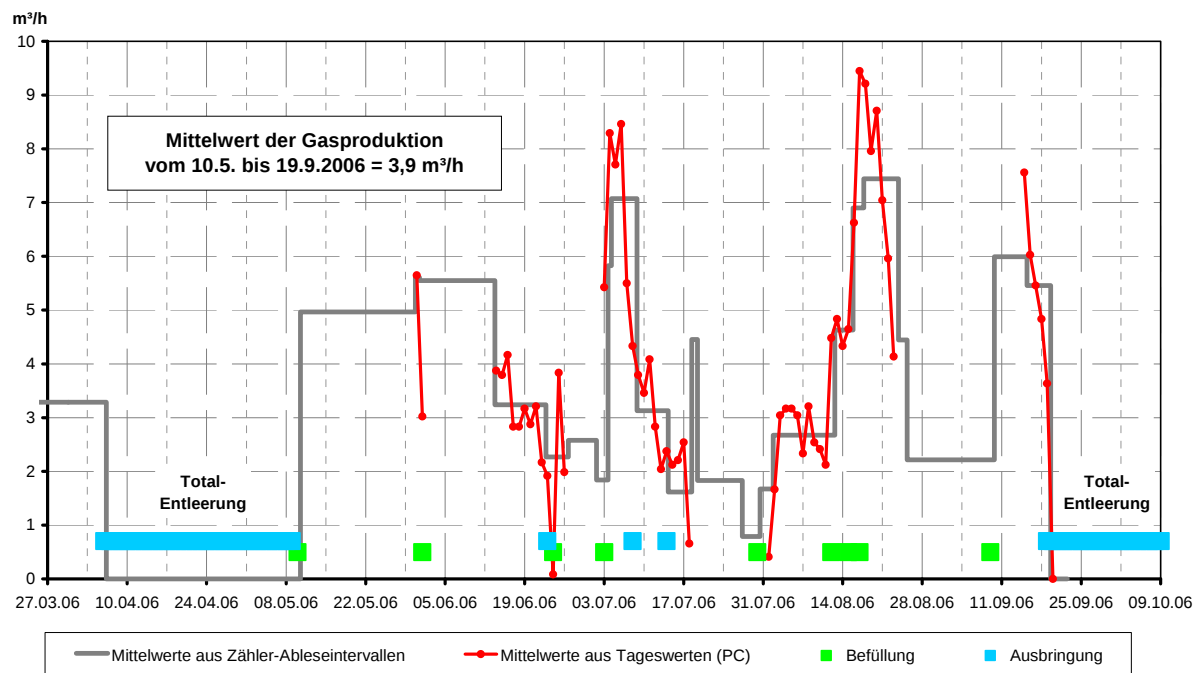


Abbildung 3.1: Gasproduktion im gesamten Untersuchungszeitraum

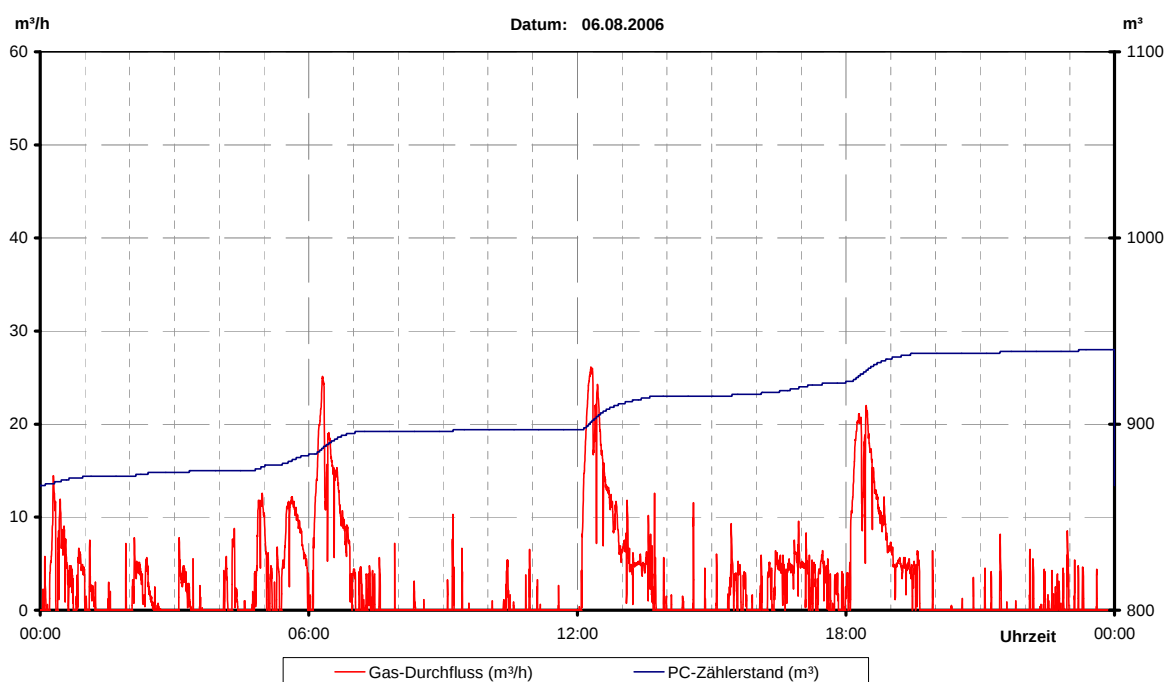


Abbildung 3.2: Detaildarstellung der Gasproduktion im Endlager über den Zeitraum eines Tages.

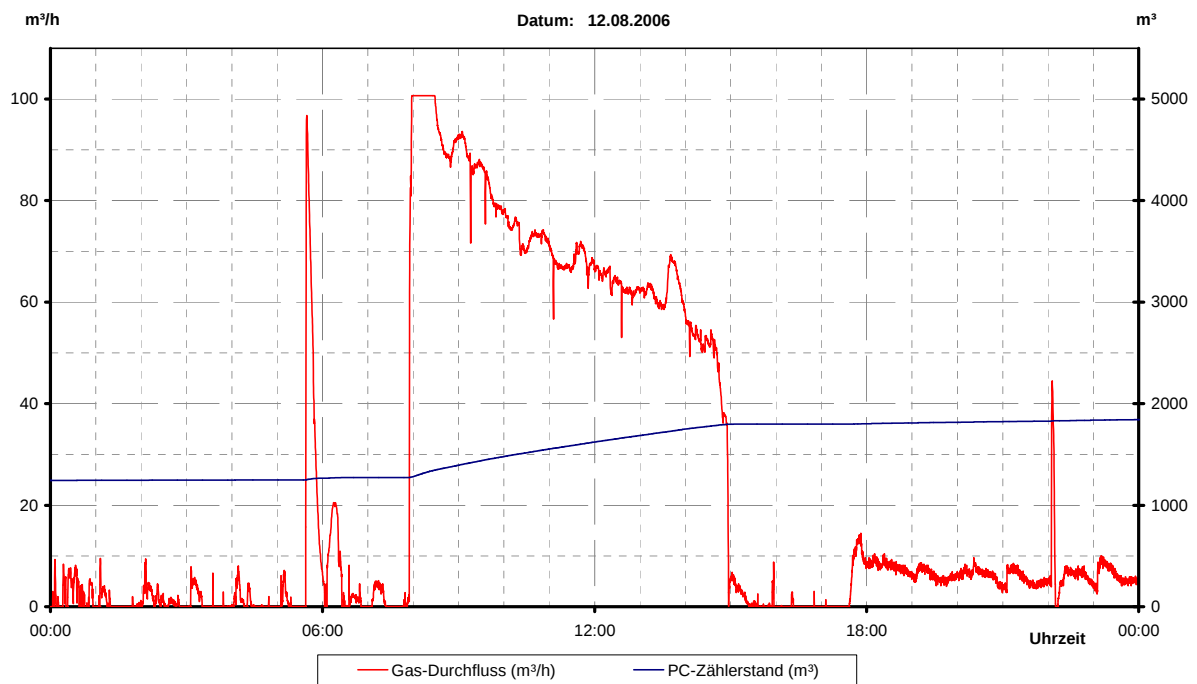


Abbildung 3.3: Detaildarstellung der Messergebnisse während eines Befüllvorganges des Endlagers

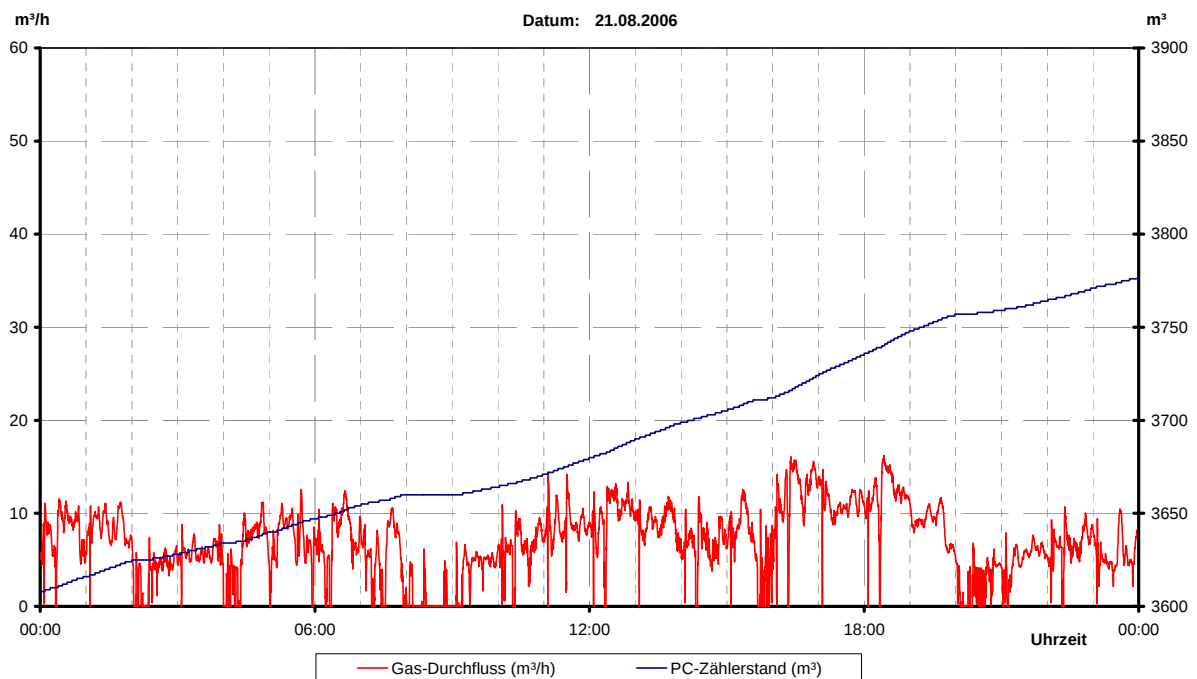


Abbildung 3.4: Gasproduktionsverlauf bei ausgeschaltetem Rührwerk und ohne Befüllvorgänge des Endlagers

4 THG-Emissionen der Biogasanlage

Auf Basis der Messergebnisse zur Biogaserzeugung im Endlager der Biogasanlage Paldau wurde eine LCA zur Bestimmung der THG-Emissionen durchgeführt. Dabei wurde angenommen, dass bei offenem Endlager die gemessene Gasmenge in die Atmosphäre entweicht.

4.1 Untersuchungsrahmen

Zur Feststellung der Auswirkungen der Abdeckung des Endlagers der Biogasanlage Paldau wurden folgende drei Fälle in einer LCA untersucht:

- Bestehende Biogasanlage Paldau mit einem geschlossenen Endlager;
- Angenommene Biogasanlage Paldau mit offenem Endlager;
- Referenzsystem ohne Biogasanlage, wobei die gleiche Menge an Strom durch Erdgas und an Wärme aus Erdöl und Holz bereitgestellt wird.

Das Hauptaugenmerk dieser Untersuchung liegt auf der Ermittlung der CH₄-Emissionen, die durch Abdeckung des Endlagers in der Biogasanlage Paldau vermieden werden können. Allfällige sonstige Fragestellungen wie z.B. N₂O-Emissionen in einer Biogasanlage mit offenem Endlager aus der Oberflächen-Grenzschicht, wurden in dieser Untersuchung nicht untersucht. Dafür wären entsprechende Untersuchungen an einer Biogasanlage mit einem offenen Endlager notwendig.

4.2 Methodik

Die allgemeine Methodik der LCA wurde unter anderem in der Studie mit dem Titel „Treibhausgasbilanz der Bioenergie“ (Jungmeier et al, 1999) entwickelt, in der zahlreiche Bioenergiesysteme für Österreich untersucht wurden. Die Berechnungen wurden in Anlehnung an die internationale Norm ISO 14 040 „Ökobilanz“ durchgeführt.

Die Berechnungen erfolgten mit dem Computerprogramm GEMIS (Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme vom Öko-Institut in Darmstadt entwickelt: <http://www.oeko.de/service/gemis>), wobei der für Österreich erstellte Datensatz verwendet wurde. In den Berechnungen werden alle Input- und Outputströme in der LCA des zu betrachtenden Energiesystems auf die jährlich erzeugte Menge an Strom und Wärme bezogen werden. Alle relevanten THG-Emissionen - Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) - aus der Errichtung, dem Betrieb und der Entsorgung der Energiesysteme, aus dem Anbau, der Ernte sowie des Transportes der eingesetzten Rohstoffe sowie aus der Verwertung der Nebenprodukte (z.B. in der Biogasanlage vergorene Gülle als Dünger) werden ermittelt. Das Referenzsystem berücksichtigt, neben der Erzeugung von Strom und Wärme, die Referenznutzung der Biomasse und der Flächen; es beschreibt, was mit der Biomasse geschieht, wenn diese nicht energetisch genutzt wird bzw. was auf einer landwirtschaftlichen Fläche geschieht, wenn keine Rohstoffe zur Biogaserzeugung produziert werden.

Als Maß für die Treibhauswirkung der oben angeführten Gase wird das Treibhausgaspotential (GWP – Global Warming Potential) verwendet, das den Beitrag dieser Gase zu einer Erwärmung der Erdatmosphäre in Form der

äquivalenten Menge CO₂ ausdrückt. So werden die Beiträge der Gase CH₄ und N₂O als „Äquivalenzfaktoren“ der Treibhausgaswirkung von CO₂ angegeben und zusammen mit CO₂ zu äquivalenten CO₂-Emissionen aufsummiert.

Die Äquivalenzfaktoren für die drei zu betrachtenden Treibhausgase sind laut IPCC 2001 (Betrachtungszeitpunkt nach 100 Jahren):

- Kohlendioxid (CO₂): 1 kg CO₂ = 1 kg CO₂-Äq.
- Methan (CH₄): 1 kg CH₄ = 23 kg CO₂-Äq.
- Lachgas (N₂O): 1 kg N₂O = 296 kg CO₂-Äq.

Für den zur Bioenergiegewinnung eingesetzten biogenen Kohlenstoff wird angenommen, dass die Bilanz der Netto-CO₂-Fixierung durch die Photosynthese, der Kohlenstoff-Speicherung sowie der Kohlenstoff-Verbrennung von Biomasse Null ist, wie dies auch in den Richtlinien für die Energiewirtschaft vom Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) festgelegt ist.

4.3 Grunddaten

Die Berechnungen beruhen auf Daten für das Jahr 2005. Die Biogaserzeugung erfolgt aus den nachwachsenden Rohstoffen Maiskorn, Mais- und Grassilage, und den landwirtschaftlichen Reststoffen Rindergülle und Schweinegülle. Mengenangaben dazu sind in Tabelle 4.1 dokumentiert.

Tabelle 4.1: Jährlicher Rohstoffeinsatz in der Biogasanlage Paldau

Rohstoff	Menge
Maissilage	2.670 t/a
Maiskorn	3.120 t/a
Grassilage	740 t/a
Schweinegülle	3.040 m ³ /a
Rindergülle	300 m ³ /a

Die eingesetzten Mengen an nachwachsenden Rohstoffen, die Anbauflächen und die Ernte sowie die Transportdistanz des Materials zur Biogasanlage wurden von den anliefernden Bauern erhoben.

Die Grunddaten zum Anbau von Maiskorn und Maissilage wie der Einsatz von

- Diesel zur Saatbeetaufbereitung, für Düngung, Pflanzenschutz und Ernte,
- Düngemittel- und Pflanzenschutzmitteleinsatz,
- Diesel für den Transport des Rohstoffes zur Biogasanlage,

wurden für einige zuliefernde Bauern erhoben und daraus Mittelwerte für den Gesamteinsatz berechnet. Die Grassilage stammt von Grünflächen in der näheren Umgebung der Biogasanlage. In Tabelle 4.2 sind die Daten zu Anbau, Ernte und Transport der eingesetzten nachwachsenden Rohstoffe dargestellt.

Tabelle 4.2: Daten zu Anbau, Ernte und Transport der eingesetzten Rohstoffe

Anbau, Ernte und Transport	Maissilage	Maiskorn	Grassilage
Anbaufläche ha/a	49	219	30
Ernte t/a	2.670	3120	740
Ertrag t/(ha*a)	55	14	24
Wassergehalt %	60%	30%	50%
Ertrag in t _{DM} /a	621	2028	370
Ertrag in t _{DM} /(ha*a)	13	9	
Diesel l/(ha*a)	57	57	15
N-Dünger kg/(ha*a)	228	237	
P-Dünger kg/(ha*a)	41	47	
K-Dünger kg/(ha*a)	401	47	
Pflanzenschutz-Mittel kg/(ha*a)	3	3	
Transport t km/a	4801	33912	2940
Durchschnittliche Distanz zur Anlage km	2	11	4

DM: Dry Matter

Insgesamt produziert die Biogasanlage stündlich rund 270 Nm³ Biogas, das entspricht 2.365 Mio Nm³/a. Aus dem Biogas werden in zwei Blockheizkraftwerken (BHKW) elektrischer Strom und Wärme erzeugt. Im Jahr 2005 wurden brutto 4.300 MWh an elektrischer Energie erzeugt, die in das öffentliche Netz eingespeist wurden. Nach Abzug des Stromeigenbedarfes verbleiben netto 4.029 MWh an elektrischer Energie. In Tabelle 4.3 sind zusammenfassend die Mengen des jährlich erzeugten Biogases sowie des Stroms und der Wärme für die 3 untersuchten Fälle der LCA dokumentiert.

Tabelle 4.3: Jährliche Biogas-, Strom- und Wärmeerzeugung

Untersuchte Fälle	Biogas Mio Nm ₃ /a	Strom MWh/a			Wärme MWh/a			
		Biogas BHKW	Erdgas GuD-KW	Summe	Biogas BHKW	Ölheizung	Holz- heizung	Summe
Biogasanlage Endlager geschlossen	2,4	4.029	0	4.029	1.259 (von 7250)	0	0	1.259
Biogasanlage Endlager offen	2,3	3.952	77	4.029	1.259	0	0	1.259
Referenzsystem	0	0	4.029	4.029	0	1.209	50	1.259

GuD-KW: Gas- und Dampfturbinen Kraftwerk

BHKW: Blockheizkraftwerk

Untersuchungen zeigen, dass mit Gas betriebene BHKW einen sogenannten „Methanschluß“ aufweisen, wobei eine unvollständige Verbrennung zu Methanemissionen über das Verbrennungsgas an die Umwelt führt. Der Methanschluß hängt vor allem vom CH₄-Gehalt des Gases, von der technischen Ausführung des Motors und von der Leistung des BHKW ab. Eine eventuelle

Abgasnachbehandlung kann die Methanemissionen reduzieren. Tabelle 4.4 zeigt Ergebnisse von Messungen der Methankonzentration im Motorabgas von mit Biogas betriebenen BHKW.

Tabelle 4.4: Messungen des Methanschlupfes von BHKW

Quelle	kW _{el}	CH ₄ -Gehalt im Biogas in Vol %	CH ₄ -Konzentration im Motorabgas in mg/Nm ³	Anmerkung
Bayrisches Landesamt für Umwelt. 2006	30 – 340	55	290 ¹⁾	¹⁾ Der Zahlenwert betrifft hier die C _n H _m -Konzentrationen. Diese stimmen bei Biogas weitgehend mit der CH ₄ -Konzentration überein
Danish Gas Technology Centre 2004	nicht bekannt	65	880-920 ²⁾	²⁾ Gemessen wurde ein Zahlenwert von 2.200 - 2.300 mg/Nm ³ C _n H _m bei Erdgasbetrieb. Der Umrechnungsfaktor für Biogasbetrieb wurde mit 0,4 angegeben. Dies ergibt die nebenstehenden Werte 880 - 920 mg/Nm ³
FTU 2007 Werte aus Messungen an 4 verschiedenen Biogas-BHKW	348 249 130 130	64 61 60 60	861 2.333 280 293	
Unveröffentliche r Bericht der BOKU, IFA-Tulln, Inst. für Biotechnologie Proj. 2007	500	55	1.100 ³⁾	³⁾ Angegeben wurde ein Methanschlupf von 1,79 % CH ₄ bezogen auf die in den Motor eintretende Methan-Stoffmenge. Die Rückrechnung erfolgt unter der Annahme einer O ₂ Konzentration im Motorabgas von 5 %.

Wie ersichtlich liegen die gemessenen Werte zwischen 280 und 2.333 mg/Nm³. Zur Illustration des Einflusses des Methanschlupfs auf die Treibhausgasbilanz wurde aus den Messungen jene der BOKU gewählt, die einen Methanschlupf von 1,79 % bezogen auf die in den Motor eintretende Methan-Menge ausweisen. Die sich hieraus ergebende Methankonzentration im Motorabgas von 1.100 mg/Nm³ liegt ungefähr in der Mitte der Bandbreite der in Tabelle 4.4 angegebenen Messwerte.

Die Abwärme wird am Standort der Biogasanlage nur zum Teil genutzt. In einem ersten Schritt wurden 5 in der Nähe der Biogasanlage befindliche Bauernhöfe und Wohnhäuser zur Raumwärmeversorgung und Stallbeheizung angeschlossen. Die genutzte Abwärme beträgt rund 107.000 kWh Wärme pro Jahr. Die Betreiber waren bemüht neue Möglichkeiten der Abwärmenutzung zu finden. So wurde im Jahr 2006 eine Maistrocknungsanlage installiert und ging im Herbst 2006 das erste Mal in

Betrieb. Die Leistung der Maistrocknung beträgt ungefähr 800 kW, was bei einem Betrieb von 2 Monaten zu einem Wärmeverbrauch von 1.152 MWh pro Jahr führt.

Insgesamt werden zurzeit rund 1.259 MWh Wärme pro Jahr genutzt, verfügbar sind hingegen 7.250 MWh. Es werden also derzeit rund 17 % der verfügbaren Abwärme genutzt.

Die Messungen im Endlager der Biogasanlage Paldau ergaben, dass dort im Durchschnitt rund 3,9 Nm³/h an Biogas erzeugt werden. Hochgerechnet auf ein Jahr ergibt das 34.160 Nm³ Biogas (siehe dazu Kapitel 3 auf Seite 9). Der CH₄-Gehalt des Biogases wurde im Endlager mit 63,8 % ermittelt und liegt damit deutlich über den Wert im Fermenter mit 48,8 %. Umgerechnet in reines Methan sind das 21.780 Nm³/a oder 15,6 t/a, die im Endlager der Biogasanlage anfallen.

4.4 Modellierung für die LCA

In Abbildung 4.1 werden die drei betrachteten Fälle für die LCA gegenübergestellt, und zwar vereinfacht ohne Einbeziehung der Flächen- und Güllenutzung. Wie in Kapitel 4.4.2. ausgeführt wird, wird bei der Biogasanlage mit offenem Endlager die geringere Biogasproduktion durch Erdgas ausgeglichen.

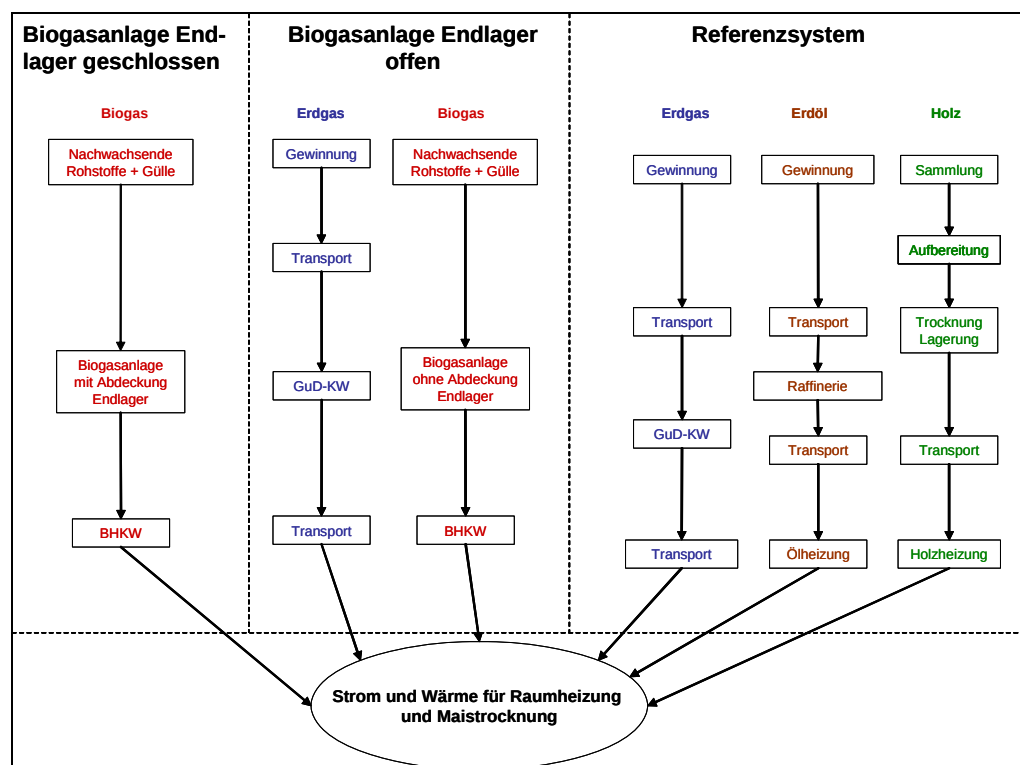


Abbildung 4.1: Prozessketten-Schema für die LCA

4.4.1 Biogasanlage Paldau mit geschlossenem Endlager

Die in der Biogasanlage Paldau eingesetzte Gülle wird von 5 Bauern angeliefert, die sich in der Nähe der Biogasanlage befinden. Von 2 Bauernhöfen wird die Gülle (1800m³/a) über eine Leitung zur Biogasanlage transportiert. 3 Bauern liefern die Gülle (1240m³/a) per Traktor in Fässern an. Der entsprechende Dieselkonsum geht

in die LCA ein. Die ausgegorenen Gärstoffe werden als Dünger verwertet und ersetzt die Düngung mit synthetischem Dünger und unvergorener Gülle.

Die Anbauflächen für die Maissilage und das Maiskorn teilen sich auf bisherige Brache und landwirtschaftliche Nutzflächen auf:

- 20 % der eingesetzten Maissilage und des Maiskorns wird auf bisherigem Brachland,
- 80 % auf bisheriger landwirtschaftlicher Nutzfläche angebaut.

Durch die energetische Nutzung der auf landwirtschaftlicher Nutzfläche angebauten Maissilage und des Maiskorns steht die entsprechende Menge nicht mehr als Tierfutter zur Verfügung. Zur Kompensation dieses entfallenen Tierfutters wurde folgendes angenommen:

- 50 % des Maiskorns und der Maissilage werden durch eine zusätzliche Düngung und den daraus resultierenden erhöhten Ertrag auf anderen Anbauflächen erzeugt.
- 50 % des Maiskorns und der Maissilage werden durch Sojaimporte abgedeckt.

In Tabelle 4.5 ist die Aufteilung des eingesetzten Maiskorns und der Maissilage auf die bisherige Anbauflächen Brache und landwirtschaftliche Nutzfläche sowie die Unterteilung des Tierfutterersatzes auf Sojaimporte und den erhöhten Ertrag durch erhöhte Düngung dargestellt.

Tabelle 4.5: Zuordnung von Maiskorn und Maissilage zu bisherige Flächennutzungen und Tierfutterersatz

	Brache	Landwirtschaftliche Nutzfläche		Summe
		Tierfutterersatz über Sojaimporte	Tierfutterersatz über Erhöhten Ertrag	
Maiskorn	20%	40%	40%	100%
Maissilage	20%	40%	40%	100%

In Abbildung 4.2 werden die Prozessketten der Biogasanlage Paldau mit geschlossenem Endlager und des Referenzsystems dargestellt.

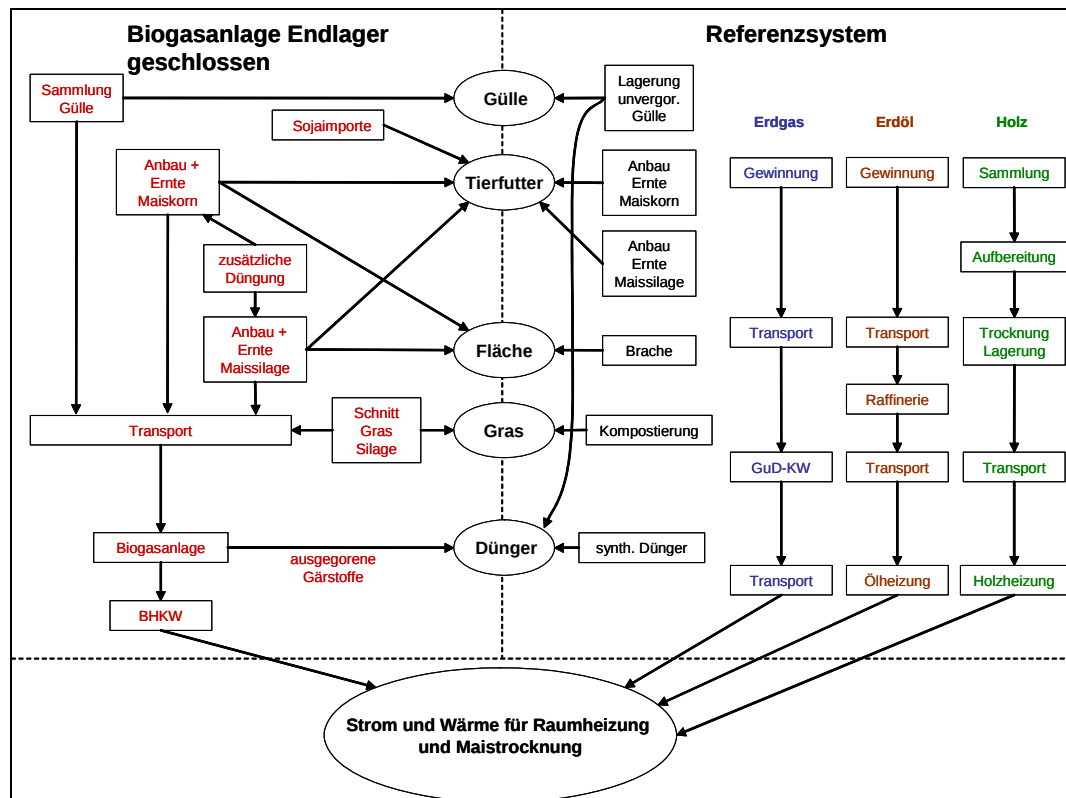


Abbildung 4.2: Prozessketten der Biogasanlage Paldau mit geschlossenem Endlager und des Referenzsystems

4.3.2 Biogasanlage mit offenem Endlager

Die Messungen ergaben, dass bei offenem Endlager pro Jahr 34.160 Nm^3 Biogas weniger zur energetischen Nutzung zur Verfügung stehen und an die Umwelt abgegeben werden. In der Folge werden jährlich um 76.900 kWh weniger Strom erzeugt. Diese Menge an Strom wird ersatzweise in einem mit Erdgas betriebenen Gas- und Dampfkraftwerk (GuD-KW) erzeugt.

In **Abbildung 4.3** werden die Prozessketten der Biogasanlage mit offenem Endlager jenen des Referenzsystems gegenüber gestellt. Im Vergleich zu **Abbildung 4.2** wird ersichtlich, dass bei der Biogasanlage mit einem offenen Endlager jener Teil des Stromes, der durch die Methanverluste nicht im Blockheizkraftwerk der Anlage erzeugt werden kann, durch ein konventionelles Gas- und Dampfturbinen Kraftwerk (GuD-KW) bereit gestellt wird.

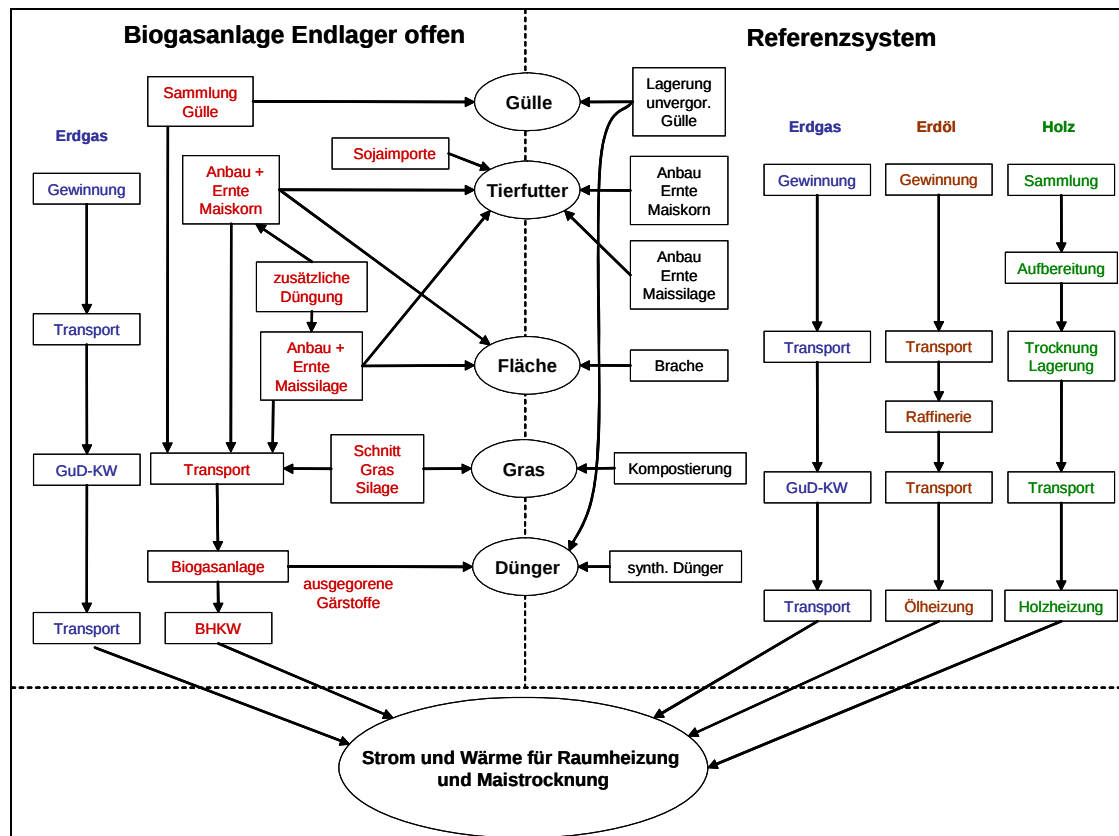


Abbildung 4.3: Prozessketten der Biogasanlage mit offenem Endlager und des Referenzsystem

4.3.3 Referenzsystem

Das Referenzsystem ist einerseits durch eine andere ortsübliche landwirtschaftliche Nutzung

- der Flächen, auf denen die nachwachsenden Rohstoffe Maiskorn und Maissilage angebaut werden,
- und der eingesetzten Biomasse Grassilage und Gülle

gekennzeichnet, und stellt andererseits die gleiche Menge an Strom und Wärme aus anderen Energieträgern bereit.

Wie bereits in Kapitel 4.4.1 (Seite 17) erwähnt, teilen sich die Anbauflächen für die in der Biogasanlage Paldau eingesetzte Maissilage und das Maiskorn auf Brache (20%) und landwirtschaftliche Nutzflächen (80%) auf. Je nach Art der Anbaufläche unterscheidet sich die Referenznutzung. Die Brachflächen werden im Referenzsystem einmal im Jahr gemulcht. Für den Anbau von Maissilage und Maiskorn auf landwirtschaftlicher Nutzfläche wird als Referenznutzung die Tierfuttererzeugung herangezogen. Die dabei anfallenden THG-Emissionen (z.B. aus Anbau, Ernte, Transport und Trocknung von Futtermais) gehen in die LCA-Berechnungen ein.

Die in der Biogasanlage eingesetzte Grassilage, die von Grünflächen in der näheren Umgebung der Biogasanlage stammt, wird im Referenzsystem der Kompostierung zugeführt. Die durch die Kompostierung anfallenden THG-Emissionen werden mitberücksichtigt.

Im Referenzsystem wird die gleiche Menge an Gülle, die in der Biogasanlage Paldau zur Biogasproduktion herangezogen wird, unvergoren gelagert und auf das Ackerland als Dünger aufgebracht. Die dabei an die Atmosphäre abgegebenen CH_4 -Emissionen gehen in die LCA Berechnungen ein. Auch der Dieserverbrauch für die Gülle- und Düngeraufbringung wird berücksichtigt. Da die unvergorene Gülle im Vergleich zur vergorenen einen geringeren Düngungseffekt aufweist, muss im Referenzsystem zusätzlich etwas synthetischer Dünger eingesetzt werden.

Die in der Biogasanlage erzeugte Menge an Strom wird im Referenzsystem durch ein mit Erdgas betriebenes Gas- und Dampfturbinen Kraftwerk (GuD-KW) erzeugt. Ohne Strom aus der Biogasanlage müsste aufgrund des jährlich steigenden Strombedarfs der österreichische Kraftwerkspark in einem entsprechend höheren Umfang erweitert werden. Dies erfolgt derzeit seitens der EVU in vielen Fällen durch Kraftwerke des Typs GuD-KW. Die Raumwärme wird hingegen – so wie vor der Umstellung auf Abwärmenutzung aus der Biogasanlage – durch vier Ölheizungen und eine Scheitholzheizung erzeugt. Für die Maistrocknung wird im Referenzsystem ein mit Heizöl betriebener Trockner herangezogen.

Alle Prozessketten des Referenzsystems sind in den Abbildungen 4.2 und 4.3 in Gegenüberstellung zur Biogasanlage mit geschlossenem und offenem Endlager dargestellt.

4.5 Ergebnisse

Für die 3 untersuchten Fälle wurden die THG-Emissionen

- Kohlendioxid (CO_2),
- Methan (CH_4),
- Lachgas (N_2O) sowie
- CO_2 -Äquivalente (CO_2 -Äq.)

in Tonnen pro Jahr (t/a) berechnet.

4.5.1 Kohlendioxid-Emissionen (CO_2)

Die Biogasanlage in Paldau mit geschlossenem Endlager weist mit etwa 250 t/a die niedrigsten CO_2 -Emissionen auf (siehe Abbildung 4.4). Sie sind im Wesentlichen auf den fossilen Hilfsenergiebedarf bei Anbau, Ernte und Transport der eingesetzten nachwachsenden Rohstoffe, des Transports und der Aufbringung der eingesetzten Gülle und sonstigen fossilen Hilfsenergien (z.B. Errichtung und Entsorgung) zurückzuführen.

Die Biogasanlage mit offenem Endlager weist mit 280 t/a im Vergleich zusätzliche 30 t/a CO_2 -Emissionen auf, die auf die zusätzlich notwendige Stromerzeugung in einem Gaskraftwerk zurückzuführen sind, da aufgrund der geringeren Biogasgewinnung im BHKW der Biogasanlage um 1,9 % weniger Strom erzeugt wird.

Durch das Referenzsystem werden 2.220 t/a an CO_2 -Emissionen erzeugt, die auf den Einsatz fossiler Brennstoffe zurückzuführen sind. Im Vergleich zum Referenzsystem sind die CO_2 -Emissionen der Biogasanlage mit geschlossenem Endlager um 89% und jene mit offenem Endlager um 87% niedriger.

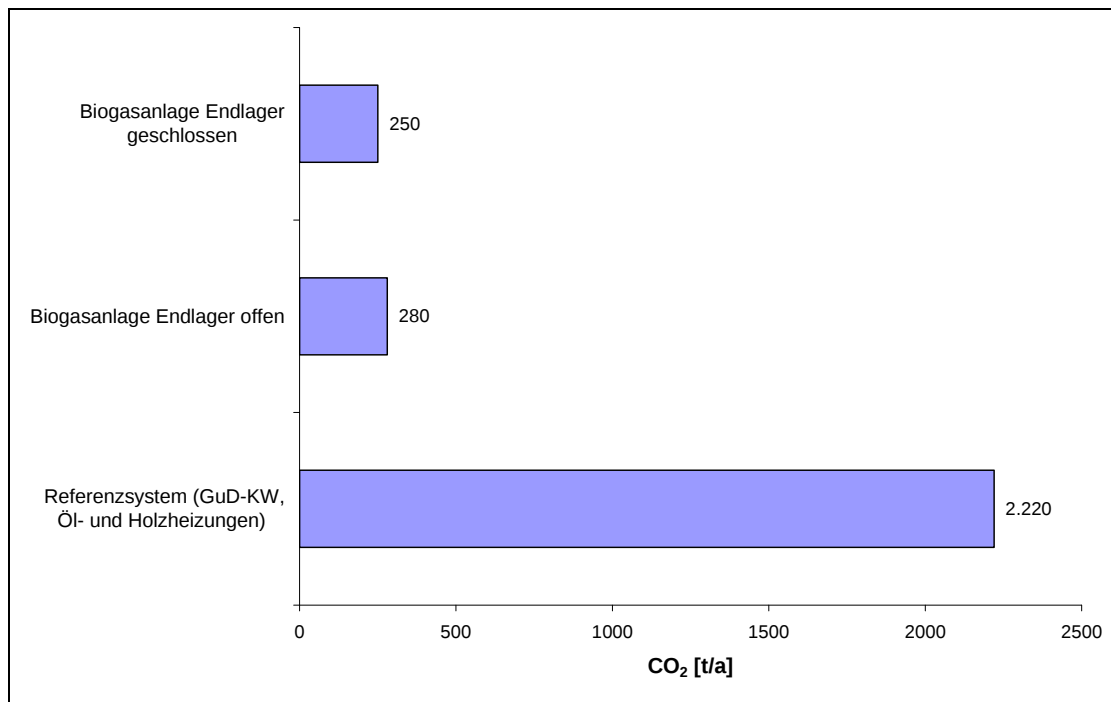


Abbildung 4.4: CO₂-Emissionen (CO₂)

4.5.2 Methan-Emissionen (CH₄)

Wie der Abbildung 4.5 zu entnehmen ist, sind der Biogasanlage mit offenem Endlager CH₄-Emissionen von 10 t/a anzurechnen, die im Wesentlichen aus den CH₄-Emissionen des BHKW (Methanschluß von 1,79 %) stammen. (siehe dazu Tabelle 4.4, S. 15).

Die Biogasanlage mit offenem Endlager hat CH₄-Emissionen von 25 t/a, wovon 15,6 t/a dem offenen Endlager zuzurechnen sind.

Auch das Referenzsystem verursacht 11 t/a an CH₄-Emissionen. In diesem Fall sind sie auf Methanverluste der Erdgasgewinnung und im Gasnetz aus den Verdichterstationen zurückzuführen.

Wie in Abbildung 4.6 ersichtlich, wären der Biogasanlage mit offenem Endlager ohne Methanschluß negative CH₄-Emissionen von etwa 5 t/a anzurechnen: Durch den Einsatz von Gülle in der Biogasanlage werden entsprechend viele CH₄-Emissionen aus der Lagerung unvergorener Gülle (7.300 t/a) im Vergleich zum Referenzsystem vermieden. Dies erklärt die negativen Emissionen. Für die Lagerung unvergorener Gülle (unbelüftet) wurden CH₄-Emissionen von 2,41 g pro kg Rindergülle und von 2,16 g pro kg Schweinegülle angesetzt.

Die Biogasanlage mit offenem Endlager würde ohne Methanschluß CH₄-Emissionen von 11 t/a umfassen. Beim Vergleich der Abbildungen 4.5 und 4.6 zeigt sich, dass der Methanschluß einen wesentlichen Einfluss auf die THG-Bilanz hat.

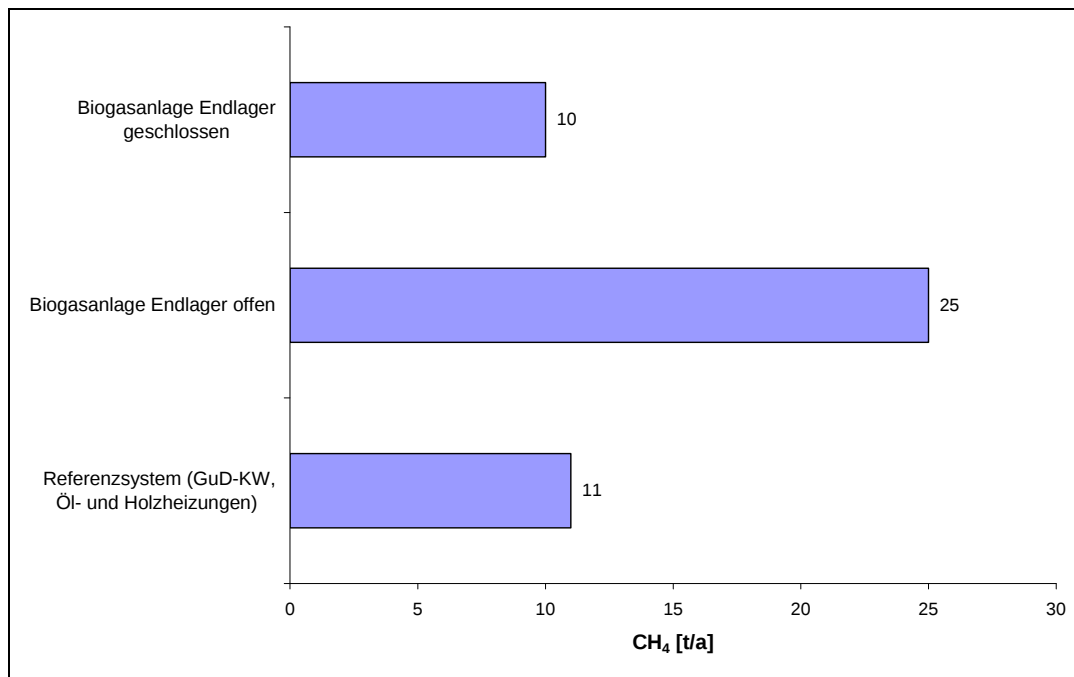


Abbildung 4.5: CH₄-Emissionen (CH₄) unter Berücksichtigung des Methanschlupfes von 1,79 %

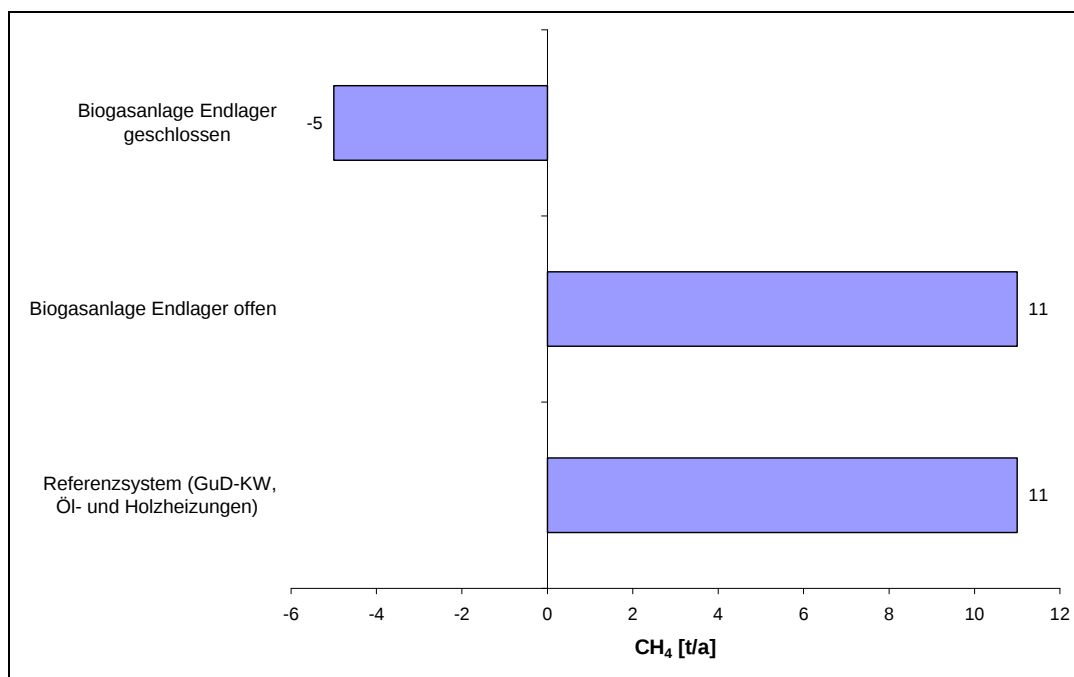


Abbildung 4.6: CH₄-Emissionen (CH₄) ohne Methanschlupf

4.5.3 Lachgas-Emissionen (N₂O)

Die bedeutendsten N₂O-Emissionen fallen beim Anbau der landwirtschaftlichen Rohstoffe durch die N-Düngung an. Weiters werden N₂O-Emissionen bei der Aufbringung von vergorener und unvergorener Gülle an die Umwelt abgegeben, wobei hier angenommen wurde, dass diese bei vergorener und unvergorener Gülle gleich sind. Der leicht reduzierte Emissionswert der Biogasanlage mit offenem Endlager von 3,2 t/a im Vergleich zur Biogasanlage mit geschlossenem Endlager mit

3,3 t/a (siehe Abbildung 4.7) ist auf die Stromerzeugung aus einem GuD-KW zurückzuführen, das etwas geringere N₂O-Emissionen hat als das BHKW mit Biogas. Allfällige N₂O-Emissionen aus dem offenen Endlager wurden nicht berücksichtigt. Das Referenzsystem weist nur sehr geringe N₂O Emissionen auf.

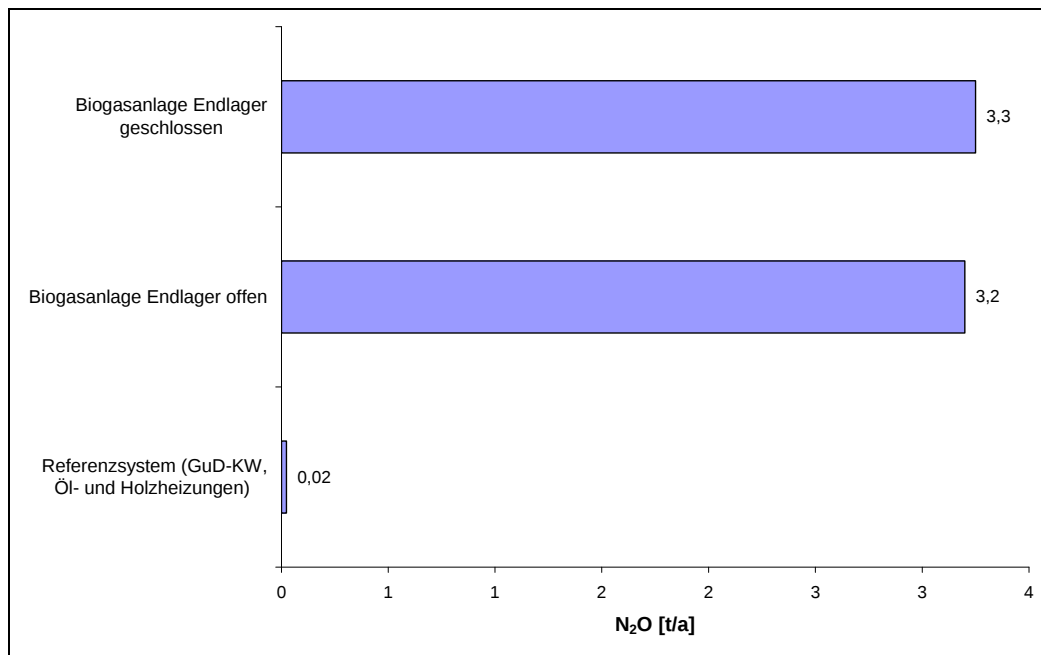


Abbildung 4.7: N₂O-Emissionen (N₂O)

4.5.4 THG-Emissionen (CO₂-Äq.)

Die CO₂-Äquivalente-Emissionen erlauben eine Gesamtschau der THG-Wirkung der drei untersuchten Fälle (siehe Abbildung 4.8). Es zeigt sich dass die Biogasanlage mit geschlossenem Endlager mit CO₂-Äquivalente-Emissionen von 1.430 t/a den geringsten Wert aufweist, gefolgt von der Biogasanlage mit offenem Endlager mit 1.810 t/a und dem Referenzsystem mit jährlich 2.480 t/a.

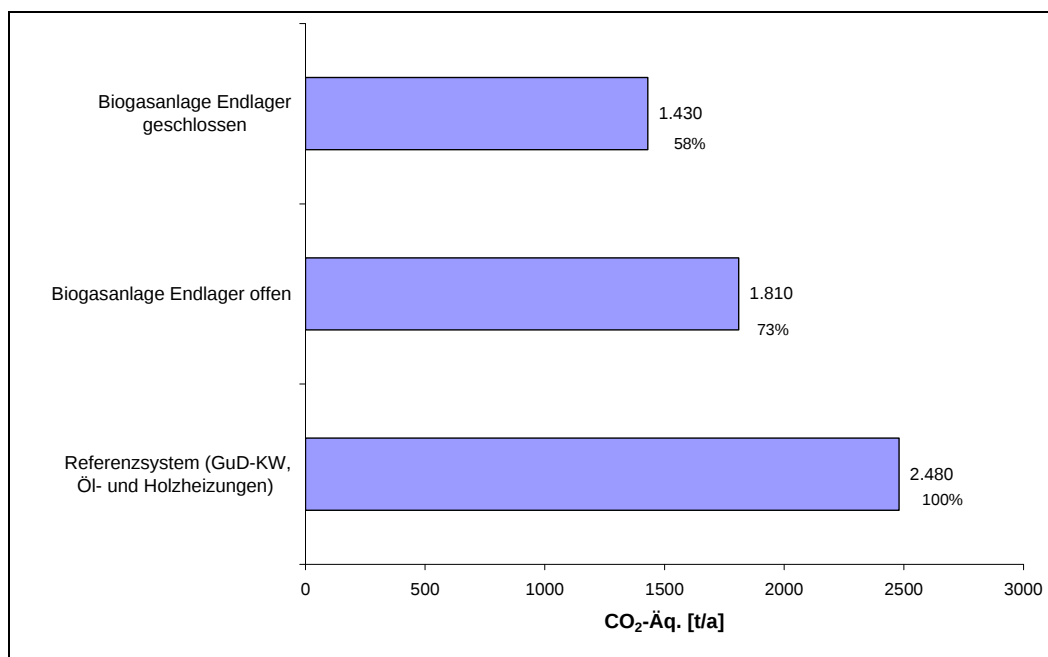


Abbildung 4.8: CO₂-Äquivalente-Emissionen (CO₂-Äq.)

Im Vergleich zum Referenzsystem sind die Werte der Biogasanlage mit geschlossenem Endlager um 42 % und jene der Biogasanlage mit offenem Endlager um 27 % niedriger. Der Unterschied zwischen den beiden Biogasanlagen ist auf die an die Umwelt abgegebenen CH₄-Emissionen im Fall der offenen Biogasanlage zurückzuführen: Erstens ergibt sich deshalb eine direkte THG-Wirkung durch die an die Umwelt abgegebenen CH₄-Emissionen und zweitens eine indirekte durch die energetische Nutzung des reduzierten Biogases.

Die THG-Reduktion der Biogasanlage mit geschlossenem Endlager beträgt 1.050 t/a CO₂-Äquivalente-Emissionen im Vergleich zum Referenzsystem und würde durch eine Biogasanlage mit offenem Endlager auf 670 t/a, das heißt um 36 % reduziert werden.

In der Abbildung 4.9 werden die CO₂-Äquivalente-Emissionen für alle 3 untersuchten Fälle unterteilt auf die Beiträge der CO₂-, CH₄- und N₂O- Emissionen dargestellt.

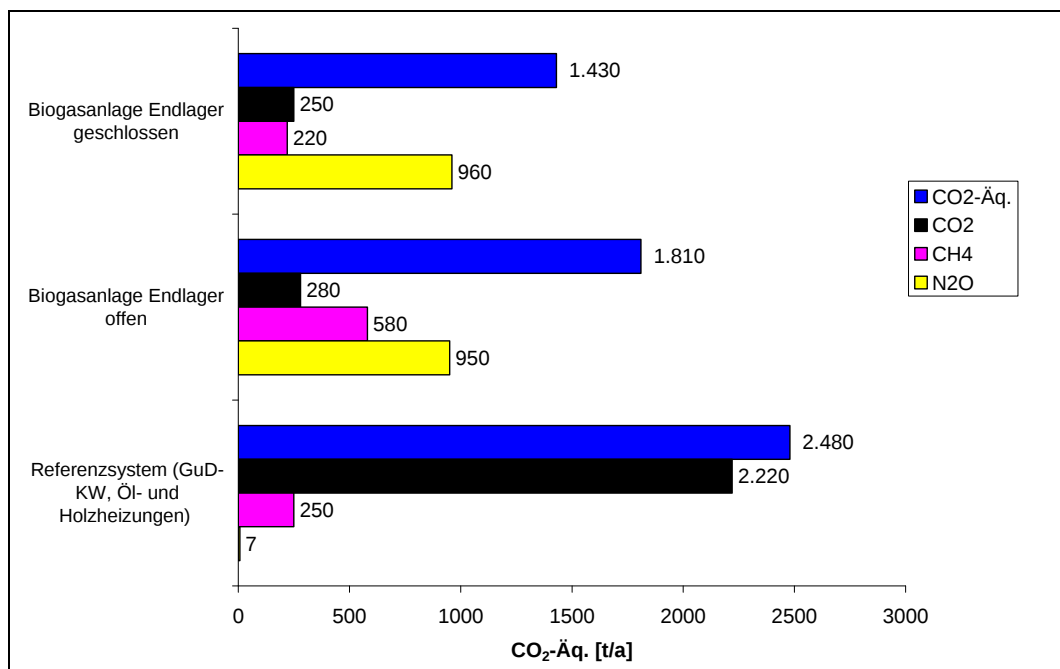


Abbildung 4.9: CO₂, CH₄, N₂O und CO₂-Äquivalente-Emissionen

4.5.5 Sensitivitätsanalyse

Im Sinne einer Verallgemeinerung der Ergebnisse der Biogasanlage Paldau zur Übertragung auf andere Biogasanlagen werden drei Sensitivitäten hinsichtlich des Einflusses auf die THG-Bilanz untersucht: Die Sensitivität hinsichtlich des Einflusses

- der Methanverluste im offenen Endlager,
- des Umfangs der Wärmenutzung und
- des Einsatzes anderer Substrate (z. B. verstärkter Gülleeinsatz).

In Abbildung 4.10 sind auf der y-Achse die CO₂-Äquivalente-Emissionen der Biogasanlage Paldau mit geschlossenem Endlager und mit offenem Endlager sowie zweier Referenzsysteme (blaue und orange Linie) eingetragen. Die blaue Linie repräsentiert das in der LCA untersuchte Referenzsystem bei einer Abwärmenutzung

von 17% in der Biogasanlage (1.259 MWh von den verfügbaren 7.250 MWh). Ein zweites Referenzsystem, durch die rote Linie gekennzeichnet, umfasst die maximale Nutzung der aus der Biogasanlage verfügbaren Abwärme (100% Abwärmennutzung).

Auf der x-Achse sind die CH_4 -Verluste durch ein offenes Endlager in Prozent (= CH_4 -Verluste in $\text{t/a} \cdot 100 / \text{CH}_4$ -Produktion in t/a) aufgetragen. Die Verluste der Biogasanlage Paldau mit geschlossenem Endlager (Biogasanlage Endlager geschlossen) sind mit Null angenommen, bei 1.430 t/a CO_2 -Äquivalente-Emissionen. Bei der Biogasanlage mit offenem Endlager (Biogasanlage Endlager offen) betragen die CH_4 -Verluste 1,9 %, die CO_2 -Äquivalente-Emissionen betragen 1.810 t/a . Unter der Annahme höherer CH_4 -Verluste würden die CO_2 -Äquivalente-Emissionen dem Verlauf der grünen Linie folgen. Bei anderen Gärstoffen könnten sich die CO_2 -Äquivalente-Emissionen der Biogasanlagen reduzieren und zu annähernd parallel verschobenen Verläufen der grünen Linie führen. Die untere Grenze der eingezeichneten Bandbreite (grüne schräge Fläche) entspricht den CO_2 -Äquivalente-Emissionen bei Betrieb mit mehr Gülle.

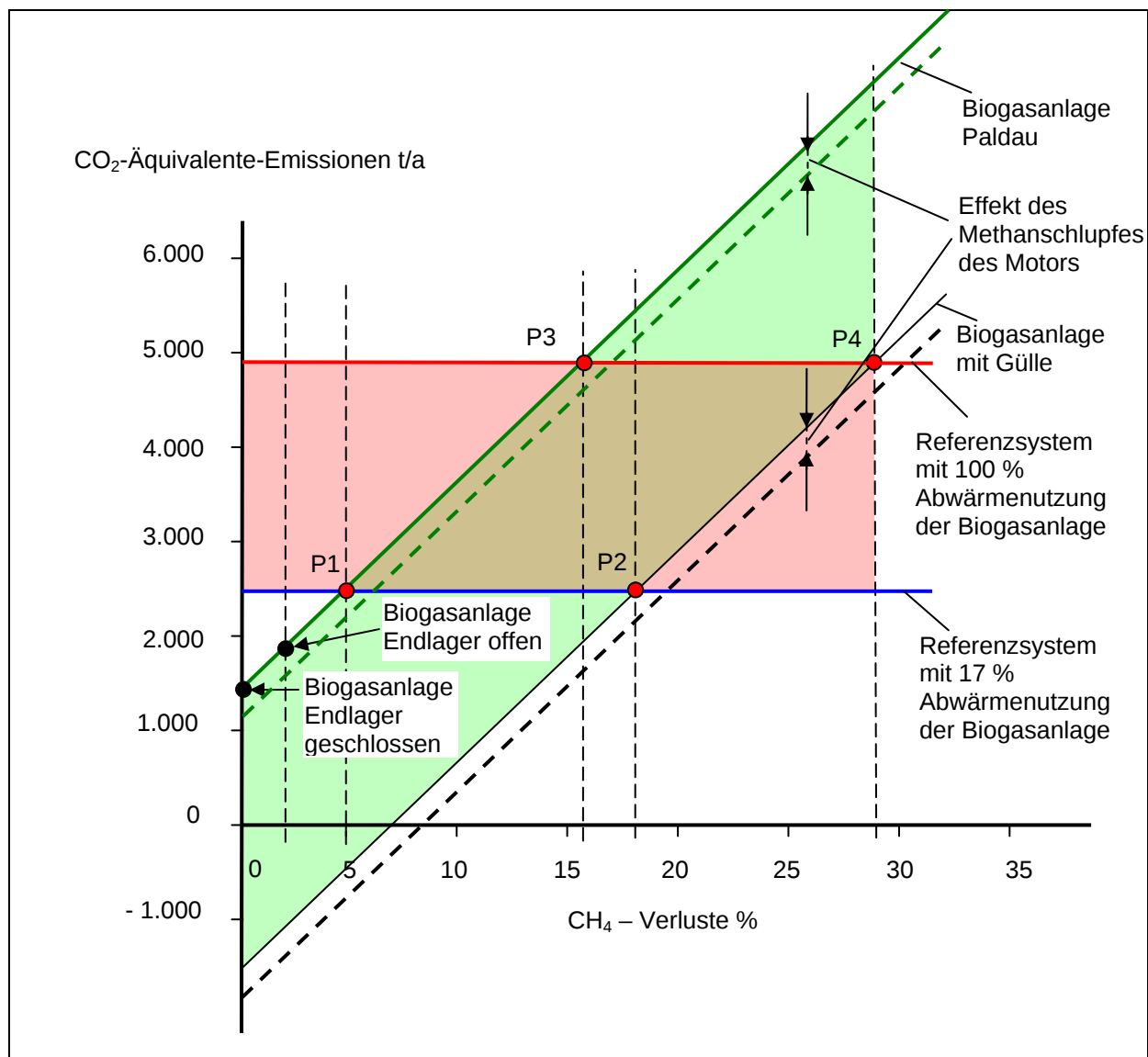


Abbildung 4.10: CO₂-Äquivalente-Emissionen und CH₄-Verluste im Endlager pro Jahr für verschiedene Fälle.

Der Einfluss des Methanschlupfs zeigt sich in einer Verschiebung der grünen schrägen Fläche: Bei angenommener Reduzierung des Methanschlupfs auf 0 % verschiebt sich die Fläche in Richtung der schrägen strichlinierten Linien.

Die CO₂-Äquivalente-Emissionen des Referenzsystems bei 17 % Abwärmenutzung betragen 2.480 t/a und sind durch die blaue waagrechte Linie dargestellt. Das zweite Referenzsystem schließt die gesamte verfügbare Abwärme von 7.250 MWh ein. Die CO₂-Äquivalente-Emissionen des Referenzsystems betragen in diesem Fall 4.900 t/a (orange Linie in Abbildung 4.10).

Wie in Abbildung 4. 10 ersichtlich ergeben sich zwei Bandbreiten, deren Ränder sich in 4 charakteristischen Schnittpunkten schneiden.

- P1: Man erkennt, dass die Biogasanlage Paldau bis zu rund 5 % CH₄-Verluste haben dürfte, um gleich viel THG-Emissionen zu haben, wie das Referenzsystem bei 17 % Abwärmenutzung der Biogasanlage.
- P2: Unter der Annahme eines Betriebs weitgehend mit Gülle dürften die CH₄-Verluste rund 18 % betragen um gleich viel THG-Emissionen zu haben, wie das Referenzsystem bei 17 % Abwärmenutzung.
- P3: Die CH₄-Verluste bei gegenwärtigen Betrieb in Paldau mit Maissilage und Mais Korn dürften ungefähr 15,5 % betragen um gleich viel THG-Emissionen zu haben, wie das Referenzsystem bei 100 % Abwärmenutzung.
- P4: Unter der Annahme eines Betriebs weitgehend mit Gülle dürften die CH₄-Verluste ungefähr 29 % betragen um gleich viel CO₂-Äquivalente-Emissionen zu haben, wie das Referenzsystem bei 100 % Abwärmenutzung.

Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass nur die Punkte P1 und P3 in der LCA berechnete Werte sind. Die Punkte P2 und P4 sind beispielhaft eingezeichnete Punkte. ohne genaue Begründbarkeit im Rahmen des gegenständlichen Projekts. Sie wären gegebenenfalls durch weitere LCA Analysen entsprechender Biogasanlagen (z. B. mit Gülle betriebene Biogasanlagen) zu verifizieren.

Eine wesentliche Schlußfolgerung aus der Sensitivitätsanalyse ist daher, daß bei Vorliegen bestimmter Betriebsbedingungen (pflanzliches Substrat, geringe Wärmenutzung) bereits geringe Methanemissionen aus dem offenen Lager des vergorenen Materials eine erhebliche Reduzierung des THG-Nutzens der Biogasanlage zur Folge haben können. Im Fall Paldau würden bereits bei 5,5 % Methanverlusten keine THG-Reduktion zum Referenzsystem mehr bestehen. Wird hingegen die Abwärmenutzung voll ausgeschöpft, steigt die THG-Reduktion einer Biogasanlage wesentlich an.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

An der Biogasanlage der Fa. NegH Biostrom KG in Paldau wurde der Gasertrag im abgedeckten Endlager über den Zeitraum einer „Betriebsperiode“ des Endlagers (Zeitraum zwischen 2 vollständigen Entleerungen bzw. zwischen Mai und Oktober 2006) gemessen. Der Mittelwert des gemessenen Gasertrags in diesem Zeitraum betrug 3,9 Nm³/h. Dies entspricht einer Gasmenge von 34.160 Nm³/a. Die CH₄ Konzentration im Gas aus dem Endlager war mit 63,8 % deutlich höher als die CH₄ Konzentration aus den Hauptfermentern (48,8 %).

Auf Basis dieser Ergebnisse wurde eine LCA zur Bestimmung der THG-Emissionen durchgeführt. Dabei wurde angenommen, dass bei offenem Endlager die gemessene Gasmenge in die Atmosphäre entweicht. Weiters wurden die THG-Emissionen für ein Referenzsystem ohne Biogasanlage berechnet, das die gleiche Menge an Strom aus Erdgas und an Wärme aus Erdöl und Holz bereitstellt. Der Vergleich der Biogasanlagen mit dem Referenzsystem zeigt die Vorteile der Biogastechnik hinsichtlich der THG-Emissionen auf. Die CO₂-Äquivalente-Emissionen der 3 in der LCA untersuchten Fälle betragen für die Biogasanlage Paldau mit geschlossenem Endlager 1.430 t/a, für die Biogasanlage mit offenem Endlager 1.810 t/a und für das Referenzsystem 2.480 t/a.

Als wichtigstes Ergebnis für die Biogasanlage Paldau zeigt sich, dass die Abdeckung des Endlagers sowohl die THG-Emissionen verringert, als auch den Biogasertrag erhöht:

- Mit offenem Endlager würden sich die CO₂-Äquivalente-Emissionen gegenüber dem geschlossenen Endlager um 27 % erhöhen.
- Der Biogasertrag wäre mit offenem Endlager um 1,4 % niedriger. Aufgrund des im geschlossenen Endlager höheren CH₄-Anteiles des Biogases würde sich die Energieerzeugung (Strom und nutzbare Abwärme) in der Biogasanlage mit offenem Endlager um 1,9 % reduzieren.
- Gegenüber dem Referenzsystem ergibt sich bei geschlossenem Endlager eine Reduktion der CO₂-Äquivalente-Emissionen um 42 %, und bei offenem Endlager um 27 %. Das heißt, mit einem offenen Endlager würde sich der THG-Nutzen der Anlage Paldau um 36 % verringern.

Die Schlußfolgerung aus einer Sensitivitätsanalyse ist, daß bei Vorliegen bestimmter Betriebsbedingungen (pflanzliches Substrat, geringe Wärmenutzung) bereits geringe Methanemissionen aus dem offenen Lager des vergorenen Materials eine erhebliche Reduzierung des THG-Nutzens der Biogasanlage zur Folge haben können. Im Fall Paldau würde bereits bei 5,5 % Methanverlusten keine THG-Reduktion zum Referenzsystem mehr bestehen. Wird hingegen die Abwärmenutzung voll ausgeschöpft, steigt der THG-Nutzen einer Biogasanlage wesentlich an.

Auf Basis dieses Ergebnisses wird empfohlen neu zu errichtende Biogasanlagen insbesondere in Bezug auf alle Lagerbecken nach Möglichkeit dicht auszuführen und eine möglichst vollständige Abwärmenutzung anzustreben. Auch die Problematik des Methanschlußes bei der Verbrennung von Biogas in BHKW und deren Reduktionsmöglichkeiten sind weiterzuverfolgen.

Im Rahmen der IEA Bioenergy Task 38 ist geplant einen erweiterten englischen Bericht zur THG-Bilanz der Biogasanlage in Paldau zu erstellen und die Hauptergebnisse dieser Studie in einer Farbbroschüre zu präsentieren.

6 Literatur

Bayrisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.): Emissions- und Leistungsverhalten von Biogas-Verbrennungsmotoren in Abhängigkeit von der Motorwartung. LfU-Projekt Nr. 1325, Augsburg 2006

BOKU, IFA-Tulln, Inst. für Biotechnologie: Aufbau eines Bewertungssystems für Biogasanlagen – „Gütesiegel Biogas“. EdZ Projektnr. 807742 (unveröffentlichte Version). Tulln, 2007.

FTU Mitteilung: Zusammenfassung über die Messungen der FTU an Gasmotoren (unveröff.). Wien, 2007.

GEMIS 1994: Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme Version 2.1 - Erweiterter Endbericht, Öko-Institut, Darmstadt 1994.

GEMIS-Österreich 1998: Datensatz GEMIS-Österreich zusammengestellt vom Ökologie Institut Darmstadt, Österreichisches Ökologie Institut und JOANNEUM RESEARCH, herausgegeben vom Umweltbundesamt Wien, Wien 1998

Kristiansen P.G., Jensen J.K., Nielsen M. and J. B. Illerup: Emission Factors for Gas Fired CHP Units < 25 MW. Danish Gas Technology Centre, C0402, 2004

Jungmeier et al 1999: Treibhausgasbilanz der Bioenergie. Vergleich der Treibhausgas-Emissionen aus Bioenergie-Systemen und fossilen Energiesystemen, Joanneum Research, IEF.96014-01, Graz, 1999.

IPCC 2001: www.ipcc.ch

7 Fotodokumentation



Abbildung 7.1: Foto der Biogasanlage Paldau



Abbildung 7.2: Lagerbehälter für Körnermais und Deckel von Hauptfermenter 1.



Abbildung 7.3: Vorgrube der Biogasanlage Paldau



Abbildung 7.4: Blick in die Vorgrube der Biogasanlage Paldau



Abbildung 7.5: Fahrsilos für die Mais- und Grassilage



Abbildung 7.6: Foto des Silage Tagesbehälters



Abbildung 7.7: Endlager, mit Betondeckel abgedeckt.



Abbildung 7.8: Durchflusssensor, Fa. ESTERS Elektronik, Type 005 GD 100 / 1 mit Rechengerät GVPA-303-GDR, zur Messung der Gasströmung zwischen dem Endlager und den übrigen Komponenten der Biogasanlage



Abbildung 7.9: Rechengerät des Durchflusszählers

