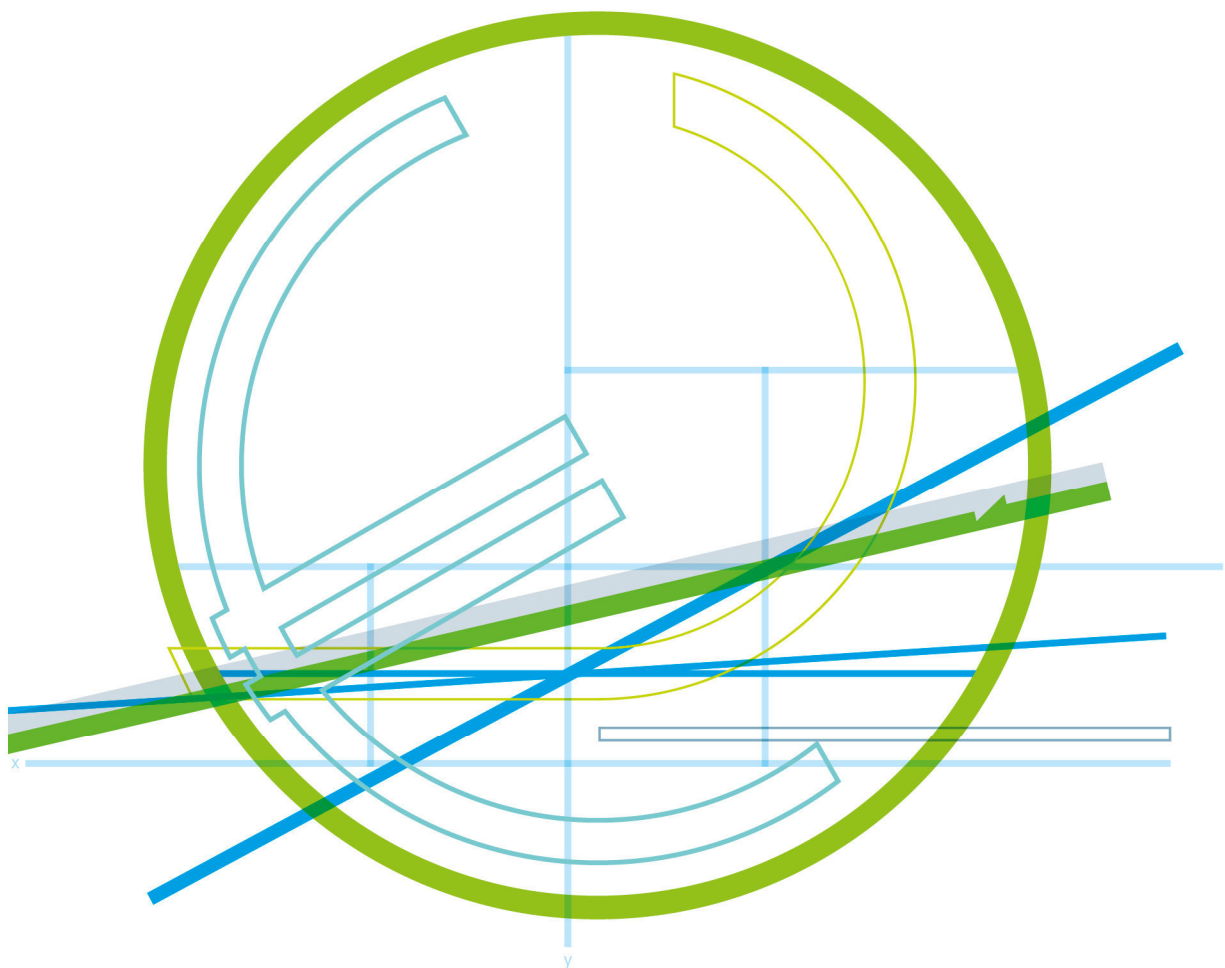


ÖKOBILANZ Biogas

Erfolgsfaktoren zur nachhaltigen Nutzung der Biogastechnologie am Beispiel ausgewählter Biogasanlagen



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Energie der Zukunft“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A handwritten signature in black ink, reading 'Theresia Vogel'.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink, reading 'Ingmar Höbarth'.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	4
Abstract	6
1. Zielsetzung	8
2. Methodik.....	9
2.1. Auswahl der Biogasanlagen	9
2.2. Lebenszyklusanalyse	12
2.2.1. Systemgrenzen	13
2.2.2. Funktionelle Einheit.....	15
2.2.3. Untersuchte Umweltauswirkungen	16
2.2.4. Festlegung der untersuchten Energiesysteme	18
2.2.4.1. Biogas 1: 100% Reststoffe	18
2.2.4.2. Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe	19
2.2.4.3. Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe	21
2.2.4.4. Biogas 4: 100% Nawaros	22
2.2.4.5. Biogas 5: 100% Nawaros	23
2.2.4.6. Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe	24
2.2.4.7. Referenzsysteme	26
2.3. Expertenbeirat	28
3. Datengrundlage	30
3.1. Datenerhebung	30
3.2. Grunddaten der Biogassysteme	32
3.2.1. Rohstoffgewinnung und -transporte	32
3.2.2. Biogasanlagen	34
3.2.2.1. Biogaserzeugung und Endlager	35
3.2.2.2. Strom-, Wärme- und Biomethanerzeugung	35
3.2.2.3. Gärrestbehandlung	36
3.2.2.4. Materialaufwand	37
3.3. Emissionen von Gülle- bzw. Gärrestmanagement	37
3.3.1. Einleitung	37
3.3.2. Emissionen bei der Ausbringung	38
3.3.2.1. Methan (CH ₄)	38
3.3.2.2. Ammoniak (NH ₃)	39
3.3.2.3. Lachgas (N ₂ O)	40
3.3.3. Emissionen bei der Lagerung	41

3.3.3.1.	Methan (CH ₄)	41
3.3.3.2.	Ammoniak (NH ₃)	42
3.3.3.3.	Lachgas (N ₂ O)	44
3.3.4.	Zusammenfassung der Emissionsfaktoren	45
3.4.	Emissionen der Kompostierung.....	47
3.5.	Feinstaub-Emissionen und NO _x -Emissionen in der Landwirtschaft.....	47
3.6.	Nährstoffkreislauf	48
3.6.1.	Problemstellung	48
3.6.2.	Methodik zur Bestimmung des Nährstoffkreislaufs	48
3.6.3.	Ergebnisse zum Nährstoffkreislauf.....	52
3.6.4.	Zusammenfassung zum Nährstoffkreislauf	58
3.6.5.	Schlussfolgerungen für die Lebenszyklusanalyse	59
3.7.	Weitere Aspekte der Gärrestnutzung	60
3.8.	Kohlenstoff-Kreislauf	61
4.	Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse	63
4.1.	Umweltauswirkungen der untersuchten Biogassysteme	63
4.1.1.	Beitrag zum Treibhauseffekt	63
4.1.2.	Beitrag zur Versauerung	71
4.1.3.	Beitrag zur bodennahen Ozonbildung.....	79
4.1.4.	Staub-Emissionen	86
4.1.5.	Fossiler Primärenergiebedarf	93
4.1.6.	Landwirtschaftlicher Flächenbedarf.....	101
4.1.7.	Sensitivitätsanalysen.....	101
4.2.	Bewertung nach den Leitprinzipien der Nachhaltigkeit.....	110
4.3.	Ökologische Erfolgsfaktoren zur nachhaltigen Nutzung der Biogastechnologie.....	112
5.	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	115
6.	Literaturverzeichnis	120
7.	Abbildungsverzeichnis.....	126
8.	Tabellenverzeichnis.....	129

ANHANG A – Anlagenbeschreibung und Grunddaten

Biogas 1: 100% Reststoffe

Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe

Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe

Biogas 4: 100% Nawaros

Biogas 5: 100% Nawaros

Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe

ANHANG B – Gemis Parameter (Excel-Tabellen)

ANHANG C – Informationen zum Expertenbeirat

ANHANG D - Nährstoffbilanzen Biogassysteme im Vergleich zur Referenznutzung von Reststoffen und unvergorener Gülle

Biogas 1: 100% Reststoffe

Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe

Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe

Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe

ANHANG E - Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse für Referenzsysteme

ANHANG F - Rechtliche Aspekte der Gärrestnutzung: Schwermetalle, organische Schadstoffe, Hygiene

Kurzfassung

Zur Beurteilung der Umweltauswirkungen von Biogas aus unterschiedlichen Rohstoffen werden Biogassysteme mit der Methode der Lebenszyklusanalyse (LCA) untersucht. Dabei werden die ökologischen Auswirkungen der gesamten Biogasprozesskette berücksichtigt: Produktion bzw. Sammlung der Rohstoffe, deren Vergärung in der Biogasanlage, die energetische Nutzung des Biogases sowie die stoffliche Nutzung der Gärreste. Weiters umfasst die Lebenszyklusanalyse die ökologischen Auswirkungen der Errichtung, des Betriebes sowie der Entsorgung der Komponenten des Biogassystems. Die Biogassysteme werden Referenzsystemen gegenübergestellt:

1. fossile Referenzsysteme: Strom aus Erdgas; Wärme aus Heizöl; Erdgas als Treibstoff
2. reale Referenzsysteme: stellt die Situation vor Errichtung des Biogassystems dar; Strom: österreichischer Strommix; Wärme: entsprechend lokaler Gegebenheiten; Treibstoff: 70% Diesel und 30% Benzin
3. erneuerbare Referenzsysteme: Strom: 49% Wasserkraft, 20% Biomasse, 30% Windkraft, 1% PV; Wärme: 50% Hackgut und 50% Pellet; Treibstoff: 70% Biodiesel + 30% Bioethanol

Weiters wurden auch die Referenznutzung der Agrarflächen (z.B. landwirtschaftliche Futterproduktion) und der Reststoffe (z.B. Kompostierung) in die LCA inkludiert.

Die Daten zur Erstellung der LCA basieren auf dem praktischen Betrieb von sechs Biogasanlagen. Diese Daten wurden durch Literaturwerte und Expertenannahmen ergänzt. In den untersuchten Anlagen wird das erzeugte Biogas zur Strom- und Wärmeerzeugung in einem BHKW eingesetzt und in einem Fall zu Biomethan aufbereitet und ins Erdgasnetz eingespeist. Zur Biogaserzeugung werden Kombinationen folgender Rohstoffe eingesetzt: nachwachsende Rohstoffe (z.B. Maissilage, Grassilage), Gülle (Schweine-, Rindergülle), Reststoffe (z.B. Speisereste, Obst- und Gemüseabfall). Es werden folgende Umweltauswirkungen betrachtet:

- Fossiler Primärenergiebedarf
- Beitrag zum Treibhauseffekt durch Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Lachgas (N_2O) in CO_2 -Äquivalent
- Beitrag zur Versauerung durch Ammoniak (NH_3), Schwefeldioxid (SO_2), Stickstoffoxide (NO_x) in SO_2 -Äquivalent
- Beitrag zur bodennahen Ozonbildung durch Kohlenmonoxid (CO), Nicht-Methan Kohlenwasserstoffe (NMVOC), Stickstoffoxide (NO_x), Methan (CH_4) in C_2H_4 -Äquivalent
- Staub-Emissionen
- landwirtschaftlicher Flächenbedarf und Auswirkungen auf den Boden (Nährstoffbilanzen)

Die Ergebnisse der LCA zeigen, dass fossile und reale Referenzsysteme im Vergleich zu den untersuchten Biogassystemen in allen Fällen einen höheren Beitrag zum Treibhauseffekt haben (von 20% bis 6.810%). Der Beitrag zum Treibhauseffekt von Biogassystemen ist geringer beim Einsatz von Gülle und Reststoffen als beim Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen.

Für den Beitrag zur Versauerung weisen alle Referenzsysteme zwischen 50% und 90% niedrigere Beiträge auf als die Biogassysteme, durch NH_3 -Emissionen bei der Gärrestaufbringung.

Der Beitrag zur bodennahen Ozonbildung der Referenzsysteme kann niedriger oder höher sein, als der der Biogassysteme.

Die Staub-Emissionen der fossilen Referenzsysteme sind etwa halb so hoch wie die Staub-Emissionen der Biogassysteme. Erneuerbare Referenzsystemen haben signifikant höhere Staub-Emissionen als Biogassysteme, wenn Hackgut oder Pellet zur Wärmeerzeugung verwendet werden.

Fossile Referenzsysteme benötigen 5 bis 22-mal soviel fossile Primärenergien wie die untersuchten Biogassysteme. Die erneuerbaren Referenzsysteme reduzieren den fossilen Primärenergiebedarf bis zu 90% im Vergleich zu den Biogassystemen, wenn das Biogas zur Strom- und Wärmeerzeugung in einem BHKW verwendet wird.

Da nur eine Anlage untersucht wurde, die Biogas aufbereitet und ins Erdgasnetz einspeist, kann keine allgemeine Aussage darüber getroffen werden, ob Aufbereitung des Biogases versus Strom- und Wärmeerzeugung in einem BHKW günstiger ist.

Es wurden folgende ökologische Erfolgsfaktoren für eine nachhaltige Nutzung der Biogastechnologie identifiziert:

Rohstoff: Der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen hat höhere Umweltauswirkung als die Nutzung von Reststoffen oder Gülle. Deshalb ist beim Rohstoffanbau entsprechend „guter landwirtschaftlicher Praxis“ vorzugehen.

Ausbringtechnik: Zur Minderung der NH_3 -Emissionen bei der Ausbringung von Gärresten sind Rahmenbedingungen - wie z.B. Witterung - und technische Aspekte - z.B. Ausbringtechniken mit bodennaher Applikation, Einsatz von Geräten mit sachgerechter Mengenbemessung und Verteilung - zu beachten.

Wärmenutzung: Je höher die Nutzung der anfallende Wärme bei der Stromerzeugung, desto vorteilhafter kann das Biogassystem betrieben werden, da Wärmeerzeugung auf Basis der betrachteten Referenzsysteme und die damit verbundenen Umweltauswirkungen vermieden werden können.

Geschlossenes Endlager: Zur Vermeidung von CH_4 -Emissionen mit Beitrag zu Treibhauseffekt und bodennaher Ozonbildung sowie NH_3 -Emissionen mit Beitrag zur Versauerung. Durch vermiedene CH_4 -Emissionen sind auch höhere Energieausbeuten möglich.

BHKW: Minimierung des CH_4 -Schlupfs und Einsatz von Katalysatoren zur Emissionsreduktion.

Ersatz von fossilen Energieträgern: Biogassysteme sind nur dann vorteilhaft, wenn dadurch ein Ersatz von fossilen Energieträgern erzielt werden kann.

Biogas trägt günstig zum Prinzip der Nutzung erneuerbarer Ressourcen und zum Effizienzprinzip bei. Zum Prinzip der Sicherung von Lebensqualität kann keine eindeutige Aussage getroffen werden.

Abstract

To evaluate the environmental impact of biogas production from different types of feedstock a life cycle assessment (LCA) was performed. The environmental impact of production and collection of raw materials, the fermentation of the materials in a biogas plant and the use of biogas and fermentation residues was investigated. Furthermore, the LCA included the environmental impact of construction, operation and dismantling of all components of the biogas plant. The biogas systems were compared to reference systems, which are:

1. fossil reference systems (electricity: natural gas; heat: fuel oil; transportation fuel: natural gas);
2. realistic reference systems that represent the actual situation before the biogas plant was built (electricity: Austrian electricity mix; heat: according to local situation; transportation fuel: 70% diesel and 30% petrol); and
3. renewable reference systems (electricity: 49% hydro power, 20% biomass, 30% wind power, 1% PV; heat: 50% wood chips and 50% pellet; transportation fuel: 70% bio diesel + 30% bio ethanol).

The reference use of agricultural area (e.g. feed production) and of residues (e.g. composting) was also included in the assessment.

The data for the LCA are based on operation information from six Austrian biogas plants. These data are augmented with data from literature and assumptions by experts. In the investigated systems the biogas is used for combined electricity and heat generation. In one case, biogas is upgraded to bio methane and injected into the natural gas grid. Mixtures of following raw materials are used as inputs: dedicated crops (e.g. corn silage, grass silage), liquid manure (cattle, pig) and organic residues (e.g. fruit residues, vegetable residues).

The LCA considers these environmental impact categories:

- Fossil primary energy demand;
- Global warming potential of carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) measured in carbon dioxide-equivalents (CO₂-eq.);
- Acidification potential of sulphur dioxide (SO₂), nitrogen oxide (NO_x) measured in sulphur dioxide-equivalents (SO₂-eq.);
- Ozone creation potential of carbon monoxide (CO), non-methane volatile organic compounds (NMVOC), nitrogen oxide (NO_x), methane (CH₄) in ethane-equivalent (C₂H₄-eq.);
- Particulate emissions; and
- Agricultural land area demand and impacts on soil (nutrient balances).

The results of the LCA show that fossil and realistic reference systems increase the global warming potential compared to the investigated biogas systems (between 20% and 6,810%). The global warming potential of the biogas systems is lower if liquid manure and organic residues are used as compared to the use of energy crops as raw material.

For acidification potential all reference systems show lower values as compared to the biogas systems (between 50% and 90%), due to NH₃-emissions from the use of fermentation residues as fertilizer.

The ozone creation potential of the reference systems can be higher or lower compared to the biogas systems.

The particulate emissions of the fossil reference systems are approximately half of the particulate emissions of the biogas systems. Renewable reference systems show significantly higher particulate emissions than biogas systems, if wood chips or pellet are used for heating.

Fossil reference systems require between 6 and 23 times more fossil primary energy as compared to the biogas systems. Renewable reference systems reduce the fossil primary energy demand by up to 90% as compared to the biogas systems, if the biogas is used in a combined heat and power plant.

No conclusion can be drawn concerning the pros and cons of biogas upgrading compared to biogas use in a combined heat and power plant since only one plant where this occurs was investigated.

The following factors for a sustainable use of biogas technology are identified:

Raw materials: The cultivation of dedicated crops has higher environmental impacts than the use of liquid manure and organic residues. Therefore the cultivation of dedicated crops should be performed according to “good agricultural practice”.

Application method: To minimise NH_3 -emissions from the application of fermentation residues general conditions - e.g. weather - and technological aspects - e.g. application technologies with low level application, use of machines with appropriate dosing and application devices should be considered.

Heat: The use of heat generated at the combined heat and power plant should be maximised because heat generation from other energy resources and the environmental impacts linked to it can be avoided.

Closed storage: To avoid CH_4 -emissions with global warming and ozone creation potential and NH_3 -emissions with acidification potential, the final storage for fermentation residues should be capped. Also higher heat and power outputs are possible due to avoided CH_4 -emissions.

Combined heat and power plant: CH_4 -losses should be minimised and the use of catalysers could reduce emissions.

Compensation of fossil energy systems: Biogas systems are advantageous only if they avoid fossil energy use.

1. Zielsetzung

Ziel des Projekts „Ökobilanz Biogas: Erfolgsfaktoren zur nachhaltigen Nutzung der Biogastechnologie am Beispiel ausgewählter Biogasanlagen“ ist die Untersuchung der Umweltauswirkungen von Biogas aus unterschiedlichen Rohstoffen. Für ausgewählte Biogasanlagen mit unterschiedlichen Prozessketten werden Emissionen in die Luft, der fossile Primärenergiebedarf und ökologische Auswirkungen auf den Boden wie Flächenbedarf und Nährstoffbilanzen untersucht.

Die Beurteilung der Umweltauswirkungen wird mit der Methode der Lebenszyklusanalyse durchgeführt. Dabei werden die ökologischen Auswirkungen der gesamten Biogasprozessketten berücksichtigt:

- Produktion bzw. Sammlung der Rohstoffe,
- deren Vergärung in der Biogasanlage,
- die energetische Nutzung des Biogases sowie
- die stoffliche Nutzung der Fermentationsrückstände.

Neben dem ökologischen Vergleich von unterschiedlichen Biogasprozessketten untereinander erfolgt eine Gegenüberstellung der Biogastechnologie zu Referenzsystemen. Die Referenzsysteme beinhalten konventionelle und erneuerbare Energiesysteme (Strom, Wärme, Treibstoff aus fossilen und erneuerbaren Energieträgern). Außerdem wird die Referenznutzung der Agrarflächen (z.B. landwirtschaftliche Futterproduktion) und der abfallwirtschaftlichen Reststoffe (z.B. Kompostierung) in der Lebenszyklusanalyse berücksichtigt.

Auf Basis der Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse werden die ökologischen Erfolgsfaktoren für einen optimalen Betrieb von Biogasanlagen abgeleitet. Die Ergebnisse zeigen auf, unter welchen Bedingungen die ökologischen Vorteile von Biogasanlagen maximiert bzw. deren ökologische Schwachstellen minimiert werden können.

In diesem Bericht wird auf die angewandte Methodik eingegangen, ein Überblick über die Grunddaten für die Lebenszyklusanalyse gegeben, die Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse dargestellt und die daraus abgeleiteten Erfolgsfaktoren beschrieben. Eine detaillierte Beschreibung der Anlagen befindet sich im ANHANG A. Als Basis für weitere Berechnungen mit dem Modell GEMIS¹, das für die Erstellung der Lebenszyklusanalyse verwendet wurde, sind im ANHANG B die verwendeten Grunddaten in tabellarischer Form zusammengefasst.

¹ GEMIS: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme

2. Methodik

In diesem Abschnitt wird die angewandte Methodik beschrieben. Es wird auf die Auswahl der Biogasanlagen eingegangen. Die Methode der Lebenszyklusanalyse und deren Anwendung für die Umweltbewertung der Biogassysteme werden beschrieben. Weiters wird die Einbindung von externen Experten in die Projektbearbeitung dargestellt („Expertenbeirat“).

Zur Vereinfachung werden die Begriffe „Gärreste“, „Gülle“, „Reststoffe“ und „Nawaros“ für die Verwendung in diesem Bericht wie folgt definiert:

Gärreste

Im Rahmen des Gärprozesses in Biogasanlagen fällt neben dem Biogas auch ein stoffliches Endprodukt an, das je nach Art der eingesetzten Rohstoffe als Biogasgülle oder als Gärrückstand bezeichnet wird. Werden ausschließlich Ausgangsmaterialien aus der landwirtschaftlichen Urproduktion verwertet, spricht man beim Fermentationsrückstand von Biogasgülle, in allen anderen Fällen handelt es sich um Gärrückstände (BMLFUW, 2007). In der Praxis werden diese Substrate ähnlich den flüssigen Wirtschaftsdüngerformen Gülle bzw. Jauche auf landwirtschaftlichen Nutzflächen zur Nährstoffversorgung unterschiedlicher Kulturpflanzen eingesetzt.

In diesem Bericht werden die Begriffe „Biogasgülle“ und „Gärrückstand“ unter dem Begriff Gärrest zusammengefasst, ohne zwischen den eingesetzten Ausgangsmaterialien zu unterscheiden.

Gülle

Für flüssige Wirtschaftdüngerformen wird hier einheitlich der Begriff „Gülle“ verwendet und bei Bedarf zwischen „Schweinegülle“ und „Rindergülle“ unterschieden.

Reststoffe

Unter dem Begriff „Reststoffe“ werden in diesem Bericht abfallwirtschaftliche Rohstoffe für die Biogaserzeugung verstanden wie z.B. Obst- und Gemüseabfall, Speisereste, Fettabscheiderrückstände oder Frittierfette.

Nawaros

Nachwachsende Rohstoff – abgekürzt als Nawaros bezeichnet – sind Rohstoffe, die für die Verwendung in der Biogasanlage angebaut bzw. geerntet werden, wie z.B. Maissilage oder Grassilage.

2.1. Auswahl der Biogasanlagen

Die Auswahl der Biogasanlagen erfolgte anhand der folgenden Kriterien:

- Verfügbarkeit von Daten aus dem Anlagenbetrieb und
- Repräsentativität der Anlagenauswahl für die österreichische Biogasbranche.

Sechs Anlagen wurden vom Projektkonsortium ausgesucht, die die oben genannten Kriterien erfüllen. Die Repräsentativität der Auswahl für die österreichische Biogasbranche wurde anhand der Ergebnisse des Biogas-Branchenmonitors

(Tragner et al 2008) überprüft, in dem insgesamt 151 österreichische Anlagen erfasst wurden. Dafür wurden die Anlagenkriterien

- Rohstoffkategorien
- Rohstoffzukauf
- elektrische Leistung des BHKW
- Nutzung des Biogases

mit den Ergebnissen des Biogas Branchenmonitors verglichen (für Ergebnisse des Vergleichs Siehe ANHANG C). Weiters wurde eine schriftliche Umfrage zur Repräsentativität und Stand der Technik der ausgewählten Biogasanlagen mit den Mitgliedern des Expertenbeirats durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Umfrage bestätigten, die Repräsentativität der vom Projektkonsortium getroffenen Anlagenauswahl (Siehe auch 2.3 und ANHANG C).

Für die Untersuchung wurden sechs Biogasanlagen ausgewählt. Das erzeugte Biogas wird in 5 Biogasanlagen zur Strom- und Wärmeerzeugung in einem BHKW eingesetzt. In einem Fall wird das Biogas zu Biomethan aufbereitet und in das Erdgasnetz eingespeist.

In den untersuchten Anlagen werden folgende Rohstoffe bzw. Kombinationen davon eingesetzt:

- Nachwachsende Rohstoffe (z.B. Maissilage, Grassilage)
- Gülle (Schweine-, Rindergülle)
- abfallwirtschaftliche Reststoffe (z.B. Speisereste, Obst- und Gemüseabfall).

Auf Wunsch der Anlagenbetreiber wurden die Anlagen anonymisiert. Zur besseren Unterscheidung der Anlagen wurden diese nummeriert und in die Anlagenbezeichnung die Rohstoffzusammensetzung bezogen auf Jahresinput der feuchten Masse integriert, womit sich folgende Bezeichnungen ergeben:

- Biogas 1: 100% Reststoffe
- Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe
- Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe
- Biogas 4: 100% Nawaros
- Biogas 5: 100% Nawaros
- Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe

Tabelle 1 zeigt die Eckdaten der untersuchten Biogasanlagen.

Tabelle 1: Eckdaten der untersuchten Biogasanlagen

Biogasanlage	Biogas 1: 100% Reststoffe	Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe	Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe	Biogas 4: 100% Nawaros	Biogas 5: 100% Nawaros	Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe
Bezugsjahr Datenerhebung	2007	2008	2005	2005	2009	2008
Rohstoffe	Küchen- u. Speiseabfälle, überlagerte Lebensmittel, Molkereiabfälle, Biomüll, Fettabscheiderrückstände, Wiesengras, verdorbenes Saatgut, Lederspäne, Stärkeschlamm, Sonstige	Mais GPS ^a , Mais CCM ^b , Speisereste, Flotat, Obstabfälle, Fettabscheiderrück- stände, Schweinegülle	Mais GPS ^a , Maiskornsilage, Schweinegülle, Zuckerrübenschnitzel, Gemüseabfall, verdorbenes Getreide	Mais GPS ^a , Grassilage, Kleesilage, Grünschnittgetreide, Sonnenblumen-Mais- Gemisch	Grassilage	Rindergülle, Mais GPS ^a , Grassilage, Molkerei Ausschussware, Fettabscheiderückstän- de, Speiseöl, Stroh
erzeugte Biogasmenge	7,32 Mio. Nm ³ /a	2,41 Mio. Nm ³ /a	3,59 Mio. Nm ³ /a	1,98 Mio. Nm ³ /a	1,02 Mio. Nm ³ /a	0,41 Mio. Nm ³ /a
Methangehalt d. Biogas	65% (60 - 70%)	62% (60-64%)	51%	50%	58%	62%
Verwendung Biogas						
Leistung elektrisch	BHKW 280 kW	BHKW 1.000 kW	BHKW 1.000 kW	BHKW 526 kW	Mikrogasturbine 63 kW	BHKW 130 kW
Leistung thermisch	398 kW	1.240 kW	1.034 kW	563 kW	110 kW	260 kW
Biomethan					Druckwechseladsorption 420.000 Nm ³ /a	
Stromerzeugung (inkl. Eigenbedarf)	1.700 MWh/a	5.233 MWh/a	7.150 MWh/a	4.305 MWh/a	750 MWh/a	975 MWh/a
Wärmeerzeugung	3.400 MWh/a	6.490 MWh/a	7.390 MWh/a	4.607 MWh/a	900 MWh/a	200 MWh/a
Genutzte Wärmemenge	40%	35%	30%	35%	100%	15%
Art der Wärmenutzung	Eigenbedarf, Einspeisung in ein Fernwärmenetz	Eigenbedarf, Beheizung Wohnhäuser, Firmen, Schweinemastbetrieb	Eigenbedarf, Nahwärmenetz	Eigenbedarf, Nahwärmenetz mit Warmwasserbereitung im Sommer	Eigenbedarf, Nahwärme + Hackgut-Trocknung	Eigenbedarf, Beheizung Wohnhäuser

^a CCM: Corn Cob Mix

^b GPS: Ganzpflanzensilage

2.2. Lebenszyklusanalyse

Die Umweltauswirkungen der Biogassysteme werden auf Basis einer Lebenszyklusanalyse (LCA²) - auch Ökobilanz genannt - berechnet.

Nach ISO 14040:2006 „Umweltmanagement Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen“ bezieht sich eine Lebenszyklusanalyse auf die Umweltaspekte und potentiellen Umweltauswirkungen (z.B. Nutzung von Ressourcen und die Umweltauswirkungen von Emissionen) im Verlauf des Lebensweges eines Produktes von der Rohstoffgewinnung über die Produktion, Anwendung, Abfallbehandlung, Recycling bis zur endgültigen Beseitigung (d.h. „von der Wiege bis zur Bahre“).

In der Lebenszyklusanalyse werden alle beteiligten Stoffe und Prozesse berücksichtigt: Hilfsenergien wie z.B. Strom, Hilfsstoffe wie z.B. Düngemittel beim Anbau landwirtschaftlicher Nutzpflanzen, die Errichtung und Entsorgung von Anlagen, die Biogasnutzung, die Verwertung der Nebenprodukte, die Substitution anderer Produkte durch die Nebenprodukte, stoffliche Verluste und die Referenznutzung der Fläche bzw. der eingesetzten Biomasse.

Die hier erstellte Lebenszyklusanalyse wurde in Anlehnung an die Vorgaben der ISO 14040:2006 durchgeführt. In Abbildung 1 sind die vier Phasen einer Ökobilanz dargestellt:

- Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens
- Sachbilanz
- Wirkungsabschätzung
- Auswertung

Der Untersuchungsrahmen einer Ökobilanz definiert wichtige Eckdaten der Analyse, wie das zu untersuchende System selbst, die Systemgrenzen, die funktionelle Einheit und ausgewählte Umweltauswirkungen.

Die Sachbilanz umfasst die Datenerhebung und Berechnungsverfahren zur Quantifizierung von relevanten Input- und Outputflüssen eines Produktsystems. (Für Details zur Sachbilanz siehe Abschnitt 3 Datengrundlage).

Bei der Wirkungsabschätzung werden die Ergebnisse der Sachbilanz in Hinblick auf ihre potentiellen Umweltauswirkungen beurteilt. D.h. die Daten aus der Sachbilanz (z.B. CO₂-Emissionen) werden mit spezifischen Wirkungskategorien (z.B. Beitrag zum Treibhauseffekt) verknüpft.

In der Auswertung werden die Wirkungsabschätzung und Sachbilanz gemeinsam betrachtet und aus den Ergebnissen der Auswertung Schlussfolgerungen und Empfehlungen abgeleitet.

Für Details zur Wirkungsabschätzung und Auswertung siehe Abschnitt 4 Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse.

² LCA: Life Cycle Assessment

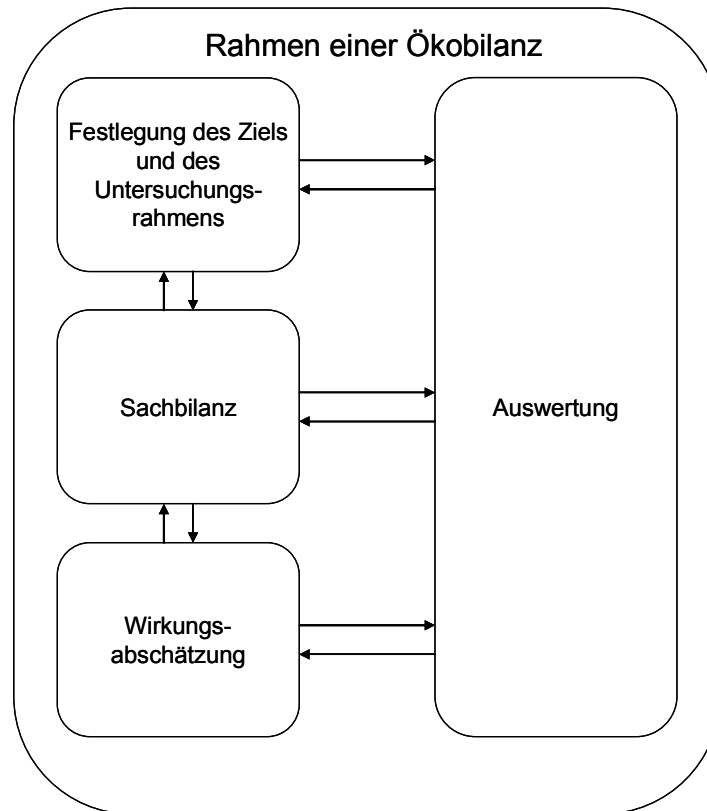


Abbildung 1: Phasen einer Lebenszyklusanalyse nach ISO 14040:2006

In der Folge werden wichtige Punkte des Untersuchungsrahmens für die durchgeführte Lebenszyklusanalyse dargestellt.

2.2.1. Systemgrenzen

Die untersuchten Energiesysteme werden zur Untersuchung mittels Lebenszyklusanalyse als Prozessketten dargestellt. Eine Prozesskette beschreibt den gesamten Lebenszyklus von der Rohstoffbereitstellung bis zur Endenergie (Strom, Wärme oder Biomethan zur Erbringung einer Transportdienstleistung). Außerdem wird die Verwendung von Nebenprodukten berücksichtigt (z.B. Gärreste). Ein weiterer Bestandteil des untersuchten Systems ist die Referenznutzung von Rohstoffen (Reststoffen, Gülle) und Anbauflächen. D.h. es wird berücksichtigt was mit diesen Rohstoffen und der landwirtschaftlichen Anbauflächen passieren würde, wenn diese nicht für das Biogassystem genutzt würden. Der Energieaufwand und die Umweltauswirkungen, die mit dieser Referenznutzung verbunden sind, werden durch das Biogassystem vermieden.

Um die Umweltauswirkungen der Biogassysteme bewerten zu können, werden Referenzsysteme dem Biogassystem gegenübergestellt. Referenzsysteme sind Energiesysteme, die die gleiche Endenergiemenge bzw. Transportdienstleistung wie das Biogassystem bereitstellen, jedoch auf anderen Energieträgern und Technologien basieren.

Abbildung 2 zeigt das Schema für die Bewertung eines Bioenergiesystems im Vergleich zu einem Referenzsystem mit fossiler Energie. Die Elemente dieses Schemas sind:

Bioenergiesystem:

- Sammlung von Reststoffe
- Anbau von Nawaros
- Rohstofftransport
- Umwandlung
- Verteilung
- Verwendung

Referenzsystem mit fossiler Energie:

- Referenznutzung der Reststoffe
- Referenznutzung der Fläche
- Gewinnung der fossilen Ressource
- Transport
- Umwandlung
- Verteilung
- Verwendung

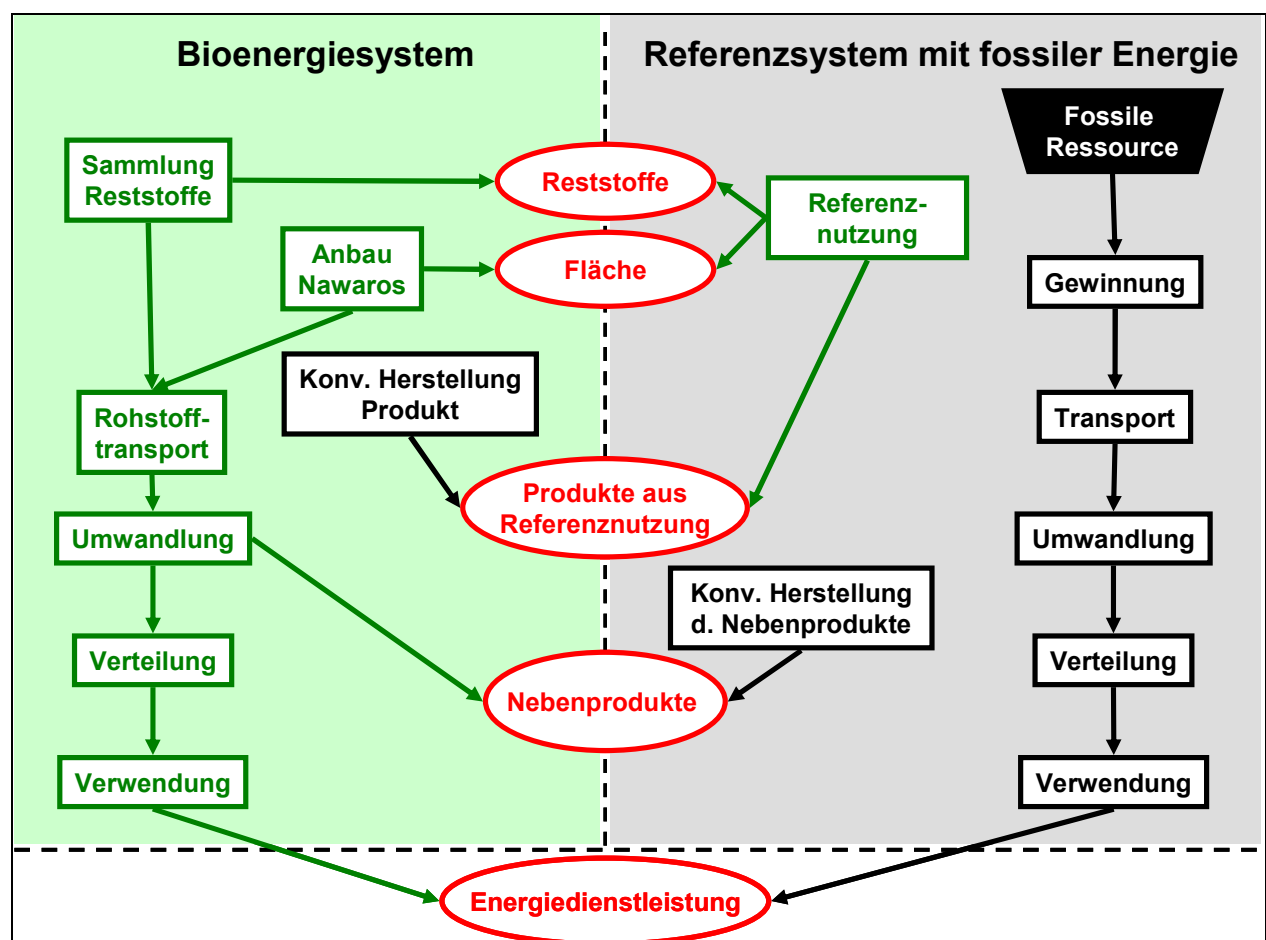


Abbildung 2: Schema zur Bewertung eines Bioenergiesystems im Vergleich zu einem fossilen Referenzsystem mittels LCA

Für den zur Gewinnung der Bioenergie eingesetzten biogenen Kohlenstoff wird angenommen, dass die Bilanz der Netto-CO₂-Fixierung durch die Photosynthese, die Kohlenstoffspeicherung und die Verbrennung der Biomasse Null ist. Diese Annahme entspricht den vom Intergovernmental Panel on Climate Change (IPPC) erstellten Richtlinien für Energiewirtschaft. Damit werden die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse mit Null bilanziert.

Abbildung 3 zeigt die Kohlenstoff- und Energieflüsse eines Bioenergiesystems im Vergleich zu einem fossilen Referenzsystem

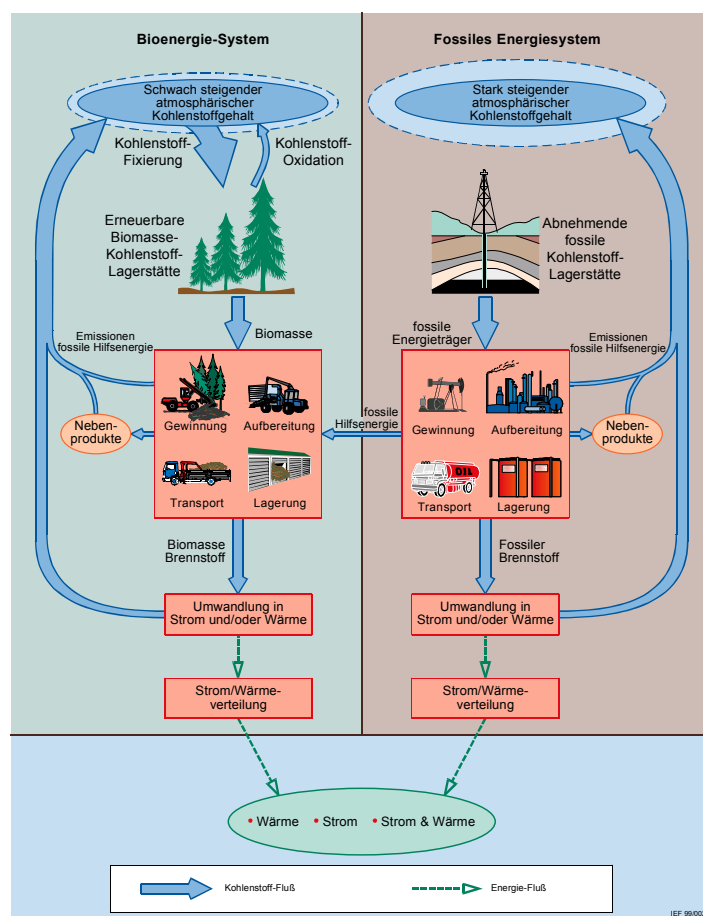


Abbildung 3: Kohlenstoff- und Energieflüsse für Bioenergiesysteme und fossile Energiesysteme (Jungmeier et al 2003)

2.2.2. Funktionelle Einheit

Die funktionelle Einheit dieser Lebenszyklusanalyse sind Emissionen und Energiebedarf und Flächenbedarf bezogen auf 1 MWh nutzbare Energie.

In Anlagen bei denen das Biogas in einem BHKW zur Strom- und Wärmebereitstellung eingesetzt wird, setzt sich 1 MWh nutzbare Energie aus einem

Anteil Strom und einem Anteil Wärme zusammen. Das anlagenspezifische Verhältnis berechnet sich wie folgt:

$$\text{Anteil Strom} = \frac{\text{genutzter Strom [MWh / a]}}{\text{genutzter Strom [MWh / a]} + \text{genutzte Wärme [MWh / a]}}$$

$$\text{Anteil Wärme} = \frac{\text{genutzte Wärme [MWh / a]}}{\text{genutzter Strom [MWh / a]} + \text{genutzte Wärme [MWh / a]}}$$

Für die Anlage in der das Biogas zu Biomethan aufbereitet wird, setzt sich 1 MWh nutzbare Energie aus einem Anteil Biomethan, einem Anteil Strom und einem Anteil Wärme zusammen. Das Verhältnis berechnet sich wie folgt:

$$\text{Anteil Biomethan} = \frac{\text{genutztes Biomethan [MWh / a]}}{\text{genutztes Biomethan [MWh / a]} + \text{genutzter Strom [MWh / a]} + \text{genutzte Wärme [MWh / a]}}$$

Für die Verwendung des Biomethans wird angenommen, dass es als Treibstoff eingesetzt wird. In der funktionellen Einheit wird die aus dem Treibstoff gewonnene Transportdienstleistung als PKW-km berücksichtigt.

Beispiele der hier verwendeten funktionellen Einheit für Emissionen und Energiebedarf:

- kg CO₂-Äq. / (0,61 MWh Strom + 0,39 MWh Wärme)
- MWh fossile Primärenergie / (1.268 PKW-km + 0,10 MWh Wärme + 0,05 MWh Strom)

2.2.3. Untersuchte Umweltauswirkungen

Folgende Umweltauswirkungen werden untersucht:

Beitrag zum Treibhauseffekt

Es wird die Wirkung von Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Distickstoffmonoxid / Lachgas (N₂O) gewichtet in CO₂-Äquivalent auf den Treibhauseffekt untersucht.

Beitrag zur Versauerung

Es wird die Wirkung von Schwefeldioxid (SO₂) und Stickstoffoxiden (NO_x) gewichtet in SO₂-Äquivalent auf die Versauerung untersucht.

Beitrag zur bodennahen Ozonbildung

Es wird die Wirkung von Kohlenmonoxid (CO), Nicht-Methan Kohlenwasserstoffe (NMVOC), Stickstoffoxiden (NO_x) und Methan (CH₄) gewichtet in C₂H₄-Äquivalent auf die bodennahe Ozonbildung untersucht.

Staub-Emissionen

Die hier berücksichtigten Staub-Emissionen beinhalten sowohl Feinstaub (PM₁₀) als auch Grobstaub und werden allgemein als „Staub“ bezeichnet.

Fossiler Primärenergiebedarf

Der Primärenergiebedarf umfasst alle Energieeinsätze, die mit der Erzeugung der nutzbaren Energie aus Biogas (z.B. Strom und Wärme) verbunden sind. Beim fossilen Primärenergiebedarf werden nur jene Anteile erfasst, die aus den fossilen Energieträgern Kohle, Erdgas und Rohöl stammen.

Landwirtschaftlicher Flächenbedarf

Beim Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen (z.B. Maissilage) als Rohstoff für die Biogasherstellung wurde der dafür notwendige landwirtschaftliche Flächenbedarf erhoben. Weiters wurde die notwendige Fläche für die Ausbringung der erzeugten Gärresten bestimmt.

Auswirkungen auf den Boden

Es werden die Auswirkungen auf den Boden bei der Verwendung der Fermentationsrückstände als Dünger in Nährstoffbilanzen dargestellt. Der mögliche Eintrag von Schadstoffen bei der Verwendung von Gärresten aus abfallwirtschaftlichen Anlagen wird beschrieben. Fragestellungen zum Kohlenstoff-Kreislauf durch die Nutzung von Gärresten wurden im Projekt behandelt aber nicht quantitativ bewertet.

Zur Wirkungsabschätzung werden Emissionen anhand von Äquivalenzfaktoren gewichtet. Die im Projekt verwendeten Äquivalenzfaktoren sind in Tabelle 2 bis Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 2: Äquivalenzfaktoren der Emissionen mit Beitrag zum Treibhauseffekt (IPCC 2007)

Emissionen mit Beitrag zum Treibhauseffekt	CO ₂ -Äquivalent
CO ₂	1
CH ₄	25
N ₂ O	298

Tabelle 3: Äquivalenzfaktoren der Emissionen mit Beitrag zur Versauerung (Öko-Institut 2009)

Emissionen mit Beitrag zur Versauerung	SO ₂ -Äquivalent
SO ₂	1
NO _x	0,7

Tabelle 4: Äquivalenzfaktoren der Emissionen mit Beitrag zur Ozonbildung (Öko-Institut 2009)

Emissionen mit Beitrag zur Ozonbildung	C ₂ H ₄ -Äquivalent
C ₂ H ₄	1
NM VOC	1
CO	0,11
NO _x	1,22
CH ₄	0,014

2.2.4. Festlegung der untersuchten Energiesysteme

Im Anschluss werden die Festlegung der sechs untersuchten Biogassysteme und die ausgewählten Referenzsysteme im Detail beschrieben.

2.2.4.1. Biogas 1: 100% Reststoffe

In Abbildung 4 ist das Biogassystem „Biogas 1: 100% Reststoffe“ dargestellt. Bezogen auf 1 MWh Endenergie stellt das System 0,61 MWh Strom und 0,39 MWh Wärme bereit. Dem Biogassystem gegenübergestellt ist ein fossiles Energiesystem bei dem 0,61 MWh Strom aus Erdgas über ein Gas- und Dampfkraftwerk und 0,39 MWh Wärme aus Heizöl über einen Ölkessel bereit gestellt werden.

In der Lebenszyklusanalyse wird auch berücksichtigt, was mit den Reststoffen passieren würde, wenn diese nicht für die Biogaserzeugung eingesetzt würden (Referenznutzung der Rohstoffe). Bei dieser Anlage würden über 90% der eingesetzten Rohstoffe (bezogen auf feuchte Masse) kompostiert. Die fetthaltigen Rohstoffe würden einer Kläranlage einem anaeroben Abwasserreinigungsprozess zugeführt. Da bei diesem Prozess aus dem gewonnen Klärgas auch Strom und Wärme bereitgestellt wird, muss diese Strom- und Wärmemenge im Biogassystem berücksichtigt werden. Diese Strom- und Wärmemenge wurde anhand der Biogaserträge der einzelnen Rohstoffe abgeschätzt und ergab 11 MWh/a Strom und 15 MWh/a Wärme. Das entspricht 0,32% der in der Biogasanlage jährlich erzeugten Strommenge und 0,45% der Wärmemenge. Im Biogassystem wird dieser Strom aus Erdgas über ein Gas- und Dampfkraftwerk und die Wärme aus Heizöl über einen Ölkessel bereitgestellt.

Bei der Biogaserzeugung fallen als Nebenprodukt Gärreste an, die als Dünger verwendet werden. Bei der Referenznutzung des Rohstoffs in der Kompostierung und der Kläranlagen fallen Kompost und Klärschlamm an, die auch als Düngemittel verwendet würden. Die Ergebnisse der Nährstoffbilanz (Siehe auch 3.6 Nährstoffkreislauf) für diese Anlage haben ergeben, dass die Nährstoffverluste im Biogassystem durch Verluste im Presswasser bei der Gärrestaufbereitung etwas höher sind, als im Referenzfall bei Kompostierung und Kläranlage. Deshalb wird dem Biogassystem die Erzeugung und Aufbringung einer geringen Menge mineralischer Dünger zugerechnet.

In der Berechnung werden die Emissionen und der Energie- und Materialaufwand der Referenznutzung von Rohstoffen beim Biogassystem berücksichtigt. D.h. die Ergebnisse für das Biogassystem beinhalten alle grün dargestellten Prozessschritte in Abbildung 4.

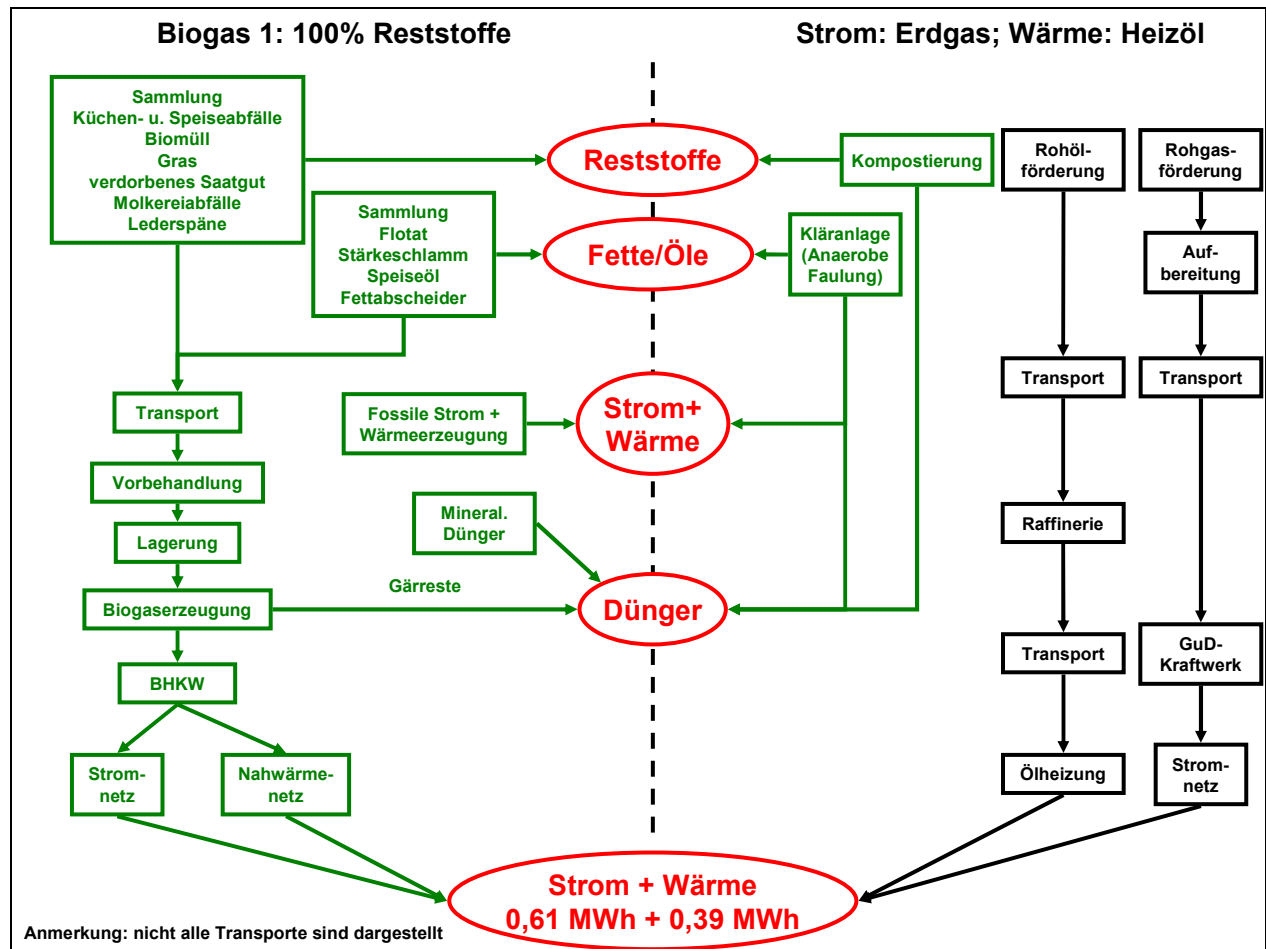


Abbildung 4: Biogassystem „Biogas 1: 100% Reststoffe“ im Vergleich zum fossilen Referenzsystem „Strom: Erdgas; Wärme: Heizöl“

2.2.4.2. Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe

In Abbildung 5 ist das Biogassystem „Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe“ dargestellt. Bezogen auf 1 MWh Endenergie stellt das Biogassystem 0,59 MWh Strom und 0,41 MWh Wärme bereit. Dem Biogassystem gegenübergestellt ist ein fossiles Energiesystem bei dem 0,59 MWh Strom aus Erdgas über ein Gas- und Dampfkraftwerk und 0,41 MWh Wärme aus Heizöl über einen Ölkessel bereit gestellt werden.

Würde die Gülle nicht als Rohstoff für die Biogasanlage eingesetzt, würde diese gelagert und als Dünger auf landwirtschaftliche Flächen aufgebracht (Referenznutzung Gülle).

Die Referenznutzung der Reststoffe ist bei dieser Anlage auch die Kompostierung bzw. die Zuführung fetthaltiger Reststoffe zu einem anaeroben Abwasserreinigungsprozess. Die im Referenzsystem über das Klärgas gewonnene Energiemenge wurde mit 59 MWh/a Strom und 83 MWh/a Wärme abgeschätzt. Das entspricht ca. 1% der in der Biogasanlage jährlich erzeugten Strom- und Wärmemenge. Im Biogassystem wird dieser Strom aus Erdgas über ein Gas- und Dampfkraftwerk und die Wärme aus Heizöl über einen Ölkessel bereitgestellt.

Neben der Referenznutzung der Rohstoffe wird der Lebenszyklusanalyse auch die Referenznutzung der Anbauflächen berücksichtigt. D.h. es wird inkludiert, was mit den Flächen passieren würde, wenn darauf keine Rohstoffe für die Biogasanlage angebaut würden. Für die Anlage 2 hat die Datenerhebung ergeben, dass die Flächen nicht mehr bewirtschaftet würden, wenn keine Rohstoffe für die Biogasanlage benötigt würden („Brache“).

Bei der Biogaserzeugung fallen als Nebenprodukt Gärreste an, die als Dünger eingesetzt werden. Ein Teil des anfallenden Gärrests wird als Dünger auf Flächen aufgebracht, die für den Anbau von Mais als Rohstoff für die Biogasanlage verwendet werden. Der Düngbedarf für den Maisanbau kann vollständig über die Gärreste abgedeckt werden und es wird hier kein mineralischer Dünger benötigt (Siehe auch 3.6 Nährstoffkreislauf). Die Düngewirkung der Restmenge an Gärrest wird der Düngewirkung der Referenznutzung (Kompost, Klärschlamm, Gülle) gegenübergestellt. Die Nährstoffbilanz zeigt, dass im Biogassystem weniger Dünger zur Verfügung steht als bei der Referenznutzung. Deshalb wird beim Biogassystem die Erzeugung und Aufbringung einer geringen Menge mineralischer Dünger zugerechnet.

In der Berechnung werden die Emissionen und der Energie- und Materialaufwand der Referenznutzung von Rohstoffen und Anbauflächen beim Biogassystem berücksichtigt. D.h. die Ergebnisse für das Biogassystem beinhalten alle grün dargestellten Prozessschritte in Abbildung 5.

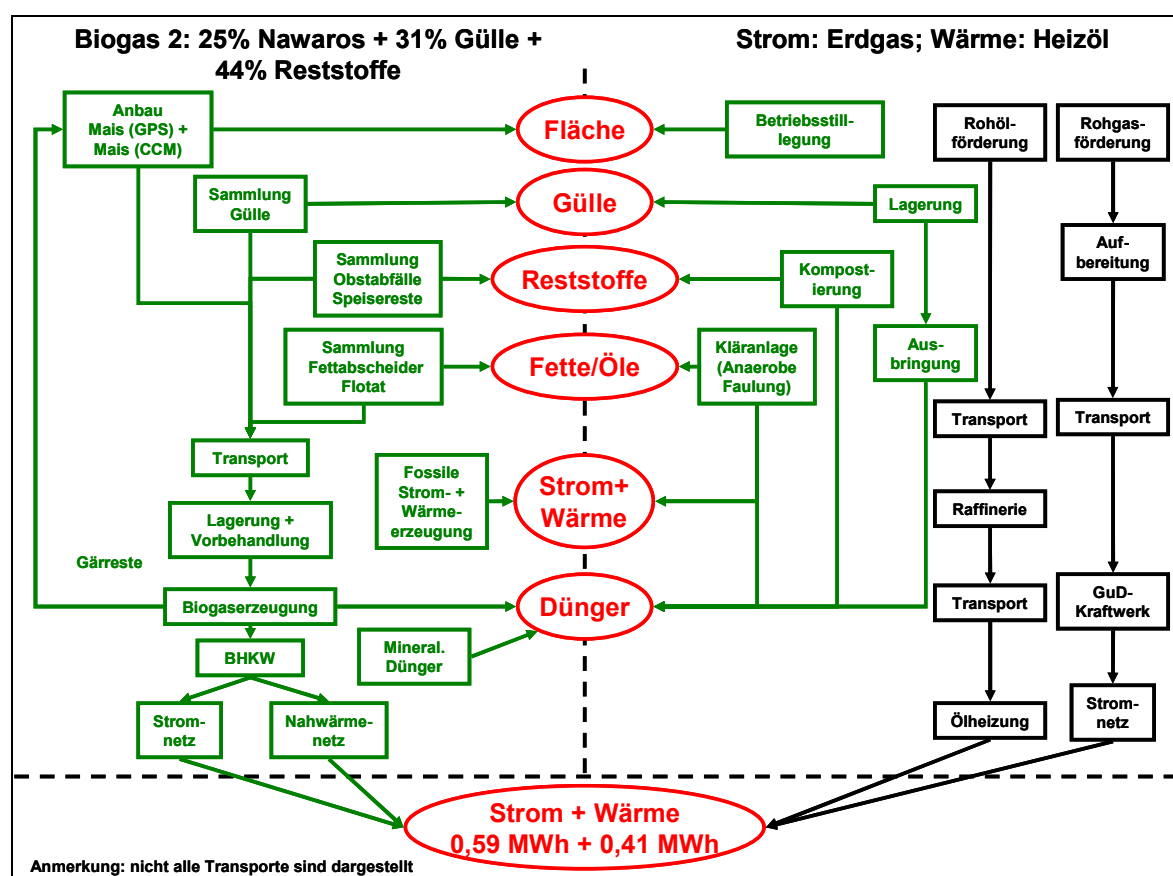


Abbildung 5: Biogassystem „Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe“ im Vergleich zum fossilen Referenzsystem „Strom: Erdgas; Wärme: Heizöl“

2.2.4.3. Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe

In Abbildung 6 ist das Biogassystem „Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe“ dargestellt. Bezogen auf 1 MWh Endenergie stellt das Biogassystem 0,77 MWh Strom und 0,23 MWh Wärme bereit. Dem Biogassystem gegenübergestellt ist ein fossiles Energiesystem bei dem 0,77 MWh Strom aus Erdgas über ein Gas- und Dampfkraftwerk und 0,23 MWh Wärme aus Heizöl über einen Ölkessel bereit gestellt werden.

Die Referenznutzung der Gülle ist die Lagerung und Ausbringung auf landwirtschaftliche Flächen als Dünger.

Die Referenznutzung der Reststoffe ist die Kompostierung. Ausgenommen sind die Rübenschnitte, die auf das Feld gebracht und dort durch natürliche Prozesse abgebaut werden. Die in den Rübenschnitten enthaltenen Nährstoffe kommen somit direkt auf das Feld.

Für die Flächen auf denen Mais für die Biogasanlage angebaut wird, wird für den Referenzfall angenommen, dass Körnermais angebaut wird, der in weiterer Folge als Tierfutter eingesetzt wird. Dieses Tierfutter fehlt bei der Verwendung der Flächen für den Anbau von Energiepflanzen und muss deshalb im Biogassystem zusätzlich erzeugt werden. Es wird angenommen, dass ein Teil über jährliche Ertragssteigerung von 1,2% beim bestehenden Anbau von Körnermais abgedeckt werden kann. Die verbleibende Menge Tierfutter wird über Import von Körnermais aus Ungarn abgedeckt. Die daraus folgenden möglichen Auswirkungen auf Flächen in Ungarn (z.B. Verdrängung von anderen Fruchtarten) und weiterführende Landnutzungsänderungen werden in der Lebenszyklusanalyse nicht berücksichtigt.

Ein Teil des anfallenden Gärrests wird als Dünger auf Flächen aufgebracht, die für den Anbau von Mais als Rohstoff für die Biogasanlage verwendet werden. Der Düngebedarf für den Maisanbau kann vollständig über die Gärreste abgedeckt werden und es wird kein mineralischer Dünger benötigt (Siehe auch 3.6 Nährstoffkreislauf). Die Düngewirkung der Restmenge an Gärrest wird der Düngewirkung der Referenznutzung (Kompost, Gülle, Rübenschnitte) gegenübergestellt. Die Nährstoffbilanz zeigt, dass im Biogassystem weniger Dünger zur Verfügung steht als bei der Referenznutzung. Deshalb wird dem Biogassystem die Erzeugung und Aufbringung von mineralischem Dünger zugerechnet.

In der Berechnung werden die Emissionen und der Energie- und Materialaufwand der Referenznutzung von Rohstoffen und Anbauflächen beim Biogassystem berücksichtigt. D.h. die Ergebnisse für das Biogassystem beinhalten alle grün dargestellten Prozessschritte in Abbildung 6.

In der Berechnung werden die Emissionen und der Energie- und Materialaufwand der Referenznutzung von Anbauflächen beim Biogassystem berücksichtigt. D.h. die Ergebnisse für das Biogassystem beinhalten alle grün dargestellten Prozessschritte in Abbildung 7.

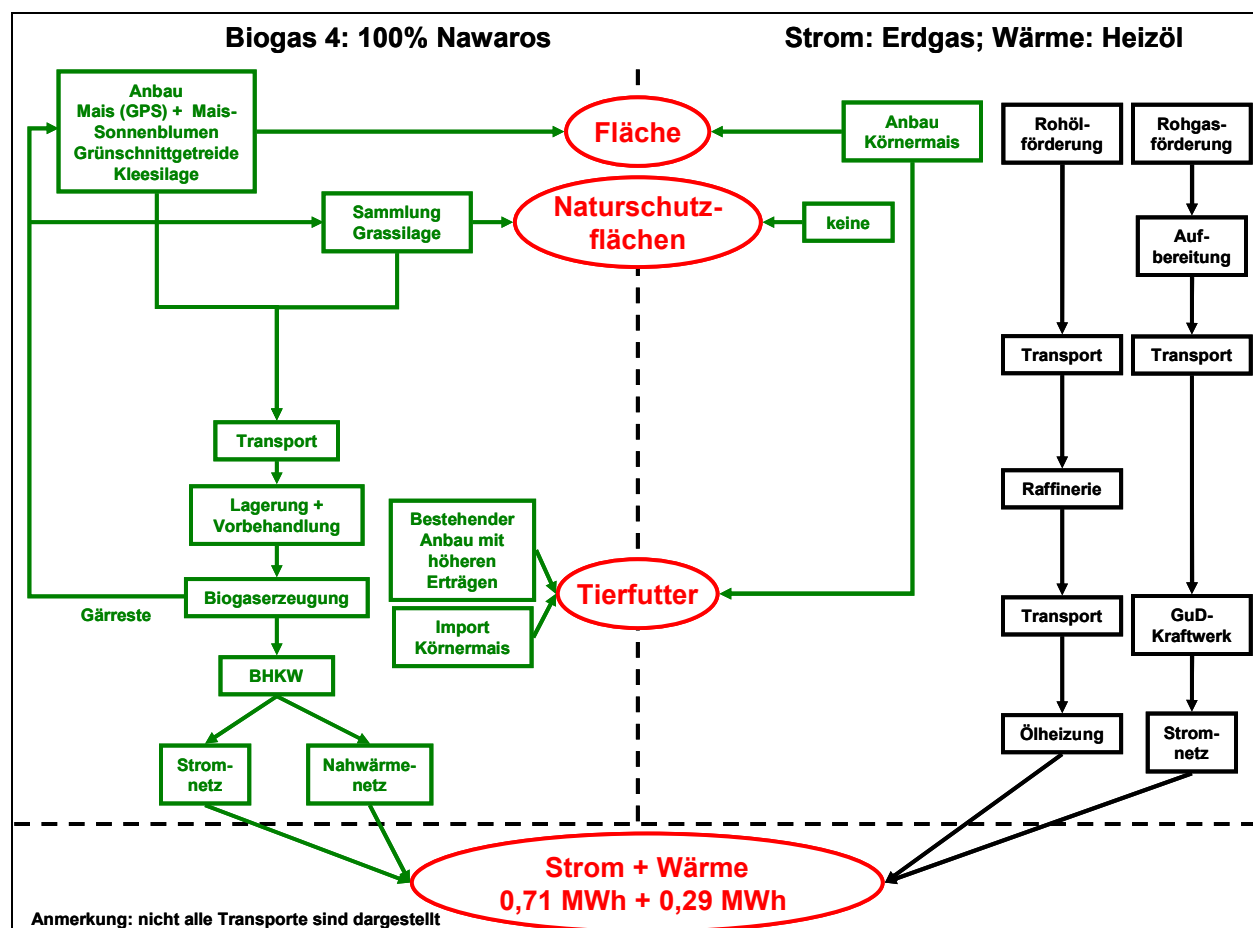


Abbildung 7: Biogassystem „Biogas 4: 100% Nawaros“ im Vergleich zum fossilen Referenzsystem „Strom: Erdgas; Wärme: Heizöl“

2.2.4.5. Biogas 5: 100% Nawaros

In Abbildung 8 ist das Biogassystem „Biogas 5: 100% Nawaros“ dargestellt. In dieser Anlage wird das Biogas teilweise weiter aufbereitet zu Biomethan. Bezogen auf 1 MWh Endenergie stellt das Biogassystem 0,05 MWh Strom und 0,105 MWh Wärme und 0,845 MWh Biomethan bereit. Beim Einsatz vom Biomethan als Treibstoff in einem Gas-Fahrzeug können damit 1.148 PKW-km zurückgelegt werden. Dem Biogassystem gegenübergestellt ist ein fossiles Energiesystem bei dem 0,05 MWh Strom aus Erdgas über ein Gas- und Dampfkraftwerk, und 0,105 MWh Wärme aus Heizöl über einen Ölkessel und 1.148 PKW-km mit Erdgas als Treibstoff bereit gestellt werden.

Die Anlage wird ausschließlich mit Grassilage betrieben. Im Referenzfall wird auf den Flächen von denen das Gras bezogen wird Heu produziert und als Tierfutter verwendet. Dieses Tierfutter fehlt bei der Verwendung des Grases für die

Biogasanlage und muss deshalb im Biogassystem zusätzlich erzeugt werden. Für das Biogassystem wird angenommen, dass Luzerneheu importiert werden muss. Die daraus folgenden möglichen Auswirkungen auf andere Flächen (z.B. Verdrängung von anderen Fruchtarten) und weiterführende Landnutzungsänderungen werden in der Lebenszyklusanalyse nicht berücksichtigt.

In der Berechnung werden die Emissionen und der Energie- und Materialaufwand der Referenznutzung von Anbauflächen beim Biogassystem berücksichtigt. D.h. die Ergebnisse für das Biogassystem beinhalten alle grün dargestellten Prozessschritte in Abbildung 8.

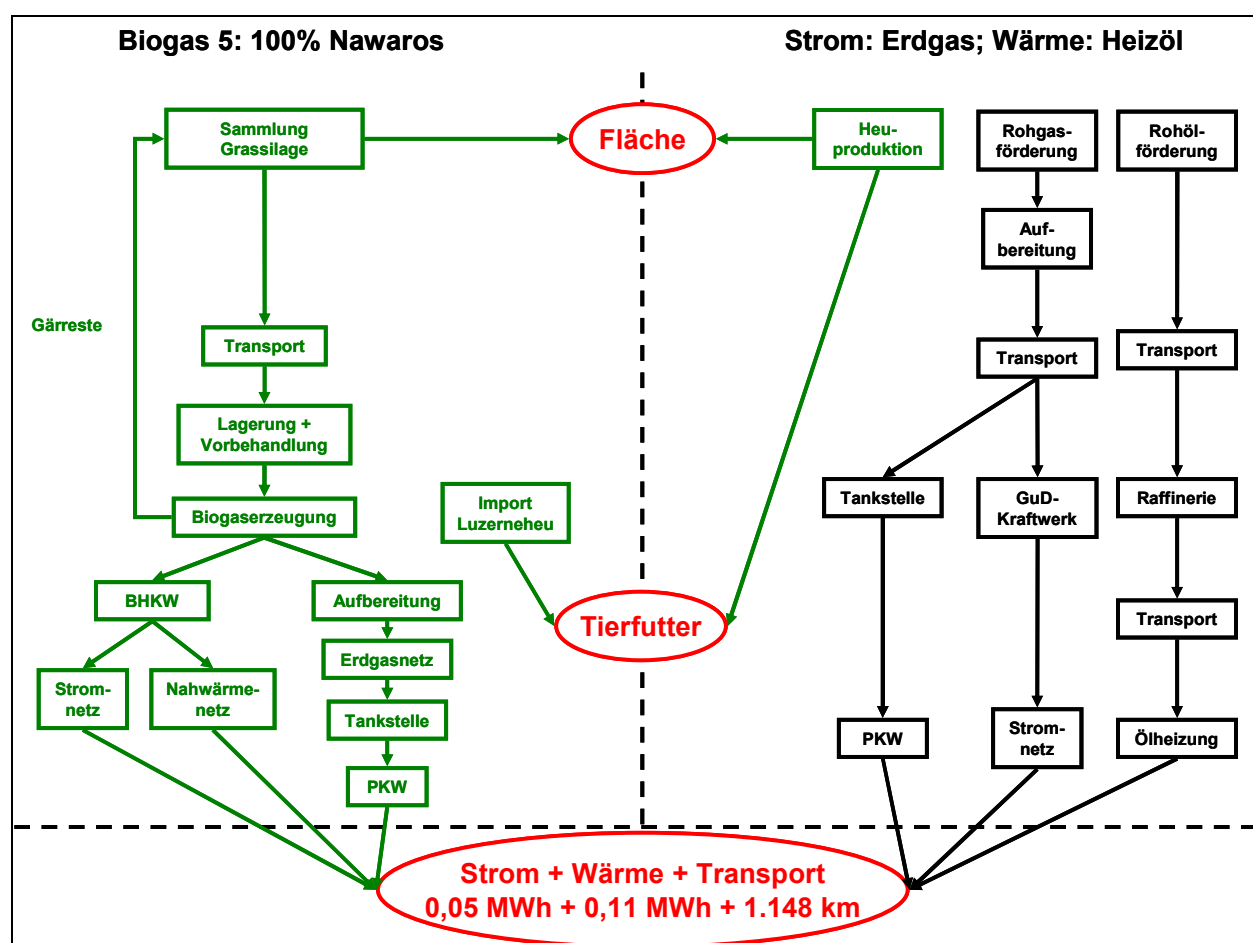


Abbildung 8: Biogassystem „Biogas 5: 100% Nawaros“ im Vergleich zum fossilen Referenzsystem „Strom: Erdgas; Wärme: Heizöl“

2.2.4.6. Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe

In Abbildung 9 ist das Biogassystem „Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe“ dargestellt. Bezogen auf 1 MWh Endenergie stellt die Anlage 0,92 MWh Strom und 0,08 MWh Wärme bereit. Dem Biogassystem gegenübergestellt ist ein fossiles Energiesystem bei dem 0,92 MWh Strom aus Erdgas über ein Gas- und Dampfkraftwerk und 0,08 MWh Wärme aus Heizöl über einen Ölkessel bereit gestellt werden.

Für die Flächen auf denen Mais für die Biogasanlage angebaut wird, wird für die Referenznutzung angenommen, dass Silomais angebaut und dieser als Tierfutter eingesetzt wird. Dieses Tierfutter fehlt bei der Verwendung der Flächen für den Anbau von Energiepflanzen und muss deshalb im Biogassystem zusätzlich erzeugt werden. Es wird angenommen, dass ein Teil über jährliche Ertragssteigerung von 1,2% beim bestehenden Anbau von Silomais abgedeckt werden kann. Die fehlende Menge Tierfutter wird über den Import von Silomais aus Ungarn abgedeckt. Die daraus folgenden möglichen Auswirkungen auf Flächen in Ungarn (z.B. Verdrängung von anderen Fruchtarten) und weiterführende Landnutzungsänderungen werden in der Lebenszyklusanalyse nicht berücksichtigt.

Die Referenznutzung der Gülle ist die Lagerung und Ausbringung auf landwirtschaftliche Flächen als Dünger.

Als Referenznutzung für Molkereiausschusware wird Kompostierung angenommen. Fettthaltige Reststoffe werden einem anaeroben Abwasserreinigungsprozess zugeführt. Die im Referenzsystem über das Klärgas gewonnene und genutzte Energiemenge wurde mit 243 MWh/a Strom und 8 MWh/a Wärme abgeschätzt. Das entspricht ca. 15% der in der Biogasanlage jährlich erzeugten Strommenge und 4% der jährlich erzeugten Wärmemenge. Im Biogassystem wird dieser Strom aus Erdgas über ein Gas- und Dampfkraftwerk und die Wärme aus Heizöl über einen Ölkessel bereitgestellt.

Ein Teil des anfallenden Gärrests wird als Dünger auf Flächen aufgebracht, die für den Anbau von Mais als Rohstoff für die Biogasanlage verwendet werden. Der Düngerbedarf für den Maisanbau kann vollständig über die Gärreste abgedeckt werden und es wird hier kein mineralischer Dünger benötigt (Siehe auch 3.6 Nährstoffkreislauf. Die Düngewirkung der Restmenge an Gärrest wird der Düngewirkung der Referenznutzung (Kompost, Gülle, Klärschlamm) gegenübergestellt. Die Nährstoffbilanz ist für dieses System in etwa ausgeglichen und es wird weder im Referenzfall noch im Biogassystem mineralischer Dünger berücksichtigt.

In der Berechnung werden die Emissionen und der Energie- und Materialaufwand der Referenznutzung von Rohstoffen und Anbauflächen beim Biogassystem berücksichtigt. D.h. die Ergebnisse für das Biogassystem beinhalten alle grün dargestellten Prozessschritte in Abbildung 9.

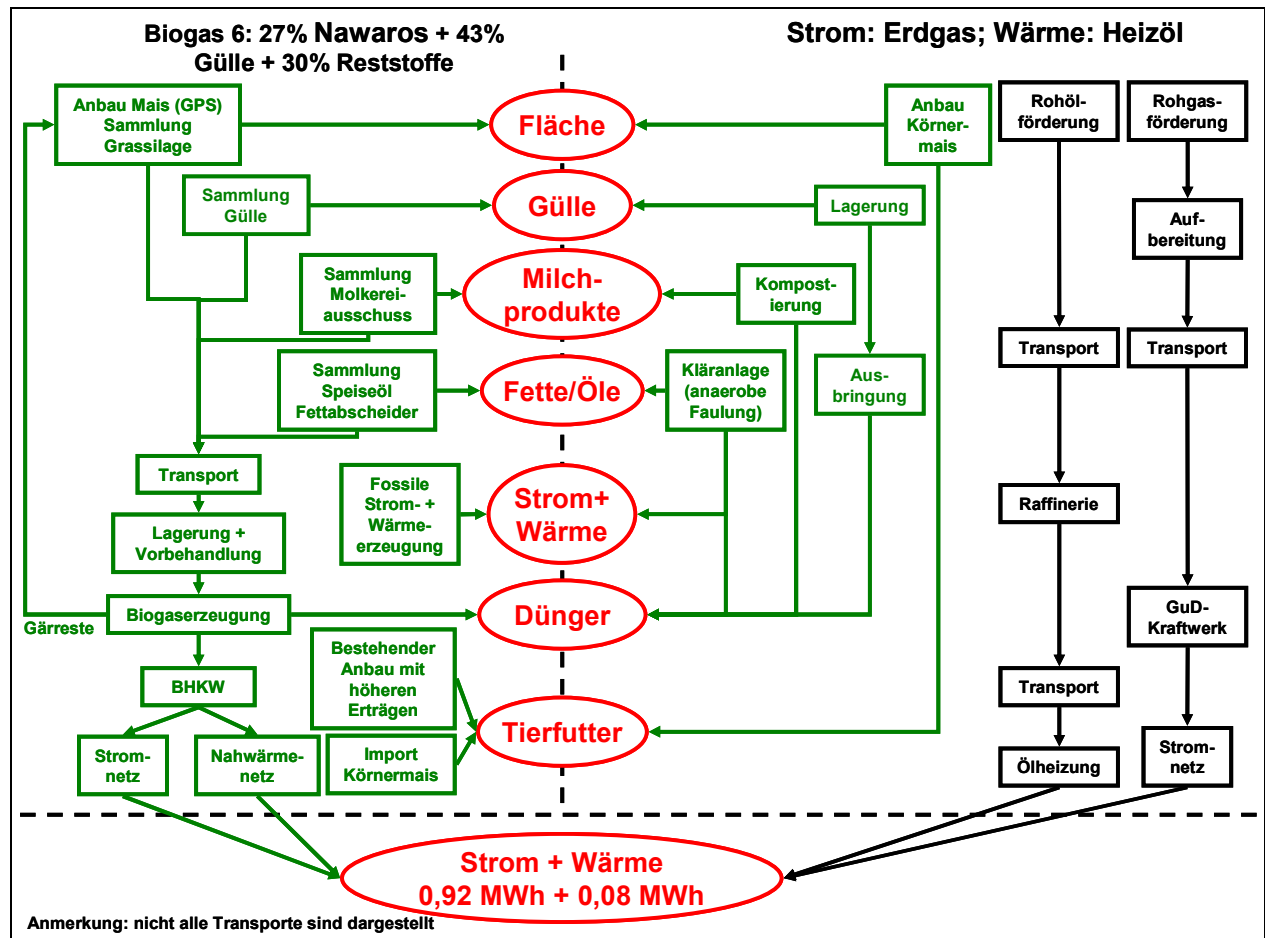


Abbildung 9: Biogassystem „Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe“ im Vergleich zum fossilen Referenzsystem „Strom: Erdgas; Wärme: Heizöl“

2.2.4.7. Referenzsysteme

Folgende Energiesysteme wurden zum Vergleich mit den Biogassystemen untersucht, gegliedert nach der Art der bereitgestellten Endenergie:

Strom

- Erdgas Gas- und Dampfkraftwerk (GuD)
- Kohlekraftwerk
- Wasserkraftwerk
- Photovoltaik
- Windkraft
- Erneuerbarer Mix: Zubauszenario bis 2020 bestehend aus 49% Wasserkraft, 30% Windkraft, 20% Biomasse und 1% Photovoltaik (Hochmair 2010)
- Österreichischer Strommix: Österreichische Stromerzeugung im Jahr 2007 bestehend aus 53,30% Großwasserkraft, 9,70% Steinkohle, 4,00% Heizöl schwer, 15,20% Erdgas, 5,90% feste Biomasse, 0,80% Biogas, 0,80%

Müllverbrennung 7,20% Kleinwasserkraft, 3,10% Windkraft (Stromimporte wurden nicht berücksichtigt) (E-Control 2009 und eigene Berechnungen)

- UCTE Mix: Europäischer Kraftwerkspark im Jahr 2008 bestehend aus 29% Kernenergie, 19% Steinkohle, 13% Braunkohle, 4% Öl, 17% Erdgas, 12% Wasserkraft, 4% Windkraft, 2 % Sonstige Erneuerbar (ENTSO-E 2009 und eigenen Berechnungen)

Wärme

- Hackgutkessel
- Pelletkessel
- Stückholzkessel
- Ölkessel
- Gaskessel
- Stromeinzelheizung: mit Strom aus dem österreichischem Kraftwerkspark in den Wintermonaten (UBA 2009 c)
- Österreichischer Wärmemix: durchschnittliche Österreichische Wärmebereitstellung bestehend aus 24% Stückholz, 1% Pellet, 2% Hackgut, 24% Heizöl, 1% Flüssiggas, 22% Erdgas, 12% Fernwärme, 12% Strom, 1% Solarwärme und 1% Wärmepumpe abgeleitet aus Daten von (Statistik Austria 2009)

Transportdienstleistung

- Erdgas-PKW
- Diesel-PKW
- Benzin-PKW
- Biodiesel-PKW mit Biodiesel aus Rapsöl
- Bioethanol-PKW mit Bioethanol aus Weizen

Zum Vergleich mit dem Biogassystem muss das Referenzsystem die gleiche Art und Menge an Endenergie bereitstellen wie das Biogassystem. Da das Biogassystem Strom und Wärme bzw. Strom, Wärme und eine Transportdienstleistung bereitstellt, ergeben sich für die Definition der Referenzsysteme eine Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten.

Im Projekt wurden in Abstimmung mit dem Expertenbeirat drei Arten von Referenzsystemen für alle Biogasanlagen untersucht:

- „Reale Referenzsysteme“: Dieses System bildet, die Situation ab bevor die Biogasanlage errichtet wurde. Für Strom wird der österreichische Strommix angenommen. Die Wärmebereitstellung ist für jede Anlage unterschiedlich. Die Transportdienstleistung wird zu 70% mit einem Diesel-PKW und 30% mit einem Benzin-PKW erbracht, was dem durchschnittlichen Treibstoffverbrauch in Österreich mittels PKW entspricht.

- „Fossile Referenzsysteme“: Strom wird aus Erdgas mit einem Gas- und Dampfkraftwerk, Wärme aus Heizöl mit einem Ölkessel und die Transportdienstleistung mit einem Erdgas-PKW bereitgestellt.
- „Erneuerbare Referenzsysteme“: Für Strom wird der erneuerbare Mix angenommen. Die Wärme wird zu 50% durch einen Hackgutkessel und zu 50% durch einen Pelletkessel bereitgestellt. Die Transportdienstleistung wird zu 70% mit einem Biodiesel-PKW und zu 30% mit einem Bioethanol-PKW erbracht.

Im ANHANG E sind die Ergebnisse bezogen auf 1 MWh Strom- oder Wärmeerzeugung für andere Referenzsysteme dargestellt.

2.3. Expertenbeirat

Die Projektarbeiten wurden durch einen Expertenbeirat unterstützt. Dieser Expertenbeirat setzt sich aus Biogasanlagenbetreibern und Vertretern aus den Bereichen Energiewirtschaft, Landwirtschaft, Abfallwirtschaft und Forschung zusammen. Aufgaben des Expertenbeirats sind die Diskussion der Anlagenauswahl, der Annahmen und der Ergebnisse. Der Expertenbeirat wurde zwei Mal in die Projektarbeiten einbezogen:

1. Zur Projekthalbzeit im Sommer 2009 um eine schriftliche Stellungnahme zu getroffenen Annahmen und ausgewählten Biogasanlagen abzugeben.
2. Gegen Ende des Projektes im Jänner 2010, um die vorläufigen Projektergebnisse in einem Treffen des Expertenbeirates zu diskutieren.

Folgende Annahmen wurden mit dem Expertenbeirat abgeklärt und z.B. folgende Anmerkungen des Expertenbeirats wurden aufgenommen:

- Annahme: Phosphor, Kali, Kalzium und Spurenelement passieren den Biogasprozess verlustfrei
- Direkte N₂O-Emissionen werden in Anlehnung an die Bandbreite des IPCC angenommen und eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, die auf eigenen Literaturlauswertungen basiert.
- Auch Strom aus Kohle wird in einem fossilen Referenzsystem berücksichtigt.
- Referenzsysteme mit Strom aus dem österreichischen Strommix und dem UCTE-Mix werden angeführt.
- Beim Referenzsystem für die Wärmeerzeugung wird eine Nacherhebung durchgeführt, um herauszufinden auf Basis welcher Energieträger die Wärme vor Errichtung der Biogasanlage bezogen wurde. Für Anlagen bei denen das nicht bekannt ist wird ein regionaler oder österreichischer Wärmemix angenommen.
- Biomethan als Treibstoff wird auch im Vergleich zu Bioethanol und Biodiesel dargestellt.
- Es ist in der Praxis möglich Mais mit reiner Düngung aus Gärresten anzubauen.
- Thermische Verwertung der Reststoffe in Müllverbrennung ist von europäischem Interesse, wird im Projekt aber nicht betrachtet.

- Humus- bzw. Kohlenstoffbilanz der landwirtschaftlichen Böden durch Gärreste: Humusgehalt bleibt bei Aufbringung von Gärresten im Vergleich zur unvergorenen Gülle, Klärschlamm bzw. Kompost in etwa gleich, eine Erhöhung des Bodenlebens ist möglich. Klima und Bodenbearbeitung ist wesentlich für die Humusbilanz, d.h. es ist zulässig keine Änderung der Kohlenstoffmengen in landwirtschaftlichen Böden anzunehmen.
- „Datenunschärfen“ und Datenbereiche werden durch Sensitivitätsanalysen in der Ökobilanz berücksichtigt

Eine Liste mit den Mitgliedern des Expertenbeirats, eine Zusammenfassung der schriftlichen Stellungnahme zur Anlagenauswahl und ein Ergebnisprotokoll zum Treffen im Jänner 2010 befindet sich im ANHANG C.

3. Datengrundlage

3.1. Datenerhebung

Die Datenerhebung erfolgte auf Basis der in

Abbildung 10 dargestellten detaillierten Prozesskette des Biogassystems, die sich aus einzelnen Prozessschritten zusammensetzt. Für die meisten dargestellten Prozessschritte wurden eigene Datentabellen entwickelt, mit Hilfe derer die Daten einheitlich erhoben werden konnten. Für folgende Prozessschritte wurden keine eigenen Datentabellen erstellt, sondern bereits auf bestehende Datensätze zurückgegriffen:

- Stromnetz (UBA 2009c)
- Wärmenetz (UBA 2009c)
- Gasnetz (Haas et al 2008)
- Tankstelle (Haas et al 2008)
- PKW (Hofbauer et al 2008)
- Biodieselerzeugung, Bioethanolerzeugung (Hofbauer et al 2008)

Weiters wurden die Systemgrenzen der gesamten Biogasprozesskette und die Abgrenzungen zwischen den einzelnen Prozessschritten in den Datentabellen definiert.

Die Datentabellen dienten für die Datenerhebung als Basis für die Datensammlung. Die Daten wurden in Form von persönlichen und telefonischen Interviews mit den Anlagenbetreibern gemeinsam erhoben. Teilweise wurde auf bestehende Daten aus bereits durchgeführten Projekten zurückgegriffen.

Bei der Datensammlung wurden folgende Arten von Daten unterschieden:

- gemessene Daten
- berechnete Daten
- Literaturwerte
- Annahmen

Bevorzugt wurden beim Betrieb von Biogasanlagen gemessene Daten oder errechnete Daten. Wo diese nicht verfügbar waren, mussten Literaturwerte und Annahmen verwendet werden. Der Einfluss von Annahmen auf das Ergebnis wurde für ausgewählte Parameter mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen überprüft (Siehe 4.1.7 Sensitivitätsanalysen). Bei den Berechnungen stimmten sich die Projektpartner untereinander ab, um sicherzustellen, dass die gleichen Berechnungsmethoden eingesetzt wurden (z.B. Emissionsfaktoren bei der Lagerung und Ausbringung von Gärresten).

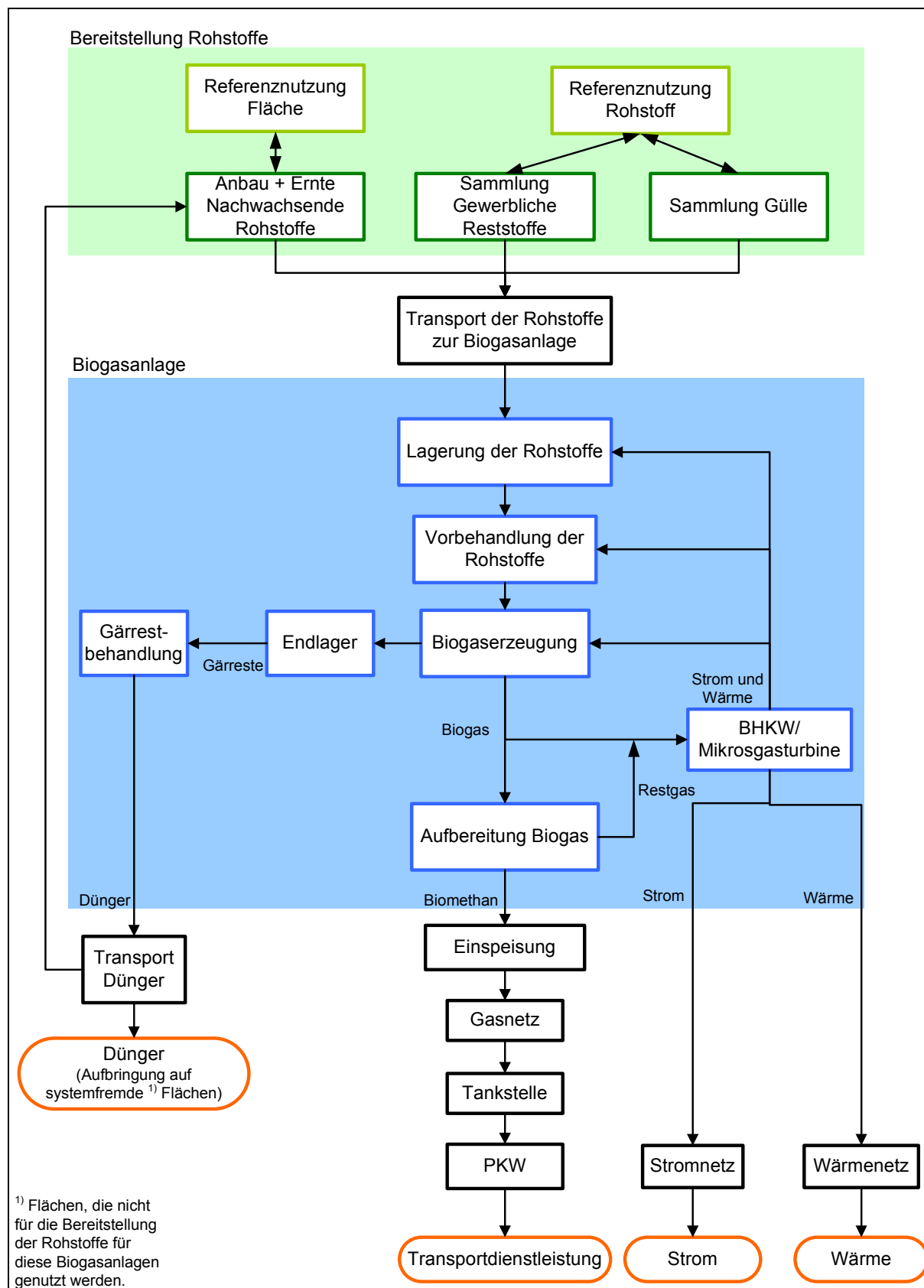


Abbildung 10: Prozesskette des Biogassystems als Basis für die Datenerhebung

3.2. Grunddaten der Biogassysteme

3.2.1. Rohstoffgewinnung und -transporte

Bei den Grunddaten für die Rohstoffgewinnung wird zwischen nachwachsenden Rohstoffen und Reststoffen bzw. Gülle unterschieden. Bei Reststoffen und Gülle werden die Grunddaten ab der Rohstoffsammlung erhoben. D.h. die Herstellung dieses Rohstoffes wird in der Lebenszyklusanalyse nicht berücksichtigt, da es sich um Abfall- oder Nebenprodukte handelt, deren Ursprungsprodukte nicht für die Biogaserzeugung bestimmt sind.

Bei der Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen (wie z.B. Maissilage) werden der Anbau und die Ernte der Rohstoffe in die Lebenszyklusanalyse inkludiert, da diese Rohstoffe für die Verwendung in Biogasanlagen erzeugt werden. Bei keiner der untersuchten Biogassysteme werden mineralische Dünger für den Rohstoffanbau eingesetzt. Die Düngung erfolgt ausschließlich über Gärreste.

Der Transport der Rohstoffe zur Biogasanlage wird für alle Rohstoffarten in die Bewertung inkludiert. Dabei wird auch berücksichtigt, ob ein Fahrzeug bei der Rückfahrt beladen ist (z.B. Transport von Gärresten) oder unbeladen ist. Die Transportdistanzen sind in den folgenden Tabellen angegeben.

In Tabelle 5 bis Tabelle 13 sind die Grunddaten zur Rohstoffgewinnung und die Transportdistanzen dargestellt.

Unterschiedliche Werte beim Anbau und der Ernte der gleichen Rohstoffart (z.B. Erträge) ergeben sich auf Grund von regionalen Unterschieden.

Tabelle 5: Grunddaten zur Sammlung von Reststoffen für „Biogas 1: 100% Reststoffe“

Sammlung Reststoffe	Wasser-gehalt [%]	Menge [t FM/a]	Transport-distanz [km]
Speiseabfälle ^A	85%	4.421	200
Molkereiabfälle	25%	165	10
Biomüll	70%	257	60
Lederspäne	40%	67	120
Gras	61%	5	10
Flotat	93%	9	200
verdorbenes Saatgut	60%	9	10
Stärkeschlamm	80%	44	230
Fettabscheiderrückstände	90%	104	70
aufbereitete Speiseabfälle	85%	971	200

^A inkludiert 18 [t FM/a] "Sonstiges", die nicht eindeutig zugewiesen werden konnten

Tabelle 6: Grunddaten zum Anbau von nachwachsenden Rohstoffen für „Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe“

Anbau und Ernte Energiepflanzen	Wasser- gehalt [%]	Ertrag [t FM/(ha*a)]	Fläche [ha]	Menge [t FM/a]	Diesel- verbrauch [l/(ha*a)]	Pflanzen- schutzmittel [kg/(ha*a)]	Saatgut [kg/(ha*a)]	Transport- distanz [km]
Mais (GPS)	61%	65	37	2.378	86	1,5	18	6
Mais (CCM)	36%	13	114	1.485	86	1,5	18	16

Tabelle 7: Grunddaten zur Sammlung von Reststoffen und Gülle für „Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe“

Sammlung Reststoffe und Gülle	Wasser- gehalt [%]	Menge [t FM/a]	Transport- distanz [km]
Schweinegülle	96%	4.800	5,4 ^A
Fettabscheiderrückstand	80%	510	400
Flotat	91%	91	100
Speisereste	85%	2.990	180
Obstabfälle	85%	725	24

^A 3.200 t werden mittels Güllefass transportiert. 1.600 t/a werden gepumpt.
Aufwand dafür ist beim Strombedarf für die Biogaserzeugung berücksichtigt.

Tabelle 8: Grunddaten zum Anbau von nachwachsenden Rohstoffen für „Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe“

Anbau und Ernte Energiepflanzen	Wasser- gehalt [%]	Ertrag [t FM/(ha*a)]	Fläche [ha]	Menge [t FM/a]	Diesel- verbrauch [l/(ha*a)]	Pflanzen- schutzmittel [kg/(ha*a)]	Saatgut [kg/(ha*a)]	Transport- distanz [km]
Mais (GPS)	64%	63	69	4.324	105	4,5	35	16
Maiskörner	32%	17	320	5.542	91	4,5	28	16

Tabelle 9: Grunddaten zur Sammlung von Reststoffen und Gülle für „Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe“

Sammlung Reststoffe und Gülle	Wasser- gehalt [%]	Menge [t FM/a]	Transport- distanz [km]
Schweinegülle	94%	7.300	6
Rübenschnitt	87%	927	30
Gemüseabfall	97%	611	4
Weizen (verdorben)	14%	174	30

Tabelle 10: Grunddaten zum Anbau von nachwachsenden Rohstoffen für „Biogas 4 : 100% Nawaros“

Anbau und Ernte Energiepflanzen	Wasser- gehalt [%]	Ertrag [t FM/(ha*a)]	Fläche [ha]	Menge [t FM/a]	Diesel- verbrauch [l/(ha*a)]	Pflanzen- schutzmittel [kg/(ha*a)]	Saatgut [kg/(ha*a)]	Transport- distanz [km]
Mais (GPS)	72%	48	181	8573	139	1,6	35	10
Grassilage	68%	26	38	983	119	-	2	10
Sonnenblumen-Mais Gemisch	80%	40	4	164	115	4,5	15	10
Kleesilage	55%	31	25	768	173	-	2	10
Grünschnittgetreide	79%	30	0,5	15	101	-	150	10

Tabelle 11: Grunddaten zum Anbau von nachwachsenden Rohstoffen für „Biogas 5: 100% Nawaros“

Anbau und Ernte Energiepflanzen	Wasser- gehalt [%]	Ertrag [t FM/(ha*a)]	Fläche [ha]	Menge [t FM/a]	Diesel- verbrauch [l/(ha*a)]	Pflanzen- schutzmittel [kg/(ha*a)]	Saatgut [kg/(ha*a)]	Transport- distanz [km]
Grassilage	61%	26	204	5300	77	-	2	9,4

Tabelle 12: Grunddaten zum Anbau von nachwachsenden Rohstoffen für „Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe“

Anbau und Ernte Energiepflanzen	Wasser- gehalt [%]	Ertrag [t FM/(ha*a)]	Fläche [ha]	Menge [t FM/a]	Diesel- verbrauch [l/(ha*a)]	Pflanzen- schutzmittel [kg/(ha*a)]	Saatgut [kg/(ha*a)]	Transport- distanz [km]
Mais (GPS)	70%	70	9	650	106	1,3	14	2
Grassilage	65%	21	15	320	102	-	2	2

Tabelle 13: Grunddaten zur Sammlung von Reststoffen und Gülle für „Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe“

Sammlung Reststoffe und Gülle	Wasser- gehalt [%]	Menge [t FM/a]	Transport- distanz [km]
Rindergülle	88%	1575	0
Fettabscheiderrückstände	95%	500	46
Speiseöl	5%	55	76
Molkereiabfall	22%	500	12
Weizenstroh	25%	34	0

3.2.2. Biogasanlagen

Nach der Anlieferung der Rohstoffe werden diese teilweise noch aufbereitet (z.B. hygienisiert, zerkleinert, zerquetscht) und gelagert. In Tabelle 14 und Tabelle 15 sind die Grunddaten dazu dargestellt.

Tabelle 14: Grunddaten zur Rohstofflagerung

Lagerung	Rohstoff	Lager- verluste [%]	Diesel- verbrauch [l/a]	Kunststoff- folie [kg/a]
Biogas 3	Maissilage	5	1.687	440
Biogas 4	Rohstoffmix	5	1.891	275
Biogas 5	Grassilage	0	1.260	550
Biogas 6	Mais (GPS)	0	140	0
Biogas 6	Grassilage	0	0	600

Tabelle 15: Grunddaten zur Vorbehandlung der Rohstoffe für die Biogaserzeugung

Vorbehandlung	Rohstoff	Art d. Vorbehandlung	Diesel- verbrauch [l/a]	Elektrische Hilfsenergie [kWh/a]
Biogas 1	Rohstoffmix	zerkleinern, hygenisieren	-	132.395
Biogas 2	Rohstoffmix	zerkleinern, hygenisieren	-	39.800
Biogas 3	Maiskörner	quetschen	-	1.661
Biogas 5	Grassilage	zerkleinern, mischen	9.200	13.100
Biogas 6	Mais (GPS)	zerkleinern, mischen	450	1.500
Biogas 6	Grassilage	zerkleinern, mischen	450	3.100

3.2.2.1. Biogaserzeugung und Endlager

Tabelle 16 zeigt die Grunddaten der Biogaserzeugung. Die Emissionen stammen aus der Lagerung der Gärreste (Siehe auch Abschnitt 3.3.3 Emissionen bei der Lagerung). Anlage 5 verfügt über ein geschlossenes Endlager und weist deshalb keine Emissionen auf.

Die Wärme, die für die Biogaserzeugung benötigt wird, stammt bei allen Anlagen aus dem BHKW. In Anlage 2 werden 926 MWh Wärme pro Jahr mit einem Flüssiggaskessel bereitgestellt.

Die Verwendung von Hilfsmaterialien wie Enzyme oder Eisen(III)-Chlorid wurden auf Grund fehlender Informationen über Herkunft und Erzeugung in der Lebenszyklusanalyse nicht berücksichtigt.

Tabelle 16: Grunddaten zur Biogaserzeugung

Biogas- erzeugung	Rohstoff- Input [t FM/a]	CH ₄ -Gehalt Biogas [%]	Biogas Output		Gärreste [t FM/a]	elektr. Hilfsenergie [kWh/a]	therm. Hilfsenergie [kWh/a]
			[Nm ³ /a]	[MWh/a]			
Biogas 1	6.051	65%	732.996	4.750	6.102	308.162	306.609
Biogas 2	12.979	62%	2.413.800	14.918	12.331	256.938	861.000
Biogas 3	18.385	51%	3.589.379	18.318	14.363	450.000	nicht bekannt
Biogas 4	9.978	50%	1.981.807	9.958	8.074	205.600	700.000
Biogas 5	5.300	58%	1.024.000	5.920	5.850	69.000	440.000
Biogas 6	3.634	62%	410.000	2.539	3.010	4.475	180.000

3.2.2.2. Strom-, Wärme- und Biomethanerzeugung

In den Biogasanlagen 1, 2, 3, 4 und 6 wird das Biogas in einem BHKW zur Strom- und Wärmeerzeugung genützt. In der Biogasanlage 5 wird der Großteil des Biogases zu Biomethan aufbereitet. Das Restgas aus der Aufbereitung wird mit einem Teil Biogas vermischt und in einer Mikrogasturbine verfeuert. In Tabelle 18 sind die Grunddaten zur Strom- und Wärmeerzeugung dargestellt. Bei den Emissionswerten lagen nur teilweise Messergebnisse vor. Bei fehlenden Messwerten wurden die Grenzwerte laut „Technische Grundlage für die Beurteilung von Emissionen aus Stationärmotoren“ verwendet. Für die Methan-Emissionen wurde ein Methanschluß von 1% in Anlehnung an Woess-Gallasch et al. 2007 angenommen. In einer Sensitivitätsanalyse wird der Einfluss des Methanschluß auf das Gesamtergebnis überprüft und auch mit 0,5% und 2% angenommen.

Tabelle 17: Grunddaten zur Biogasaufbereitung

Biogasaufbereitung	Verfahren	Biogas		Biomethan		CO ₂ *	CH ₄ *
		[Nm ³ /a]	[MWh/a]	[Nm ³ /a]	[MWh/a]	[kg/a]	[kg/a]
Biogas 5	Druckwechseladsorption	840.000	4.856	420.000	4.103	0	0

Anmerkung: Hilfsenergie bei Biogaserzeugung bereits berücksichtigt

*Restgas wird Mikrogasturbine zugeführt

Tabelle 18: Grunddaten zur Strom- und Wärmeerzeugung

Strom u. Wärme- erzeugung	Leistung elektrisch	Leistung thermisch	Nutzungs- grad elektrisch	Strom eingespeist	Wärme genutzt ^A	CH ₄ ^B	SO ₂ ^C	NO _x ^D	CO ^D	NMVOCE	Partikel ^E
	[kW]	[kW]	[%]	[MWh/a]	[MWh/a]	[mg/Nm ³ Abgas]	[mg/Nm ³ Abgas]	[mg/Nm ³ Abgas]	[mg/Nm ³ Abgas]	[mg/Nm ³ Abgas]	[mg/Nm ³ Abgas]
Biogas 1: BHKW	280	398	36%	1.699	1.077	607	37	341	504	50	5
Biogas 2: BHKW	1.000	1.240	35%	5.233	3.671	602	6	400	650	50	5
Biogas 3: BHKW	1.000	1.034	35%	6.700	2.000	580	30	349	430	50	5
Biogas 4: BHKW	1.052	1.126	38%	4.100	1.632	283	18	400	650	50	5
Biogas 5: Mikrogasturbine	63	110	29%	248	515	548	4	7,9	12	<5 ^F	nicht bekannt
Biogas 6: BHKW	130	260	38%	966	80	602	23	400	650	50	5

Bezugssauerstoffgehalt: 5 Vol%

^A Eigenbedarf der Anlage nicht inkludiert

^B Berechnet mit Methanschlupf von 1% (ausgenommen Anlage 4: Messwert)

^C Berechnet aus Schwefelgehalt im Biogas

^D Messwerte für Anlage 1, 3, 5; Grenzwertempfehlung lt. "Technische Grundlage für die Beurteilung von Emissionen aus Stationärmotoren" für Anlage 2, 4, 6

^E Grenzwertempfehlung lt. "Technischen Grundlage für die Beurteilung von Emissionen aus Stationärmotoren" (ausgenommen Anlage 5)

^F Messwert an einer mit Biogas betriebenen 65 kW Mikrogasturbine Type "Capstone" (TÜV Bericht)

3.2.2.3. Gärrestbehandlung

In der Biogasanlage 1 wird ein Teil der Gärreste abgepresst, in der Biogasanlage 4 wird ein Teil separiert. In den anderen Biogasanlagen wird der Gärrest unbehandelt in flüssiger Form als Dünger auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht. In Tabelle 19 sind die Grunddaten zur Gärrestbehandlung dargestellt.

Tabelle 19: Grunddaten zur Gärrestbehandlung

Gärrest- behandlung	Art	Rohstoff- Input	Rohstoff- Output	elektrische Hilfsenergie	Hilfs- material Kalk	Hilfs- material Eisen(III)- chlorid*
		[t FM/a]	[t FM/a]	[kWh/a]	[kg/a]	[kg/a]
Biogas 1	Abpressen von Wasser	3.081	925	24.648	96.250	20.000

*wurde in der LCA nicht berücksichtigt, da Erzeugungsaufwand nicht bekannt ist

3.2.2.4. *Materialaufwand*

In Tabelle 20 und Tabelle 21 sind der Beton- und Stahlaufwand für die Errichtung der Biogasanlagen und deren Anlagenkomponenten berücksichtigt.

Tabelle 20: Beton für die Errichtung der Biogasanlagen

Beton	Rohstofflager, - aufbereitung [t]	Biogas- erzeugung [t]	Biogas- aufbereitung [t]	Gesamt [t]
Biogas 1	30	207	-	237
Biogas 2	420	790	-	1.210
Biogas 3	2.282	1.762	-	4.044
Biogas 4	2.499	342	-	2.841
Biogas 5	410	315	15	740
Biogas 6	95	308	-	403

*Fermenter, Gasspeicher, Entschwefelung, Endlager

Tabelle 21: Stahl für die Errichtung der Biogasanlagen

Stahl	Rohstofflager, - aufbereitung [t]	Biogas- erzeugung* [t]	BHKW [t]	Biogas- aufbereitung [t]	Gesamt Stahl [t]
Biogas 1	2	70	5	-	77
Biogas 2	4	45	19	-	67
Biogas 3	226	46	19	-	290
Biogas 4	43	21	19	-	83
Biogas 5	11	5	1	2	22
Biogas 6	2	4	1	-	6

*Fermenter, Gasspeicher, Entschwefelung, Endlager

3.3. *Emissionen von Gülle- bzw. Gärrestmanagement*

3.3.1. *Einleitung*

Für die Ökobilanz relevant sind Methan-, Ammoniak- und Lachgasemissionen während der Lagerung und bei der Ausbringung.

Aus der Literatur geht hervor, dass vor allem die Stickstoffemissionen von einer Vielzahl von Parametern wie z.B. klimatische Bedingungen, Witterung, TS-Gehalt³, TAN-Gehalt⁴, NH₃-Partialdruck, Ausbringtechnik, Bodeneigenschaften, abhängig sind (Edelmann et al. 2001, Hersener et al. 2002, Sommer und Hutchings 2001).

Die Bandbreite der Literaturdaten zu den genannten Emissionen ist groß und teilweise sind die Ergebnisse widersprüchlich. Die meisten Messdaten liegen für unvergorene Rindergülle vor. Für Gärreste aus Anlagen, die nachwachsende Rohstoffe verwenden, liegen nur wenige Daten vor. Ausgehend von dieser

³ TS: Trockensubstanz

⁴ TAN: Ammonium-Stickstoff (Total Ammoniocal Nitrogen)

Ausgangslage wurden aus den vorhandenen Daten Emissionsfaktoren basierend auf verschiedenen Gülle-/Gärrestzusammensetzungen abgeleitet. Die Ermittlung der Emissionsfaktoren erfolgt durch Vergleich der Gärrestzusammensetzung mit den angeführten Gülle/Gärresten.

Tabelle 22: Zusammensetzung verschiedener Gülle/Gärreste
(Wulf et al. 2006, Clemens et al. 2006, Amon et al. 2006, Kryvoruchko et al. 2004, Pötsch 2004, Haber et al. 2008, Sommer und Hutchings 2001, Hersener et al. 2002, Schulz und Eder 2001)

	Zusammensetzung Gülle/Gärreste				
	TS ^a	oTS ^b	Nt ^c	TAN ^d	pH
Einheit	[%]	[%]	[kg/t]	[kg/t]	
Rindergülle	7,19	5,61	3,66	1,81	7,30
<i>Schwankungsbreite Rindergülle</i>	<i>2,67</i>	<i>2,23</i>	<i>1,13</i>	<i>0,56</i>	<i>0,17</i>
Schweinegülle	4,63	3,29	6,11	3,57	7,21
<i>Schwankungsbreite Schweinegülle</i>	<i>1,03</i>	<i>0,83</i>	<i>1,95</i>	<i>0,42</i>	<i>0,69</i>
Hühnergülle	17,90	12,69	10,60	5,93	
Gärrest (1)	6,90	4,99	5,04	3,04	8,30
Gärrest (2)	3,45	2,01	4,50	3,60	8,02

^a TS: Trockensubstanz
^b oTS: organische Trockensubstanz
^c Nt: Gesamtstickstoff
^d TAN: Ammonium-Stickstoff (Total Ammoniacal Nitrogen)

3.3.2. Emissionen bei der Ausbringung

3.3.2.1. Methan (CH₄)

Nach Clemens et al. 2001 bzw. Amon et al. 2005 treten bei der Ausbringung Methanemissionen auf, diese sind aber im Vergleich zu den Methanemissionen bei der Lagerung sehr gering.

Nach Wulf et al. 2002 gibt es zwei Quellen für Methanemissionen bei der Ausbringung des Gärrestes:

1. Einerseits Emissionen, die unmittelbar nach der Ausbringung emittiert werden und der Freisetzung von gelöstem Methan zu geschrieben werden, das während der Lagerung gebildet wurde.
2. Andererseits kann es auch im Boden zur Methanogenese kommen, wenn anaerobe Bedingungen herrschen, wie es beispielsweise bei der Injektionstechnik der Fall ist.

Für die Berechnung wurde ein CH₄-Emissionsfaktor von 3,26 (±2,77) g/t (Amon et al. 2006, Clemens et al. 2006) abgeleitet. Es wurde für alle Gülle/Gärreste der gleiche Emissionsfaktor angenommen.

3.3.2.2. Ammoniak (NH_3)

Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft und hier besonders aus der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern stellen eine wesentliche Emissionsquelle von Ammoniak in Europa dar (Edelmann et al. 2001, Sommer und Hutchings 2001).

Die Ammoniakemissionen während und nach der Ausbringung von GülLEN/Gärresten sind von einer Vielzahl von Parametern abhängig (Tabelle 23).

Tabelle 23: Einflussfaktoren auf die Ammoniakemissionen durch die Ausbringung der Gülle (nach Sommer und Hutchings 2001)

NH ₃ -Konzentration an der Gülleoberfläche	an der		NH ₄ ⁺ -Konzentration der Gülle
			Lufttemperatur
			pH-Wert
			Verdunstungsrate
NH ₃ -Transfer von der Oberfläche in die Atmosphäre	von in der die		Kronenschluss und Komplexität der Feldfrucht
			Krustenbildung
			Oberflächenbeschaffenheit des Feldes
			Windgeschwindigkeit
			Sonneneinstrahlung
Exponierte Gülle-Fläche			Gesamtfläche der Ausbringung
			Haftung der Gülle auf den Pflanzen
			Ausbringtechnik
Dauer der Exposition an der Luft			Ausbringtechnik
			Einarbeitung der Gülle
			Infiltrationsrate in den Boden
			Verdampfungsrate

Durch die Vergärung der Gülle erhöhen sich der Ammoniumgehalt sowie der pH-Wert gegenüber der unvergorenen Gülle, woraus sich Mehremissionen für Gärreste ergeben könnten.

Nach Edelmann et al. 2001 sind die NH₃-Mehremissionen durch das Ausbringen als Folge der sehr komplexen Verhältnisse und großen Abweichungen bei verschiedenen Applikationen schwer zu quantifizieren. Zudem wird in verschiedenen anderen Publikationen auf signifikant größere Erträge beim Pflanzenwachstum hingewiesen, welche auf eine bessere Nutzung des Ammoniumstickstoffs zurückgeführt werden. Gleichzeitig wird in verschiedenen Publikationen festgehalten, dass die Biogasgülle deutlich homogener sei und auf Grund stark verbesserter Fließeigenschaften vollständiger und viel rascher in den Boden eindringen könne, wo die Stickstoffverluste durch Verdampfen von Ammoniak praktisch ausgeschaltet werden.

Auf Grund dieser Überlegungen wurde hier angenommen, dass es bei der Anwendung von Gärresten zu 10% NH₃-Mehremissionen gegenüber unvergorener Gülle kommt.

Aus der Literatur wurden die in Tabelle 24 angeführten Werte für GülLEN/Gärreste abgeleitet.

Tabelle 24: Emissionsfaktoren für Ammoniakemissionen bei der Ausbringung
(Mittelwerte aus Amon et al. 2005; Clemens et al. 2006; Edelmann et al. 2001;
Sommer and Hutchings 2001; Wulf et al. 2002a.)

Emissionsfaktoren	NH ₃
Einheit	[% TAN]
Rindergülle	31,0
Schwankungsbreite RG	74%
Schweinegülle	26,0
Schwankungsbreite SG	74%
Hühnergülle	28,5
Biogasgülle (1)	34,1
Biogasgülle (2)	28,6

Die Ammoniakemissionen sind wesentlich von der Ausbringmethode abhängig (physikalische Gegebenheiten). Daher werden Reduktionsfaktoren, die die Ammoniakemissionen gegenüber der Ausbringung mit Prallteller wie folgt reduzieren, eingeführt:

Tabelle 25: Einfluss der Ausbringtechnik auf die Ammoniakemissionen (Referenz = Prallteller)

Technik	Reduktionsfaktor	Literatur
Schleppschlauch	-0,40	(Döhler, 2001; Edelmann et al., 2001; Sommer and Hutchings, 2001; UNECE, 1999; Wulf et al., 2005)
Schwankungsbreite	0,10	
Schleppschuh	-0,47	(Döhler, 2001; Edelmann et al., 2001; UNECE, 1999)
Schwankungsbreite	0,08	
Schlitzdrill	-0,67	(Döhler, 2001; Edelmann et al., 2001; UNECE, 1999)
Schwankungsbreite	0,06	
Injektion	-0,86	(Amon, 1998; Döhler, 2001; Edelmann et al., 2001; UNECE, 1999; Wulf et al., 2002a; Wulf et al., 2005)
Schwankungsbreite	0,10	

3.3.2.3. Lachgas (N₂O)

Die Emissionen von Lachgas nach der Gülleausbringung werden beeinflusst durch zahlreiche Einflussgrößen, wie z.B. durch Unterschiede in der Art und Weise der Düngung, Bodeneigenschaften (etwa Feuchtigkeits-, Stickstoff- und Humusgehalt des Oberbodens), sowie durch klimatische Einflüsse (Edelmann et al., 2001).

Auf Grund der großen Unsicherheiten bei der Bestimmung der Emissionsfaktoren für die Lachgasemissionen nach Ausbringen der Gülle wurde angenommen, dass kein Unterschied zwischen vergorener und unvergoren gelagerter Gülle besteht.

Lachgasemissionen (Rindergülle): 0,0196 kg N₂O/kg TKN⁵

Dieser Wert wird auch in der österreichischen Treibhausgasbilanz (UBA 2009) analog zu den IPCC Werten verwendet.

Für die Sensitivitätsanalyse wird der untere Wert als Mittelwert aus der Literatur (Amon et al., 2005; Clemens et al., 2006; Wulf et al., 2002b) mit 0,21% des ausgebrachten TAN und der obere Wert mit 0,035 kg/kg TKN (siehe UBA 2009) angenommen.

Bei der Berechnung berücksichtigt wird jedoch der Einfluss der Ausbringtechnik: die Verwendung von Gülle-Injektoren steigert die Emission von Lachgas um den Faktor 2,95 (Amon, 1998; Wulf et al., 2002b; Wulf et al., 2005) im Vergleich zur Ausbringung mittels Prallteller oder Schleppschlauch.

3.3.3. Emissionen bei der Lagerung

3.3.3.1. Methan (CH₄)

Die Methanemissionen sind stark von der hydraulischen Verweilzeit (HRT⁶) sowie von der Raumbelastung im Fermenter abhängig (Reinhold 2009). Für die Berechnung der Emissionen wurden Abbaukurven in Abhängigkeit von der hydraulischen Verweilzeit abgeleitet (Abbildung 8).

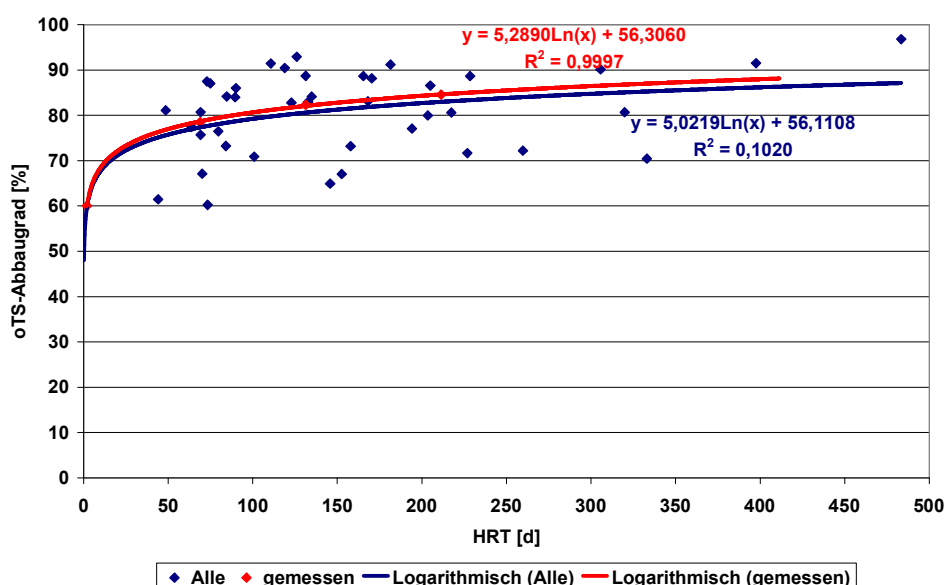


Abbildung 11: oTS-Abbau in zweistufigen Biogasanlagen in Abhängigkeit von HRT; blau: Laaber 2007: 41 untersuchte Biogasanlagen; rot: mehrere oTS-Messungen einer Forschungsanlage Substrat, oTS-Gehalt in Haupt- und Nachfermenter sowie im offenen Endlager)

⁵ TKN: Total Kjeldahl Nitrogen (gesamter Kjeldahl Stickstoff): Summe von organischem Stickstoff und Ammonium (NH₄⁺)

⁶ HRT: Hydraulic Retention Time (hydraulische Verweilzeit)

Auf Grund von gesetzlichen Auflagen verfügen Biogasanlagen über eine Speicherkapazität für Biogasgülle von mindestens 180 Tagen. Für die Berechnung der Methanemissionen wird nur die Lagerung in offenen Endlagern herangezogen. Die Berechnung der im offenen Endlager abgebauten Menge an oTS erfolgt aus den in Abbildung 11 dargestellten Abbaukurven unter Berücksichtigung der Verweildauer im geschlossenen System sowie der Lagerdauer im offenen Endlager.

Bei den betrachteten Biogasanlagen kommt es nach diesen Berechnungen zu einem oTS-Abbau von 0,5-3,64% der mit dem Rohstoff zugeführten organischen Trockensubstanz.

Die Menge an Methan, die sich aus dieser Menge an oTS im offenen Endlager bildet berechnet sich folgendermaßen:

Berechnung der spezifischen Methanausbeute der Biogasanlage: $[\text{Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{kg oTS}_{\text{zugeführt}}]$

Aufgrund der niedrigeren Temperaturen und des Sauerstoffzutritts kommt es im offenen Endlager zu einer geringeren Methanproduktion:

Reduktionsfaktor der spezifischen Methanausbeute: 51% (Mittelwert aus Kaparaju und Rintala 2003 und FNR 2005).

Umrechnung von $\text{Nm}^3 \text{ CH}_4$ auf kg CH_4 : $\rho(\text{CH}_4) = 0,72 \text{ kg/Nm}^3$ (Römpf, 1995)

Die so berechneten Methanemissionen der Anlagen liegen zwischen 0,03 und 0,93% der im Fermenter produzierten Methanmenge und damit unter den in der Literatur verwendeten Werten von 1-15%. (Koch 2009, Vogt 2008)

Für die Berechnung der Lagerung und direkten Güllenutzung im Referenzfall wurden die in Tabelle 26 dargestellten Emissionsfaktoren aus der Literatur abgeleitet.

Tabelle 26: Emissionsfaktoren der Methanemissionen bei der Lagerung (Amon et al., 2005; Clemens et al., 2006; Edelmann et al. 2001; Kryvoruchko, 2004)

Emissionsfaktoren	CH_4
Flüssigmist	$[\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})]$
Rindergülle	19,10
Schwankungsbreite RG	26%
Schweinegülle	12,96
Schwankungsbreite SG	82%

m^3Volumen

d.....Tag

3.3.3.2. Ammoniak (NH_3)

Ammoniakemissionen bei der Gülle-Lagerung können nur an der Oberflächen-Grenzschicht zwischen Gülle und Umgebungsluft stattfinden. Daher wurden die Emissionen proportional zur Oberfläche der offenen Endlager angesetzt. Die Höhe der Emissionen hängt dabei von mehreren Faktoren ab: Nach dem Henry-Gesetz ist die Konzentration eines Gases in einer Flüssigkeit direkt proportional zum Partialdruck des entsprechenden Gases über der Flüssigkeit. Dieser wiederum wird von Faktoren wie Wind, Temperatur und dem Bestehen einer Schwimmschicht stark beeinflusst.

Bei der Biogasproduktion wird mehr organisches Material abgebaut, wobei mehr in den organischen Verbindungen enthaltener Stickstoff frei wird und als Ammoniumion in Lösung geht. Weiters steigt der pH-Wert um eine halbe bis eine Einheit, was die Ammoniakkonzentration in der Gülle bei gleichem Ammoniumgehalt bis zu verzehnfachen kann.

Aus den Literaturdaten ist nicht eindeutig abzuleiten, zu wie viel Mehremissionen der leicht höhere Ammoniumgehalt und der höhere pH-Wert führen.

Jäkel et al. (1999) berichten bei drei Betrieben mit Lagerung ohne Schwimmschicht von einer Emissionszunahme von durchschnittlich 48%.

Nach Ortenblad (2000) kann die Ammoniakverflüchtigung bei der Lagerung von vergorener Gülle um 50% zunehmen, wobei auch hier von einem Anstieg des pH-Werts um 0,5-1 Einheiten berichtet wird.

In Anlehnung an Edelmann et al. 2001 wird von Mehremissionen bei der Lagerung von 40% ausgegangen.

Es wurden die in Tabelle 28 dargestellten Korrekturfaktoren für unterschiedliche Einflüsse auf die Ammoniakemissionen eingeführt.

Tabelle 27: Emissionsfaktoren für Ammoniakemissionen bei der Lagerung
(Amon et al. 2002; Amon et al. 2005; Clemens et al. 2006; De Bode et al. 1991; Hüther and Schuchardt 1998; Kryvoruchko 2004; Sommer 1997; Wagner-Alt 2002; Wulf et al. 2005)

Emissionsfaktoren	NH ₃
Flüssigmist	[g/(m ² *d)]
Rindergülle	3,83
Schwankungsbreite Rindergülle	93%
Schweinegülle	6,94
Schwankungsbreite Schweinegülle	93%
Hühnergülle	11,43
Gärrest (1)	5,37
Gärrest (2)	9,71
m ²Oberfläche	
d.....Tag	

Tabelle 28: Korrekturfaktoren für unterschiedliche Einflüsse auf die Ammoniakemission

Einflussfaktor	Korrekturfaktor	Literatur
Abdeckung (nicht gasdicht)	0,4	(Kryvoruchko 2004)
Fest-flüssig-Trennung	1,2	(Hüther and Schuchardt, 1998)

3.3.3.3. Lachgas (N_2O)

Lachgas entsteht vor allem unter anoxischen Bedingungen in der Schwimmdecke des Lagertanks bei der Nitrifizierung des Ammoniums bzw. Ammoniaks und bei der Denitrifizierung von Nitrat, welches in anaerobe Bereiche der Schwimmdecke zurücksickert (Edelmann et al. 2001). Aus der Literatur (Hüther 1999; Sommer et al. 2000) geht hervor, dass die Lachgasemissionen mit Zunahme der Schwimmdeckendicke äußerst stark ansteigen. Dasselbe gilt für Abdeckung von Gülle mit Blähton und mit Stroh.

Die Biogaserzeugung aus Wirtschaftsdüngern kann einerseits die Lachgasemissionen wesentlich mindern, da der Gärrest homogener als der Wirtschaftsdünger ist, was eine geringere Schwimmdeckenbildung bewirkt. Andererseits kann der erhöhte NH_4 -N-Gehalt auch eine Erhöhung der Lachgasemissionen hervorrufen. In einer Untersuchung von Sommer et al. 2000 wurden bei der Lagerung von anaerob behandeltem Flüssigmist um 26 % höhere Lachgasemissionen im Vergleich zu unbehandeltem Rinderflüssigmist gemessen.

Da Lachgasemissionen in der Schwimmschicht entstehen, kann angenommen werden, dass bei separierter Gülle keine Lachgasemissionen entstehen. Dies wird auch in der Literatur (Clemens et al. 2002; Hüther and Schuchardt 1998; Sommer et al. 2000) bestätigt.

Tabelle 29: Emissionsfaktoren für Lachgasemissionen bei der Lagerung
(Amon et al. 1998; Amon et al. 2002; Amon et al. 2005; Clemens et al. 2006; Hüther and Schuchardt 1998; Kryvoruchko 2004; Külling et al. 2001; Olesen et al. 2004; Ross et al. 1999; Schimpl 2001; Sommer et al. 2000)

Emissionsfaktoren	N_2O
Flüssigmist	[g/(m²*d)]
Rindergülle - MW	0,42
<i>Schwankungsbreite RG</i>	68%
Schweinegülle - MW	0,42
<i>Schwankungsbreite SG</i>	68%
Hühnergülle	0,42
Biogasgülle (1)	0,53
Biogasgülle (2)	0,53

m²... Oberfläche
d.....Tag

3.3.4. Zusammenfassung der Emissionsfaktoren

In Tabelle 30 und Tabelle 31 sind die ermittelten Emissionsfaktoren angeführt.

Tabelle 30: Zusammenfassung der verwendeten Emissionsfaktoren (für verschiedene Arten von Dünger)

Düngersorte	Nr.	Zusammensetzung Wirtschaftsdünger					Lagerung			Ausbringung		
		TS	oTS	Nt	TAN	pH	NH ₃	CH ₄	N ₂ O	NH ₃	CH ₄	N ₂ O
		[%]	[%]	[kg/t]	[kg/t]		[g/(m ² *d)]	[g/(m ³ *d)]	[g/(m ² *d)]	[% TAN]	[g/m ³]	[g/gTKN]
Flüssigmist												
Rindergülle	1	7.19	5.61	3.66	1.81	7.30	3.83	19.10	0.42	31.04	3.26	0,0196
<i>Schwankungsbreite Rindergülle</i>		2.67	2.23	1.13	0.56	0.17	3.55	5.06	0.29	23.11	2.77	-
Schweinegülle	2	4.63	3.29	6.11	3.57	7.21	5.37	12.96	0.42	26.00	3.26	3.26
<i>Schwankungsbreite Schweinegülle</i>		1.03	0.83	1.95	0.42	0.69	6.94	10.59	0.29	29.46	2.77	2.77
Hühnergülle	3	17.90	12.69	10.60	5.93		11.43	10.45	0.42	28.52	3.26	3.26
Gärrest (1)	4	6.90	4.99	5.04	3.04	8.30	5.37	andere Ber.	0.53	34.14	3.26	3.26
Gärrest (2)	5	3.45	2.01	4.50	3.60	8.02	7.51	andere Ber.	0.53	28.60	3.26	3.26

Tabelle 31: Zusammenfassung der Emissionsfaktoren für die untersuchten Biogasanlagen

Anlage		Zusammensetzung					Lagerung			Ausbringung		
		TS	oTS	Nt	TAN	pH	NH ₃	CH ₄	N ₂ O	NH ₃	CH ₄	N ₂ O
	Ausbringtechnik/Einheit	[%]	[%]	[kg/t]	[kg/t]		[g/t]	[g/t]	[g/t]	[g/t]	[g/t]	[g/t]
Anlage 1	Gärrest/Injektion	3,60	2,06	6,27	4,32	7,80	9,49	9,68	0,67	179,06	3,26	486,14
Anlage 1	Gärrest fest/Kompoststr.	34,90	20,07	5,71	2,94	7,80				825,70	3,26	111,09
Anlage 2	Gärrest/20%PT;80% SSchl.	4,20	2,99	5,71	3,93	7,90	144,94	330,22	14,31	889,04	3,26	109,72
Anlage 2	WD/20%PT;80% SSchl.	4,63	3,29	6,11	3,57	7,20	427,74	1.166,47	33,52	569,62	3,26	112,68
Anlage 3	Gärrest/SSchl.	9,83	7,74	8,37	4,40	7,76	102,19	578,66	10,09	889,36	3,26	162,71
Anlage 3	WD/PT	6,10	4,40	5,00	3,21	7,10	229,41	1.166,47	17,98	784,77	3,26	94,24
Anlage 4	Gärrest fl. (Nat.-Sch.)/PT	5,97	3,95	5,57	2,75		286,34	872,77	0,00	865,04	3,26	105,16
Anlage 4	Gärrest fl./PT	5,97	3,95	5,57	2,75					865,14	3,26	105,17
Anlage 4	Gärrest fl./Injektion	5,97	3,95	5,57	2,75					125,36	3,26	415,05
Anlage 4	Gärrest fest/ Kompoststreuer	22,73	19,72	6,97	2,60					893,65	3,26	144,82
Anlage 5	Gärrest/PT	8,60	5,90	7,75	3,59	7,46	0,00	0,00	0,00	1.114,60	3,26	152,16
Anlage 6	Gärrest (Silomais)/PT	3,65	2,28	4,74	2,48	8,50	90,51	29,10	8,94	819,79	3,26	91,50
Anlage 6	Gärrest (Grünland)/PT	3,65	2,28	4,74	2,48	8,50				819,79	3,26	91,50
Anlage 6	WD/PT	12,21	9,77	4,30	1,47	7,30	159,26	1.719,22	17,47	413,86	3,26	81,67

PTPrallteller
SSchl.Schleppschlauch
WDWirtschaftsdünger
Nat.-Sch. ...Naturschutzfläche

3.4. Emissionen der Kompostierung

Für die Emissionen der Kompostierung von Reststoffen wurden die in Tabelle 32 dargestellten Emissionsfaktoren aus der Literatur gewählt.

Tabelle 32: Emissionsfaktoren für CH₄, N₂O und NH₃ bei der Kompostierung (BMLFUW, 2005)

Emissionen	Durchschnitt	obere Grenze	untere Grenze
[g/t FM Inputmaterial]			
CH ₄	525	800	250
N ₂ O	100	180	20
NH ₃	550	600	500

3.5. Feinstaub-Emissionen und NO_x-Emissionen in der Landwirtschaft

Die österreichische Luftschadstoffinventur weist NO_x-Emissionen und Feinstaub-Emissionen für den Sektor Landwirtschaft auf (UBA 2009a).

2007 trug der Sektor Landwirtschaft mit 2,4% zu den gesamten NO_x-Emissionen bei. Die NO_x-Emissionen in der Landwirtschaft stammen aus der Viehhaltung, der Grünlandwirtschaft so wie aus ackerbaulichen Tätigkeiten. Nicht enthalten sind jene Emissionen, die durch energetische Nutzung von Energieträgern verursacht werden.

In diesem Projekt werden für NO_x-Emissionen in der Landwirtschaft nur NO_x-Emissionen berücksichtigt, die bei der Düngung auftreten. Dabei werden folgende Faktoren angenommen (UBA 2009b):

- Für alle Mineraldünger: 0,003 kg NO_x-N/kg N
- Für organischen Dünger, Klärschlamm: 0,01 kg NO_x-N/kg N

Die Landwirtschaft zählt neben Industrie, Kleinverbraucher und Verkehr zu einem Hauptverursacher für Staub-Emissionen. 2007 stammten 12,9% der Feinstaub-Emissionen (PM 10) aus dem Sektor Landwirtschaft (UBA 2009a).

In diesem Projekt werden nur Feinstaub-Emissionen PM10 aus der Bearbeitung von landwirtschaftlichen Flächen und Erntevorgängen berücksichtigt (UBA 2009b):

- Bearbeitung landwirtschaftlicher Flächen (Aufwirbelung durch Maschineneinsatz): 5 kg/(ha*a)
- Erntevorgang: 5 kg/(ha*a)
- Basierend auf (Hinz et al 2006) wird davon ausgegangen, dass in Österreich auf Grund der feuchten Bedingungen nur 10% in der Atmosphäre bleiben. Daraus ergibt sich ein Wert von 1 kg/(ha*a).

3.6. Nährstoffkreislauf

3.6.1. Problemstellung

In der Praxis werden Gärreste ähnlich den flüssigen Wirtschaftsdüngerformen Gülle bzw. Jauche auf landwirtschaftlichen Nutzflächen zur Nährstoffversorgung unterschiedlicher Kulturpflanzen eingesetzt. Im Rahmen der Düngung greift der Landwirt sehr unmittelbar in das komplexe und sensible System Boden-Pflanze-Wasser-Atmosphäre ein. Daher kommt einem umweltverträglichen und aus pflanzenbaulicher Sicht sachgerechten Einsatz von Düngern resp. Nährstoffen eine besondere Bedeutung und auch große Verantwortung zu (BMLFUW, 2006).

Ein Großteil der landwirtschaftlichen Biogasanlagen wird aus Gründen einer Maximierung der Energieausbeute nicht nur mit wirtschaftseigenen Düngern sondern in verstärktem Maße mit Reststoffen beschickt (Braun, 1995; Kuhn, 1995; Baserga, 2000; Pötsch, 2005). Diese Reststoffe bewirken nicht nur eine erhöhte Gasausbeute sondern auch eine quantitative und vor allem auch eine qualitative Veränderung des anfallenden Gärrestes (Pötsch et al., 2004). Im Hinblick auf den stark verbreiteten Einsatz von meist betriebsexternen Reststoffen steht damit auch die Frage nach der Veränderung des gesamtbetrieblichen Nährstoffhaushaltes im Interesse. Dabei geht es nicht nur um die Einhaltung entsprechender Nährstoff- bzw. Schadstoffgrenzwerte und Frachtenregelungen der einschlägigen rechtlichen Bestimmungen sondern auch um förderungsrelevante Auflagen im Rahmen des österreichischen Agrarumweltprogramms ÖPUL.

3.6.2. Methodik zur Bestimmung des Nährstoffkreislaufs

Stoffflüsse lassen sich sowohl für landwirtschaftliche Betriebe als auch für Biogasanlagen auf unterschiedlichste Weise darstellen. Zur Betrachtung und Beurteilung von Nährstoffkreisläufen werden heute vorwiegend Nährstoffbilanzen erstellt, die entweder eine gesamtbetriebliche Erfassung ermöglichen („Hoftorbilanz“) oder auch die innerbetriebliche Verteilung berücksichtigen („Einzelflächenbilanz“).

Im vorliegenden Projekt wurde zunächst versucht, für die düngungsrelevanten Hauptnährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium eine Input/Output-Bilanz zu erstellen, die im Wesentlichen einer Hoftorbilanz entspricht. Dazu wurden einerseits sämtliche in den untersuchten Biogasanlagen eingesetzten Rohstoffe für den Zeitraum eines Wirtschaftsjahres hinsichtlich Art und Menge erhoben sowie die damit zugeführten Nährstoffmengen über Analysenwerte bzw. Literatur/Tabellenwerte bestimmt. Zugleich erfolgten eine mengenmäßige Erfassung der im Jahresverlauf Gärreste sowie eine Analyse des Nährstoffgehalts. Eine erste Gegenüberstellung der Nährstoffmengen auf Input- und Outputseite ergab derartig hohe Differenzen, die nicht durch den Fermentationsprozess erklärt werden können. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Nährstoffe Phosphor und Kalium im Fermentationsprozess keinerlei mengenmäßigen Veränderungen unterliegen und daher eine ausgeglichene Bilanz zwischen Input und Output ergeben müssen. Beim Stickstoff können hingegen geringe Mengen über das Biogas aus dem System entweichen (mangels entsprechender Messwerte wurden derartige Verlustpotentiale bei den durchgeführten Berechnungen nicht berücksichtigt), in weiterer Folge können

auch noch gasförmige N-Verluste bei offenen Endlagern sowie in weiterer Folge bei der Ausbringung der Gärreste auftreten.

Worin können nun die Ursachen für die zuvor genannten großen Differenzen in der Gegenüberstellung der Nährstoffströme liegen?

a) Probleme in der Mengenerfassung

Im vorliegenden Projekt erfolgte die mengenmäßige Erhebung der eingesetzten Rohstoffe und der Gärreste im Rahmen einer Vorortbefragung der Anlagenbetreiber. Eine detaillierte Erfassung und Aufzeichnung der eingesetzten Rohstoffe bezüglich Quantität und Qualität ist für die Anlagenbetreiber im Regelfall nicht verpflichtend. Meist sind die für eine genaue Erhebung von Massenströmen benötigten Einrichtungen wie etwa eine Brückenwaage, ein Wasserzähler oder ein Gasmengenzähler auch gar nicht am Betrieb vorhanden. Für bestimmte Rohstoffe sind je nach Herkunft durchaus exakte Mengenwerte bekannt, für andere Rohstoffe muss teilweise von Kubaturdaten (z.B. bei Siloballen) auf Gewichtswerte umgerechnet werden, was natürlich auch ein gewisses Streuungspotential beinhaltet.

b) Nährstoffgehalt der Rohstoffe

Bei einem überwiegenden Teil der in den Biogasanlagen eingesetzten Rohstoffe handelt es sich um heterogene, organische Produkte und Reststoffe, deren repräsentative Beprobung äußerst schwierig erscheint. Selbst bei einem sehr engen, zeitlichen Untersuchungsrythmus bereitet daher eine exakte Erfassung der Qualitätsparameter große Schwierigkeiten. Im vorliegenden Projekt wurden die eingesetzten Rohstoffe teilweise beprobt und hinsichtlich ihrer Qualität analysiert, in vielen Fällen musste aber auf Tabellen- und Literaturwerte zurückgegriffen werden, die allerdings ebenfalls beachtlichen Streuungswerte aufweisen. In den nachfolgend präsentierten Ergebnissen ist daher die Herkunft der verwendeten Nährstoffgehaltsdaten jeweils angeführt.

Anzumerken ist auch, dass die Daten nicht kontinuierlich sondern auf den meisten Anlagen einmalig bzw. in maximal zwei Erhebungen für einen Zeitraum von jeweils einem gesamten Wirtschaftsjahr erfasst wurden. Trotz aller kritisch angeführten Problembereiche erscheint die Güte und Genauigkeit der Erhebung der Inputseite durchaus zufriedenstellend. Im Gegensatz dazu unterliegt die mengen- vor allem aber die qualitative Bewertung der Gärreste wesentlich stärkeren Unsicherheiten und Streuungen. Im Jahresverlauf ergeben sich etwa sehr unterschiedliche Füllstandshöhen im Endlager, was eine einmalige für den Zeitraum von einem Jahr aussagekräftige, repräsentative Probenziehung nicht zulässt.

Im Rahmen des im Jänner 2010 am LFZ Raumberg-Gumpenstein abgehaltenen Expertenbeirates wurde sehr deutlich auf die Problematik einer repräsentativen Probenziehung und auf die analysenbedingten Diskrepanzen hingewiesen und die Stärken und Schwächen der Datenerfassung analysiert und ausführlich diskutiert.

Darstellung der Nährstoffkreisläufe im gegenständlichen Projekt

Aufgrund der voranstehend beschriebenen Problemfelder wurde letztlich folgende Vorgangsweise zur Darstellung und Bewertung der Nährstoffströme in den untersuchten Biogasanlagen ausgewählt.

- 1) Quantitative Auflistung aller im Zeitraum eines Wirtschaftsjahres eingesetzten Rohstoffe (t Frischmasse bzw. t Trockenmasse)
- 2) Qualitative Angaben zu den einzelnen Rohstoffe für die Nährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium (%TM, kg Reinnährstoffgehalt je t Rohstoff)
- 3) Nährstoffinput (Quantität * Qualität) für Stickstoff, Phosphor und Kalium im Zeitraum eines Wirtschaftsjahres (kg Nährstoff je Rohstoffinput, kg Nährstoffinput insgesamt)

Die eingesetzten Nährstoffmengen stehen nach dem Fermentationsprozess in Form von Gärreste für Düngungsmaßnahmen zur Verfügung. Die dafür bereitstehenden landwirtschaftlichen Nutzflächen wurden sowohl hinsichtlich ihres Ausmaßes als auch der jeweiligen Kulturart erhoben. Nachfolgend wurde die Einhaltung der in den einschlägigen rechtlichen Bestimmungen festgelegten Obergrenzen für Stickstoff überprüft. Dabei ist allerdings festzuhalten, dass bei dieser Vorgangsweise die untersuchten Biogasanlagen jeweils wie ein einzelner landwirtschaftlicher Betrieb betrachtet werden. Tatsächlich sind jedoch bei den meisten Anlagen auch andere Betriebe in der Bereitstellung von Rohstoffe aber auch in der Abnahme von Fermentationsrückständen beteiligt und deren innerbetriebliche Nährstoffkreisläufe somit nicht betrachtet.

Folgende düngungsrelevante Bestimmungen respektive dazugehörige Stickstoffobergrenzen wurden in die Bewertung einbezogen:

I) Aktionsprogramm Nitrat – 2008

Dabei handelt es sich um die innerstaatliche Umsetzung der EU-Nitratrichtlinie, die für alle österreichischen Landwirte zahlreiche Einschränkungen in der Düngung von landwirtschaftlichen Nutzflächen beinhaltet. Neben Ausbringungsbeschränkungen (Verbotsfristen, Hangneigungs- und Gewässerabstandsregelungen, Lagerkapazität etc.) besteht auch eine Limitierung der Ausbringung von Stickstoff aus Dung mit 170 kg/ha und Jahr. Gemäß Definition betrifft dies bei Gärresten nur jenen Stickstoffanteil der aus tierischen Ausscheidungen stammt. Dieser Anteil wurde daher aus den vorliegenden Aufzeichnungen und Erhebungen herausgerechnet. Die Bezugsbasis für diese Obergrenze ist der Stickstoff ex Lager, das heißt ausgehend vom Brutto-N-Anfall dürfen für eine klassische landwirtschaftliche Bewertung noch unvermeidbare, gasförmige Verluste im Stall und am Lager in Abzug gebracht werden (EUROPEAN COMMISSION, 2002; FUNAKI and PARRIS, 2005). Üblicherweise werden gemäß BMLFUW (2006) für Schweinegülle 30% und für Rindergülle 15% abgezogen. Der verbleibende N-Anfall muss zur Erfüllung der Vorgaben des Aktionsprogramms Nitrat unter 170kg/ha liegen, bei einer Überschreitung müsste in jedem Fall ein Düngertransfer (z.B. Abnahmebetriebe oder Pachtflächen) stattfinden. Im vorliegenden Bericht wurden die N-Verluste nicht pauschal sondern auf Grund der anlagenspezifischen Voraussetzungen bemessen (Siehe Bestimmung von N₂O- und NH₃-Emissionen in 3.3.3 Emissionen bei der Lagerung).

II) Wasserrechtsgesetz

Zur Berechnung der im Wasserrechtsgesetz (WRG 1959 idF BGBl. I Nr. 87/2005) bestehenden Obergrenzen von 210 kg feldfallendem N/ha und Jahr für landwirtschaftliche Nutzflächen mit Gründeckung einschließlich Dauergrünland bzw. 175 kg feldfallendem N/ha und Jahr für landwirtschaftliche Nutzflächen ohne Gründeckung werden zusätzlich noch unvermeidbare N-Verluste, die bei der Ausbringung auftreten, abgezogen. Für Gülle und Jauche betragen diese Abzüge grundsätzlich 13%, für Stallmist und Kompost werden 9% Verluste berücksichtigt und zwar jeweils ausgehend vom N-Anfall ex Lager.

Im vorliegenden Projekt wurden die Ausbringungsverluste an Hand der betriebsspezifischen Ausbringungsmengen und der jeweils verwendeten Ausbringungstechnik kalkuliert (Siehe 3.3 Emissionen von Gülle- bzw. Gärrestmanagement) und der verbleibende Wert/ha LN den Obergrenzen von 210 kg N (Grünland) und 175 kg N (Ackerland) gegenübergestellt.

III) Richtlinien für die sachgerechte Düngung

Von den österreichischen Landwirten sind neben den beiden zuvor genannten Regelwerken auch die in den Richtlinien für die sachgerechte Düngung (BMLFUW, 2006) enthaltenen Empfehlungsgrundlagen für die Stickstoffdüngung einzuhalten. Diese Empfehlungen berücksichtigen für Grünland unterschiedliche Nutzungsformen, botanische Aspekte und drei unterschiedliche Ertragslagen, für Ackerkulturen die jeweilige Kulturart, Ertragslage und Bodendauereigenschaften. Es handelt sich bei den empfohlenen Werten um keine Entzugszahlen sondern es werden dabei sowohl die Leistungen der biologischen N-Fixierung als auch die Bodennachlieferung durch die N-Mineralisierung berücksichtigt.

Berechnungsbasis für die Einhaltung der N-Empfehlungen in den Richtlinien für die sachgerechte Düngung ist die Jahreswirksamkeit des Wirtschaftsdüngerstickstoffs, die sich auf dessen feldfallenden N-Gehalt bezieht. Diese Jahreswirksamkeit wird in diesem Sinne als Summe aus der Direktwirkung zum Zeitpunkt der Ausbringung und der darin anschließenden, geschätzten Stickstoffmineralisation definiert. Je nach Wirtschaftsdüngerart werden somit nur mehr 50% (Stallmist), 30% (Rottemist), 10% (Kompost) bzw. 70-85 % (bei Güllen) des feldfallenden Stickstoffs als wirksam angerechnet, nur der Jauchestickstoff wird mit einer Jahreswirksamkeit von 100% kalkuliert.

Im vorliegenden Projekt bedeutet dies, dass für die Gärreste ausgehend vom feldfallenden Stickstoff weitere 20% in Abzug gebracht wurden. Der verbleibende Stickstoff wurde nun gemäß der Aufteilung der landwirtschaftlichen Nutzfläche in Acker- und Grünlandflächen zugeteilt und unter Berücksichtigung der Kulturart und der vorliegenden Ertragslage bezüglich der Mengenbemessung kontrolliert.

Für die Nährstoffe Phosphor und Kalium werden generell keine Verlustgrößen in Abzug gebracht und damit in ihrer Düngerwirksamkeit gleich wie mineralische Düngemittel behandelt. Es wurden die je ha LN anfallenden P- und K-Mengen bezüglich der jeweiligen, kulturartenspezifischen Nährstoffempfehlung kontrolliert und bewertet.

IV) ÖPUL

Neben den in bereits angeführten Obergrenzen (I-III) besteht im österreichischen Agrarumweltprogramm ÖPUL eine Reihe von zusätzlichen Einschränkungen für den Bereich der Düngung. Da die meisten der untersuchten Anlagen Rohstoffe von mehreren landwirtschaftlichen Betrieben einsetzen und die Gärreste auf

Flächen unterschiedlicher Betriebe rückgeführt werden, müsste dazu eine betriebsindividuelle Bewertung stattfinden. Dies würde den Umfang und die Zielsetzung der vorliegenden Studie übersteigen, es wird jedoch darauf hingewiesen, dass in der Praxis selbstverständlich die über Gärreste in den Betrieb gelangenden Nährstoffe und allfällige, zusätzliche Düngungsbeschränkungen in Abhängigkeit der Teilnahme an unterschiedlichen ÖPUL-Maßnahmen (Biologische Landwirtschaft, UBAG, Verzicht auf ertragssteigernde Betriebsmittel etc.) zu berücksichtigen sind. Zu beachten sind auch Düngungsbeschränkungen im Rahmen von etwaigen wasserwirtschaftlichen Auflagen.

3.6.3. Ergebnisse zum Nährstoffkreislauf

In den nachfolgenden Tabellen werden die in den einzelnen Biogasanlagen eingesetzten Rohstoffe aufgelistet und hinsichtlich Einsatzmenge, Nährstoffgehalt sowie den damit zugeführten Nährstoffmengen für den Zeitraum eines Wirtschaftsjahres dargestellt.

Biogasanlage 1

In dieser Biogasanlage wird ein Rohstoffmix eingebracht, der einen Trockenmassegehalt von 40% aufweist. Der N-Gehalt liegt mit 1,1% bezogen auf die Trockenmasse im üblichen Streubereich von agroindustriellen und sonstigen Reststoffen (BMLFUW 2007).

Tabelle 33: Rohstoffe und Nährstoffinput für die Anlage 1

Inputsubstrate	Substratmengen			kg/t TM			kg Nährstoffinput/Jahr		
	t FM/Jahr	% TM	t TM/Jahr	N	P	K	N	P	K
Substratmix ^a	6.677	40%	2.671	11,0	4,5	1,5	29.379	12.019	4.006
Summe	6.677		2.671				29.379	12.019	4.006

^a = Analysenwert

Über die Gesamtmenge von 6.677 t Rohstoffmix werden damit jährlich knapp 30t Stickstoff, 12t Phosphor und 4t Kalium in den Fermenter eingebracht.

Von den anfallenden Gärresten (6.102 t) wird rund eine Hälfte direkt auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht, die restliche Hälfte wird in einem Pressvorgang in eine feste und flüssige Phase aufgetrennt. Das Presswasser wird anschließend in eine Kläranlage eingeschleust, der Presskuchen hingegen mittels Kompoststreuer ebenfalls zur Düngung von landwirtschaftlichen Flächen verwendet. Von den ursprünglich eingebrachten Nährstoffen bleiben durch die Ausschleusung des Presswassers noch insgesamt 24.224 kg N, 6.558 kg P und 2.107 kg K im Gärrest bzw. im Presskuchen übrig und stehen gemäß den unter 2.5.2 getroffenen Annahmen zumindest theoretisch als Düngernährstoffe zur Verfügung.

In Zeiten immer knapper und teurer werdender Betriebsmittel eignen sich die anfallenden Nährstoffe mit einem günstigen N:P:K-Verhältnis von 1:0,3:0,1 sehr gut für die Düngung von landwirtschaftlichen Nutzflächen. Im vorliegenden Fall wurde eine Ausbringungsfläche von 120 ha unterstellt und die Einhaltung der rechtlichen Vorgaben diesbezüglich überprüft.

Tabelle 34: Verfügbare Nährstoffmengen im Gärrest der Biogasanlage 1

	kg/ha und Jahr			Einhaltung rechtlicher Vorgaben	
	N	P	K		
N ex Lager	201,7	54,7	18,3	Aktionsprogramm Nitrat	nr
N feldfallend (-8,6%)	184,4	54,7	18,3	Wasserrechtsgesetz	ok
N jahreswirksam (-26%)	136,5	54,7	18,3	Richtlinien SGD	?

nr = nicht relevant, ok = Vorgabe erfüllt, ? = hängt von der zu düngenden Kulturart ab

Nachdem in Anlage 1 keine Gülle fermentiert wird, ist die im Aktionsprogramm Nitrat enthaltene Obergrenze für N aus Dung grundsätzlich nicht relevant. Die spezifischen Ausbringungsverluste wurden mit 8,6% ermittelt und liegen damit unter dem dafür vorgesehenen Kalkulationswert von 13%, wodurch sich je ha Fläche eine feldfallende N-Menge von 184,4 kg/Jahr ergibt. Zur vollen Ausnutzung der im Wasserrechtsgesetz festgelegten Obergrenze von 210 kg N wäre in diesem Fall eine Mindestfläche von 105 ha erforderlich, sofern es sich dabei um landwirtschaftliche Nutzflächen mit Gründeckung (einschließlich Grünland) handelt. Würden mit den anfallenden Nährstoffen ausschließlich Flächen ohne Gründeckung (klassische Ackerflächen ohne Zwischen- oder Winterbegrünung) versorgt werden, wären 126 ha Fläche erforderlich.

Nach Abzug von weiteren 26% (Gewichtung aus 20% für den Gärrest und 50% für den frisch ausgebrachten Presskuchen) ergibt sich der jahreswirksame Stickstoff, der nun maßgeblich für die in den Richtlinien für sachgerechte Düngung enthaltenen N-Empfehlungen ist. Die Empfehlungen für die N-Düngung von dreischnittigen gräserbetonten Mähwiesen in hoher Ertragslage betragen 120 - 150 kg N/ha und Jahr und für vierschnittige, kleereiche Mähwiesen in hoher Ertragslage 130 - 150 kg/ha und Jahr. Bei einer Ackerflächennutzung könnten die vorliegenden jahreswirksamen N-Mengen sehr gut im Maisbau oder im gräserbetonten Feldfutterbau eingesetzt werden. Hinsichtlich des Phosphors ist festzustellen, dass die anfallenden Mengen bei 120 ha Fläche rund 55 kg P betragen und damit etwas über den Empfehlungen für Grünland oder auch Ackerkulturen liegen. Im konkreten Fall könnten die Gärreste auf Flächen mit sehr niedrigen oder niedrigen P-Werten im Boden ausgebracht werden. Die je ha rückgeführte Kaliummenge liegt auf einem sehr niedrigen Niveau und müsste zur Abdeckung der entsprechenden Nährstoffempfehlungen für die meisten Kulturen in mineralischer Form ergänzt werden.

Biogasanlage 2

In der Biogasanlage 2 werden neben Schweinegülle auch nachwachsende Rohstoffe (Silomais und CornCobMix) eingesetzt sowie zusätzlich noch eine Reihe von energetisch hochwertigen Reststoffen, die mit rund 6.700 t/Jahr mehr als 40% des gesamten Frischmasseinputs ausmachen. Über die verwendeten Reststoffe gelangen auch beachtliche Mengen an Nährstoffen in den Betriebskreislauf. So werden damit 40% des gesamten Stickstoffs, 52% des Phosphors und 30% des Kaliums in die Biogasanlage eingeschleust. Das N:P:K-Verhältnis liegt insgesamt bei 1:0,25:0,4 und kann hinsichtlich des Pflanzenwachstums als durchaus günstig bezeichnet werden, wobei aber je nach Standort und Kulturart unter Umständen eine Kaliumergänzung erforderlich sein kann.

Tabelle 35: Rohstoffe und Nährstoffinput für die Biogasanlage 2

Inputs substrate	Substratmengen			kg/t TM			kg Nährstoffinput/Jahr		
	t FM/Jahr	% TM	t TM/Jahr	N	P	K	N	P	K
Silomais ^b	2.364	35%	828	11,8	2,0	10,5	9.765	1.655	8.689
CCM ^b	1.485	56%	832	14,0	2,5	4,8	11.642	2.079	3.992
Schweinegülle ^d	4.800	6%	288	83,3	18,3	33,3	23.990	5.270	9.590
Fettabscheider ^d	510	5%	26	19,4	1,7	3,3	495	43	84
Flotat ^e	2.453	9%	221	60,0	20,0	0,0	13.246	4.415	0
Speisereste ^e	2.990	15%	449	25,0	8,0	18,0	11.213	3.588	8.073
Obstabfälle ^e	725	13%	94	40,0	8,0	8,0	3.770	754	754
Summe	15.327		2.736				70.351	17.051	30.428

^b = ÖAG-Futterwerttabelle 2006; ^d = KTBL 2005; ^e = KTBL 2006

Für die Ausbringung der anfallenden Gärreste stehen bei der Anlage 2 insgesamt 423 ha LN zur Verfügung. Dies ergibt für Stickstoff ex Lager berechnet 162,8 kg/ha, wovon etwas über 60 kg aus Dung (Schweinegülle) stammen und damit die Obergrenze des Aktionsprogramms Nitrat deutlich unterschritten ist. Nach Abzug der unvermeidbaren Ausbringungsverluste von errechneten 14,4% (um 1,4 höher als gemäß BMLFUW vorgesehen) verbleiben noch 139,4 kg N feldfallend/ha bzw. in weiterer Folge 111,6 kg jahreswirksamer N, der wiederum für die Produktion von Silomais und CCM ohne jegliche Überschreitung der Empfehlungswerte genutzt werden kann. Dies trifft auch auf Phosphor und Kalium zu, die mit 40 kg bzw. 72 kg/ha und Jahr für die meisten Kulturarten eine gute Versorgungsgrundlage darstellen.

Tabelle 36: Verfügbare Nährstoffmengen im Gärrest der Biogasanlage 2

	kg/ha und Jahr			Einhaltung rechtlicher Vorgaben	
	N	P	K		
N ex Lager	162,8	40,3	71,9	Aktionsprogramm Nitrat	ok
N feldfallend (-14,4%)	139,4	40,3	71,9	Wasserrechtsgesetz	ok
N jahreswirksam (-20%)	111,6	40,3	71,9	Richtlinien SGD	ok

ok = Vorgabe erfüllt

Biogasanlage 3

Die Biogasanlage 3 setzt schwerpunktmäßig auf den Einsatz von Wirtschaftsdüngern, NAWAROS sowie zusätzlich von Verarbeitungsrückständen aus der landwirtschaftlichen Erzeugung. Der überwiegende Anteil der eingebrachten Rohstoffmengen (90%) und Nährstoffmengen (ca. 95%) stammt allein aus dem Mais und der Schweinegülle.

Tabelle 37: Rohstoffe und Nährstoffinput für die Biogasanlage 3

Inputsubstrate	Substratmengen			kg/t TM			kg Nährstoffinput/Jahr		
	t FM/Jahr	% TM	t TM/Jahr	N	P	K	N	P	K
Silomais ^a	4.108	36%	1.479	12,5	2,0	10,5	18.486	2.958	15.528
CCM ^a	5.251	73%	3.833	15,2	2,7	4,3	58.260	10.349	16.482
Schweinegülle ^d	7.300	6%	438	83,3	18,3	33,3	36.485	8.015	14.585
Rübenschnitten ^c	927	20%	185	18,0	0,9	8,0	3.337	167	1.483
Gemüseabfälle ^e	611	5%	31	30,0	8,0	2,0	917	244	61
Weizen ^c	174	87%	151	22,0	3,8	5,0	3.330	575	757
Summe	18.371		6.117				120.816	22.309	48.896

^a = Analysenwert; ^c = Gruber-Tabelle 2010; ^d = KTBL 2005; ^e = KTBL 2006

Der zur Biogasproduktion verwendete Mais stammt von insgesamt 389 ha Ackerfläche, davon waren 69 ha Silomais und 320 ha Maiskornsilage. Die anfallenden Gärreste werden insgesamt aber auf 500 ha LN rückgeführt, wodurch sich ex Lager berechnet ein Anfall von 239 kg N/ha und Jahr ergibt. Die betriebsspezifisch errechneten Ausbringungsverluste betragen 10%, wodurch sich 215 kg feldfallender N/ha und Jahr ergeben und damit die im Wasserrechtsgesetz vorliegende Obergrenze rechnerisch bereits knapp überschritten ist. Bei Berechnung des feldfallenden Stickstoffs gemäß Vorgaben des BMLFUW (2006) mit 13% Ausbringungsverlusten läge der Wert für feldfallenden Stickstoff bei 208 kg/ha und Jahr und damit noch knapp im gesetzlichen Rahmen.

Tabelle 38: Verfügbare Nährstoffmengen in den Gärreste der Biogasanlage 3

	kg/ha und Jahr			Einhaltung rechtlicher Vorgaben	
	N	P	K		
N ex Lager	239,0	44,6	97,8	Aktionsprogramm Nitrat	ok
N feldfallend (-10%)	215,0	44,6	97,8	Wasserrechtsgesetz	nok
N jahreswirksam (-20%)	172,0	44,6	97,8	Richtlinien SGD	?

ok = Vorgabe erfüllt; nok = Vorgabe nicht erfüllt, ? = hängt von der zu düngenden Kulturart ab

Hinsichtlich des jahreswirksamen Stickstoffs gilt ähnliches wie für die Biogasanlage 1. Um 172 kg jahreswirksamen Stickstoff sachgerecht auf landwirtschaftlichen Nutzflächen ausbringen zu können, bedarf es in jedem Fall einer hohen Ertragslage und Kulturarten, die mit sehr hohen N-Empfehlungen verknüpft sind (Intensivgrünland, gräserbetonter Feldfutterbau, Silomais, CCM). Es wäre im vorliegenden Fall durchaus überlegenswert, die Rohstoffe Rübenschnitte, Gemüseabfälle und Weizen wegzulassen um damit den Nährstoffspielraum etwas zu vergrößern. Die anfallenden Phosphor- und Kaliummengen stellen keine Limitierung dar, auch das N:P:K-Verhältnis kann aus pflanzenbaulicher Sicht mit 1:0,26:0,6 grundsätzlich als gut beurteilt werden.

Biogasanlage 4

In der Biogasanlage 4 werden ausschließlich nachwachsende Rohstoffe eingesetzt, wobei die in Tabelle 7 angeführte Grassilage von Naturschutzflächen stammt, die in weiterer Folge nur sehr eingeschränkt für die Ausbringung der anfallenden Biogasgülle zur Verfügung stehen. Diese Grassilage aus überständigem, sehr spät geerntetem Extensivgrünland weist daher im Vergleich zum eingesetzten Klee gras bzw. zu hochwertigen Grassilagen einen deutlich geringeren Gehalt an Rohprotein

und damit Stickstoff auf. Mengenmäßig als auch bezüglich des Nährstoffinputs dominiert der Silomais, der von insgesamt 180 ha Anbaufläche stammt und dessen Produktionsniveau einer mittleren bis hohen Ertragslage zuzuordnen ist. Das Ertragsniveau der Kleeegrassilage lässt mit 11,3 t TM/ha und Jahr ebenfalls auf eine hohe Ertragslage und damit sehr gute Standortbedingungen schließen.

Tabelle 39: Rohstoffe und Nährstoffinput für die Biogasanlage 4

Inputs substrate	Substratmengen			kg /t TM			kg Nährstoffinput/Jahr		
	t FM/Jahr	% TM	t TM/Jahr	N	P	K	N	P	K
Silomais ^b	8.144	36%	2.932	11,8	2,0	10,5	34.596	5.864	30.784
Grassilage ^b	934	39%	364	19,2	3,0	28,6	6.994	1.093	10.418
Klee gras ^b	726	39%	283	28,6	3,4	30,4	8.101	963	8.610
Sonnenblumen/Mais ^b	159	35%	56	11,8	2,0	10,5	657	111	584
Grünschnittgetreide ^b	14	24%	3	20,4	3,9	33,3	69	13	112
Summe	9.977		3.638				50.415	8.044	50.509

^b = ÖAG-Futterwerttabelle 2006

Im Fall dieser ausschließlich mit NAWAROS beschickten Biogasanlage ist die im Aktionsprogramm Nitrat festgelegte N-Obergrenze nicht relevant, da keinerlei tierische Ausscheidungen zur Biogasgewinnung genutzt werden.

Tabelle 40: Verfügbare Nährstoffmengen in der Biogasgülle der Biogasanlage 4

	kg/ha und Jahr			Einhaltung rechtlicher Vorgaben	
	N	P	K		
N ex Lager	191,4	31,7	199,2	Aktionsprogramm Nitrat	nr
N feldfallend (-9,7%)	172,7	31,7	199,2	Wasserrechtsgesetz	ok
N jahreswirksam (-20%)	138,2	31,7	199,2	Richtlinien SGD	?

nr = nicht relevant; ok = Vorgabe erfüllt; ? = hängt von der zu düngenden Kulturart ab

Nach Abzug von unvermeidbaren Ausbringungsverlusten verbleiben insgesamt je ha LN noch 173 kg feldfallender Stickstoff, womit in der Gesamtbetrachtung die Obergrenze gemäß WRG auch für Ackerflächen ohne Gründeckung noch eingehalten wird. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass auf den Naturschutzflächen (32 ha) nur eine Menge von jeweils 21 kg N feldfallend/ha und Jahr ausgebracht wird, wodurch die N-Düngung auf den Ackerflächen (222 ha) entsprechend angehoben werden muss. Diese liegt je ha und Jahr in Abhängigkeit der Ausbringungstechnik zwischen 184 und 200 kg N feldfallend bzw. zwischen 151 und 160 kg N jahreswirksam und erfordert nicht nur Kulturen in einer hohen Ertragslage sondern in jedem Fall auch eine permanente Gründecke (Winterbegrünung resp. Zwischenfruchtbau).

Das N:P:K-Verhältnis der anfallenden Biogasgülle liegt bei 1:0,2:1,4 und weist damit ähnlich wie Jauche eine Phosphorsenke auf. Die je ha und Jahr zur Verfügung stehende P-Menge deckt jedoch bei Vorliegen eines ausreichenden Phosphorgehaltes im Boden (Gehaltsstufe C) die P-Empfehlungsmengen für die meisten Ackerkulturen gut ab.

Biogasanlage 5

Auch in der Biogasanlage 5 werden nur nachwachsende Rohstoffe eingesetzt, wobei diese ausschließlich von insgesamt 204 ha Grünlandflächen stammen. Die Grassilage wird vorwiegend auf vierschnittigen Mähwiesen produziert, deren Ertragslage mit Ø 10,2 t TM (Nettoertrag) als hoch einzustufen ist. Die Qualität der verwendeten Grassilagen liegt mit durchschnittlich 14% Rohprotein und mehr als 6 MJ NEL/kg TM auf einem guten Niveau und bietet eine gute Grundlage für ein entsprechend hohes Methanbildungspotential.

Tabelle 41: Rohstoffe und Nährstoffinput für die Biogasanlage 5

Inputsubstrate	Substratmengen			kg /t TM			kg Nährstoffinput/Jahr		
	t FM/Jahr	% TM	t TM/Jahr	N	P	K	N	P	K
Grassilage ^a	5.300	39%	2.067	22,4	3,5	28,6	46.301	7.235	59.116
Summe	5.300		2.067				46.301	7.235	59.116

^a = Analysenwerte

Auch bei dieser ausschließlich mit NAWAROS beschickten Biogasanlage ist die im Aktionsprogramm Nitrat festgelegte N-Obergrenze nicht relevant, da keine tierischen Ausscheidungen zur Biogasgewinnung eingesetzt werden. Für Grünland beträgt die im WRG bestehende Obergrenze 210 kg N/ha und Jahr (Basis feldfallend) und wird im vorliegenden Fall mit 198 kg eingehalten. Die Düngungsempfehlungen/ha und Jahr liegen für vierschnittige, gräserbetonte Dauerpiesen in hoher Ertragslage bei 170-200 kg N (Basis jahreswirksam) sowie 39 kg Phosphor und knapp 235 kg Kalium. Gemäß den für die Düngung zur Verfügung stehenden Nährstoffen, können die Empfehlungen für Stickstoff und Phosphor gut abgedeckt werden, der Überschuss an Kalium ist kein spezifisches Problem der Biogasproduktion sondern eine grundlegende Thematik/Problematik im Grünland. Nachdem allerdings das Kalium im Gegensatz zu Stickstoff und Phosphor keine negativen umweltökologischen Auswirkungen aufweist, ergeben sich aus dem Überschuss auch keine unmittelbar nachteiligen Konsequenzen.

Tabelle 42: Verfügbare Nährstoffmengen in der Biogasgülle der Biogasanlage 5

	kg / ha und Jahr			Einhaltung rechtlicher Vorgaben	
	N	P	K		
N ex Lager	227,0	35,5	289,8	Aktionsprogramm Nitrat	nr
N feldfallend (-13%)	197,5	35,5	289,8	Wasserrechtsgesetz	ok
N jahreswirksam (-20%)	158,0	35,5	289,8	Richtlinien SGD	ok

nr = nicht relevant; ok = Vorgabe erfüllt

Biogasanlage 6

Diese Biogasanlage wird sowohl mit nachwachsenden Rohstoffen (Silomais und Grassilage) als auch mit tierischen Ausscheidungen aus der bestehenden Milchviehhaltung und Rindermast beschickt. Zusätzlich werden auch noch externe Rohstoffe im Ausmaß von knapp 30% bezogen auf die gesamte Rohstoffmenge verwertet. Durch die externen Rohstoffe werden damit rund 20% des insgesamt zur Verfügung stehenden Stickstoffs und Phosphors sowie etwa 7% des Kaliums in den Betriebskreislauf eingeschleust.

Tabelle 43: Rohstoffe und Nährstoffinput für die Biogasanlage 6

Inputsubstrate	Substratmengen			kg/t TM			kg Nährstoffinput/Jahr		
	t FM/Jahr	% TM	t TM/Jahr	N	P	K	N	P	K
Silomais ^b	646	35%	226,2	11,8	2,0	10,5	2.669	452	2.375
Grassilage ^b	316	38%	120,0	26,2	3,5	28,6	3.144	420	3.432
Rindergülle ^a	1.320	12%	158,4	36,0	8,0	30,6	5.702	1.267	4.847
Fettabscheider ^d	455	5%	25,0	19,4	1,7	3,3	485	43	83
Speiseöle ^d	55	95%	52,3				0	0	0
Molkerei Ausschuss ^d	500	22%	110,0	25,9	4,3	6,8	2.849	473	748
Summe	3.292		691,9				14.850	2.655	11.485

^a = Analysenwert; ^b = ÖAG-Futterwerttabelle 2006; ^d = KTBL 2005

Der aus der Tierhaltung stammende Stickstoff beläuft sich auf 88 kg/ha und Jahr, womit die N-Limitierung im Aktionsprogramm Nitrat in jedem Fall eingehalten wird. Je ha LN (insgesamt 65 ha) verbleiben 189 kg feldfallender bzw. 151 kg jahreswirksamer Stickstoff. Damit können sowohl die Obergrenze laut WRG als auch die Vorgaben der sachgerechten Düngung (140-160 kg N, 35 kg P und 190 kg K/ha und Jahr für vierschnittige Mähwiesen in mittlerer Ertragslage) eingehalten werden, wobei letztere allerdings nur mehr einen sehr geringen Spielraum offen lassen.

Tabelle 44: Verfügbare Nährstoffmengen im Gärrest der Biogasanlage 6

	kg/ha und Jahr			Einhaltung rechtlicher Vorgaben	
	N	P	K		
N ex Lager	224,3	40,8	176,7	Aktionsprogramm Nitrat	ok
N feldfallend (-15,7%)	189,1	40,8	176,7	Wasserrechtsgesetz	ok
N jahreswirksam (-20%)	151,3	40,8	176,7	Richtlinien SGD	ok

ok = Vorgabe erfüllt

Bei zusätzlichen Einschränkungen betreffend die N-Düngung (etwa über bestimmte ÖPUL-Maßnahmen) müsste hier im Bereich der externen Rohstoffe (v.a. bei der Molkereiaussschussware) eine Mengenreduktion erfolgen, um damit auch den Nährstoffanfall abzusenken.

3.6.4. Zusammenfassung zum Nährstoffkreislauf

Bei der Fermentation von organischen Rohstoffen in Biogasanlagen entstehen neben dem Biogas auch Gärreste als stoffliches Endprodukt. Dabei handelt es sich um wertvolle Nährstoffträger, die zur Düngung von landwirtschaftlichen Nutzflächen eingesetzt werden können. Wie auch bei der Ausbringung von Gülle sind dazu eine Reihe von rechtlichen Bestimmungen einzuhalten und grundlegende fachliche Aspekte zu beachten, damit ein sachgerechter Einsatz der Nährstoffe auf Acker- und Grünlandflächen gewährleistet ist.

Zur Überprüfung und Beurteilung der Nährstoffflüsse der im Projekt untersuchten Biogasanlagen wurden diese jeweils wie ein landwirtschaftlicher Einzelbetrieb mit einer entsprechenden Flächenausstattung betrachtet. Dabei zeigte sich, dass die im Aktionsprogramm Nitrat festgelegte Obergrenze von 170 kg Stickstoff aus Dung in keinem Fall überschritten wurde bzw. bei einigen Anlagen nicht relevant ist, da dort keinerlei tierische Ausscheidungen eingesetzt wurden. Der feldfallende Stickstoff je ha landwirtschaftlicher Nutzfläche lag mit einer einzigen Ausnahme auf einem allgemein hohen Niveau und bei einer Anlage zumindest rechnerisch bereits über

dem zulässigen Höchstwert von 210 kg/ha und Jahr gemäß Wasserrechtsgesetz. Allerdings wurden die unvermeidbaren, gasförmigen N-Verluste nicht mit den in der Richtlinie für sachgerechte Düngung festgesetzten Reduktionsfaktoren ermittelt sondern auf Basis betriebs- resp. anlagenspezifischer Bedingungen. Zur Schaffung eines größeren Nährstoffspielraums müssten entweder Abnahmeverträge für einen Teil der Biogasgülle bzw. Gärrückstände geschlossen oder zusätzliche Flächen für die Ausbringung der Rohstoffe bereitgestellt werden. Wenig Spielraum besteht auch meist bei der Einhaltung der Richtlinien zur sachgerechten Düngung, das heißt fast alle der untersuchten Biogasanlagen werden zur optimalen Auslastung durchaus auf einem intensiven und hohen Niveau betrieben. Die Zufuhr von externen Reststoffen bewirkt einen beachtlichen Eintrag an Nährstoffen, die das Gesamtnährstoffniveau im Betrieb anheben und zu Problemen bei der Einhaltung der düngungsrelevanten Auflagen führen können. Beim Einsatz von außerlandwirtschaftlichen Reststoffen ist auch zu berücksichtigen, dass es dabei zu erhöhten Einträgen von Schwermetallen und organischen Schadstoffen kommen kann.

Methodisch wurden die Nährstoffflüsse in den Biogasanlagen primär von der Rohstoffinputseite betrachtet und damit die der Biogasanlage zugeführten Nährstoffe berücksichtigt. In der Praxis ist aber für eine sachgerechte Düngung und Nährstoffversorgung der einzelnen Flächen und Kulturen unbedingt auch Kenntnis über zumindest den Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumgehalt der Biogasgülle resp. der Gärrückstände zum Zeitpunkt der Düngung erforderlich. Nur damit kann letztlich eine gezielte und verlustarme Nährstoffversorgung gewährleistet werden, wobei im Fall von Biogasgülle und Gärrückständen durch den meist relativ hohen Gehalt an Ammoniumstickstoff und den im Vergleich zu unfermentierten Gülle hohen pH-Wert besonders auf eine bodennahe Ausbringung zur Verringerung von NH_3 -Verlusten geachtet werden soll.

3.6.5. Schlussfolgerungen für die Lebenszyklusanalyse

Auf Basis der erstellten Nährstoffbilanzen wird für die Lebenszyklusanalyse abgeleitet, wie viele Nährstoffe auf die Flächen aufgebracht werden, auf denen nachwachsende Rohstoffe für die Biogaserzeugung angebaut werden. Bei den Systemen Biogas 1, Biogas 2, Biogas 3 und Biogas 6 verbleibt nach Abzug der Gärrestmengen für die Düngung von nachwachsenden Rohstoffen noch eine Restmenge. Diese Restmenge wird der Düngerwirkung der Referenznutzung von Reststoffen und Gülle gegenübergestellt. Für Reststoffe ist die Referenznutzung die Kompostierung bzw. die Zuführung fetthaltiger Reststoffe zu einem anaeroben Abwasserreinigungsprozess. Dabei fallen Kompost oder Klärschlamm an, die als Dünger verwendet werden. Für die Gülle ist die Referenznutzung die Lagerung und direkte Ausbringung der unvergorenen Gülle auf das Feld als Dünger.

Die Gegenüberstellung der Nährstoffbilanzen der Biogassysteme und der Referenzsysteme befindet sich in ANHANG D.

Daraus ergeben sich für die Lebenszyklusanalyse folgende Inputdaten:

Biogas 1: 100% Reststoffe

Die Ergebnisse der Nährstoffbilanz für diese Anlage haben ergeben, dass die Nährstoffverluste im Biogassystem durch Verluste im Presswasser bei der Gärrestaufbereitung etwas höher sind als im Referenzfall bei Kompostierung und

Kläranlage. Deshalb werden dem Biogassystem die Erzeugung und Aufbringung folgende mineralische Düngermengen zugerechnet:

- 1,2 t/a Stickstoff
- 5,5 t/a Phosphor
- 1,8 t/a Kalium.

Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe

Die Nährstoffbilanz zeigt, dass im Biogassystem weniger Dünger zur Verfügung steht als bei der Referenznutzung. Die Erzeugung und Aufbringung nachstehende mineralische Düngermengen wird dem Biogassystem zugerechnet:

- 5,3 t/a Stickstoff
- 3,8 t/a Phosphor

Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe

Die Nährstoffbilanz zeigt, dass im Biogassystem weniger Dünger zur Verfügung steht als bei der Referenznutzung. Die Erzeugung und Aufbringung folgende mineralische Düngermengen wird dem Biogassystem zugerechnet:

- 9,7 t/a Stickstoff
- 4,1 t/a Phosphor
- 6 t/a Kalium

Biogas 4: 100% Nawaros und Biogas 5: 100% Nawaros

In diesen Biogassystemen werden nur nachwachsende Rohstoffe zur Biogaserzeugung eingesetzt. Die Gärreste werden vollständig auf die Anbauflächen der nachwachsenden Rohstoffe aufgebracht. Es gibt keine Referenznutzung von Gülle oder Reststoffen.

Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe

Die Nährstoffbilanz ist für dieses Biogassystem im Vergleich zur Referenznutzung in etwa ausgeglichen. Es werden dem Biogassystem daher keine zusätzlichen mineralischen Düngermengen zugerechnet.

3.7. Weitere Aspekte der Gärrestnutzung

Bei der Aufbringung von Gärresten auf landwirtschaftliche Flächen sind neben dem Gehalt an Pflanzennährstoffen auch Schwermetalle, organische Schadstoffe und der Hygienestatus zu beachten.

Messungen und Untersuchungen von Gärresten waren nicht Inhalt dieses Projektes weshalb diesbezüglich nur die rechtlichen Rahmenbedingungen erhoben und Literaturdaten ausgewertet wurden. Im ANHANG F sind relevante rechtliche und

normative Rahmenbedingungen zu Schwermetallen, organischen Schadstoffen und Hygiene von Gärresten zusammengestellt.

In der Folge werden die für die durchgeführte Umweltbewertung relevanten Schlussfolgerungen dargestellt:

1. Schwermetalle

Schwermetalle unterliegen keinem biologischen Abbau und bleiben während des Fermentationsprozesses unverändert. Allfällige Schwermetallbelastungen der eingesetzten Rohstoffe spiegeln sich daher auch im Gärrest wieder. Das gleiche gilt auch für die Kompostierung von Reststoffen und die Aufbringung von unvergorener Gülle. Im Hinblick auf Schwermetalle ergeben sich daher keine Unterschiede zur jeweiligen Referenznutzung.

2. Organische Schadstoffe

Beim Biogasprozess selbst entstehen keine der für Gärreste umweltrelevanten organischen Schadstoffe (AOX,⁷ Tenside⁸, PAK⁹). Diese können nur über die Rohstoffe in das System eingebracht werden. Für organische Schadstoffe ergibt sich daher kein Unterschied zur Kompostierung von Reststoffen und der Aufbringung von unvergorener Gülle. Hohe Konzentrationen organischer Schadstoffe im Rohstoff können jedoch den Biogasprozess selbst stören. Konkrete Untersuchungen dazu liegen nicht vor.

3. Hygiene

In welchem Ausmaß Keimbelastungen in Gärresten vorhanden sind, ist immer von der Rohstoffzusammensetzung und deren unmittelbaren Belastung mit Krankheits-/Schadkeimen abhängig. Untersuchungen haben gezeigt, dass die Temperatur im Fermenter einen starken Einfluss auf den Hygienestatus von Gärresten hat, wobei thermophil (53 – 55°C) betriebene Anlagen diesbezüglich besser abschneiden (Pötsch et al. 2004).

Da sich für Schwermetalle, organische Schadstoffe und Hygiene keine signifikanten Unterschiede zur Referenznutzung ergaben, wurden in der quantitativen Umweltbewertung mittels Lebenszyklusanalyse diese Aspekte nicht inkludiert.

3.8. Kohlenstoff-Kreislauf

Aussagen zum Kohlenstoff-Kreislauf und zur Humuswirkung von Gärresten im Boden können nur auf Basis von langjährigen Experimenten getroffen werden, die nicht

⁷ AOX: Summenparameter für den Gehalt an adsorbierbaren halogenierten organischen Chlorverbindungen; sind in der Regel anthropogenen Ursprungs

⁸ Tenside: Hauptbestandteile in Reinigungs- und Waschmittel zur Absenkung der Oberflächenspannung und Reduktion der Schaumbildung

⁹ PAK: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, deren Hauptquellen unvollständige Verbrennungsvorgänge sind

Gegenstand dieses Projektes sind. Derzeit liegen noch keine Ergebnisse von Langzeituntersuchungen zur Kohlenstoffdynamik nach Gärrestdüngung im Boden vor. Der VDLUFA¹⁰-Standpunkt (VDLUFA 2004) zur Humusbilanzierung geht von einer höheren Humusreproduktionsleistung der Gärreste im Vergleich zu unvergorener Gülle aus. Im Gegensatz dazu zeigen Ergebnisse von Bebrütungsversuchen mit Boden-Güllegemischen sowie Boden-Gärrestgemischen, dass die Düngung mit unvergorener Gülle und mit Gärresten zu einer vergleichbaren Humusreproduktion führt (Reinhold 2009).

Beim Treffen des Expertenbeirats im Jänner 2010 wurde durch die anwesenden Experten die Meinung vertreten, dass der Humusgehalt eher nicht verändert wird. Eine Erhöhung des Bodenlebens als wichtige Komponente der Bodenfruchtbarkeit wird für möglich erachtet. Klima- und Bodenbearbeitung sind neben der Düngung (Art, Intensität) und Nutzung (Kulturart) wesentliche Faktoren für die Humusbilanz von landwirtschaftlichen Flächen.

Für das Projekt wurde deshalb angenommen, dass es zu keiner nennenswerten Änderung der Kohlenstoffmengen in landwirtschaftlichen Böden durch die Aufbringung von Gärresten im Vergleich zur Aufbringung von unvergorener Gülle bzw. Kompost (Referenznutzung) kommt.

¹⁰ VDLUFA: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten

4. Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse für die untersuchten Umweltauswirkungen dargestellt und die Erfolgsfaktoren der Biogastechnologie aufgezeigt. Weiters wird eine Bewertung der Biogastechnologie für ausgewählte Leitprinzipien der Nachhaltigkeit durchgeführt.

4.1. Umweltauswirkungen der untersuchten Biogassysteme

Die hier dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf die in Abschnitt 3 Datengrundlage dargestellten Grunddaten. Bei Grunddaten mit Schwankungsbreiten (z.B. Emissionen bei der Gärrestlagerung und -aufbringung) wurden Durchschnittswerte angenommen. In Sensitivitätsanalysen werden diese Grunddaten variiert und der Einfluss der Schwankungsbreiten auf das Endergebnis gezeigt.

Die Skalierung der x-Achse wurde für jede Umweltauswirkung gleich gewählt, damit ein direkter Vergleich der Diagramme einer Umweltauswirkung möglich ist.

In der Folge werden alle Ergebnisse für die untersuchten Biogassysteme drei ausgewählten Referenzsystemen gegenübergestellt. (Für weitere Informationen zu den dargestellten Referenzsystemen siehe 2.2.4 Festlegung der untersuchten Energiesysteme.) Im Projekt wurden noch weitere Technologien zur Wärme- und Stromerzeugung bei den Referenzsystemen untersucht. Die Ergebnisse für alle untersuchten Referenzsysteme bezogen auf 1 MWh Strom oder Wärme sind in ANHANG E angeführt.

4.1.1. Beitrag zum Treibhauseffekt

In Abbildung 12 bis Abbildung 17 ist der Beitrag zum Treibhauseffekt für die sechs untersuchten Biogassysteme im Vergleich zu drei Referenzsystemen dargestellt.

Die Abbildungen zeigen den Beitrag zum Treibhauseffekt aufgeteilt in die Treibhausgas-Emissionen Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O) gewichtet in CO_2 -Äquivalent.

Der Beitrag zum Treibhauseffekt des Systems „Biogas 1: 100% Reststoff“ beträgt minus 7 kg CO_2 -Äq./ (0,61 MWh Strom + 0,39 MWh Wärme). Die negativen Emissionen ergeben sich aus der Referenznutzung der Reststoffe. Im Referenzfall werden die Reststoffe kompostiert und die Emissionen der Kompostierung werden beim Biogassystem berücksichtigt. Da die N_2O -Emissionen der Kompostierung höher sind als die der Biogaserzeugung ergeben sich negative Emissionen. Der Beitrag zum Treibhauseffekt von „Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe“ beträgt 89 kg CO_2 -Äq./ (0,59 MWh Strom + 0,41 MWh Wärme). Auch dieses Biogassystem weist keine N_2O -Emissionen auf bedingt durch die vermiedenen N_2O -Emissionen aus der Kompostierung und der Lagerung und Ausbringung der unvergorenen Gülle. Bei Systemen mit einem höheren Anteil an Nawaros („Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe“, „Biogas 4: 100% Nawaros“, „Biogas 5: 100% Nawaros“) machen die N_2O -Emissionen den größten Beitrag zum Treibhauseffekt aus.

Die CH₄-Emissionen der Biogassysteme stammen hauptsächlich aus dem CH₄-Schlupf des BHKW und der Lagerung der Gärreste. Ausgenommen ist das System „Biogas 5: 100% Nawaros“. Die CH₄-Emissionen dieses Systems stammen vor allem aus dem Biomethan-Transport (Pipeline), aus der Verbrennung von Biomethan im Fahrzeug und vorgelagerten Prozessen. Das System „Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe“ weist negative CH₄-Emissionen auf, bedingt durch die vermiedenen Emissionen aus der Lagerung und Ausbringung von unvergorener Rindergülle.

Die CO₂-Emissionen der Biogassysteme stammen aus der Verbrennung von fossilen Energieträgern (z.B. Treibstoffverbrauch, Hilfsenergie, Erzeugung von Baumaterialien).

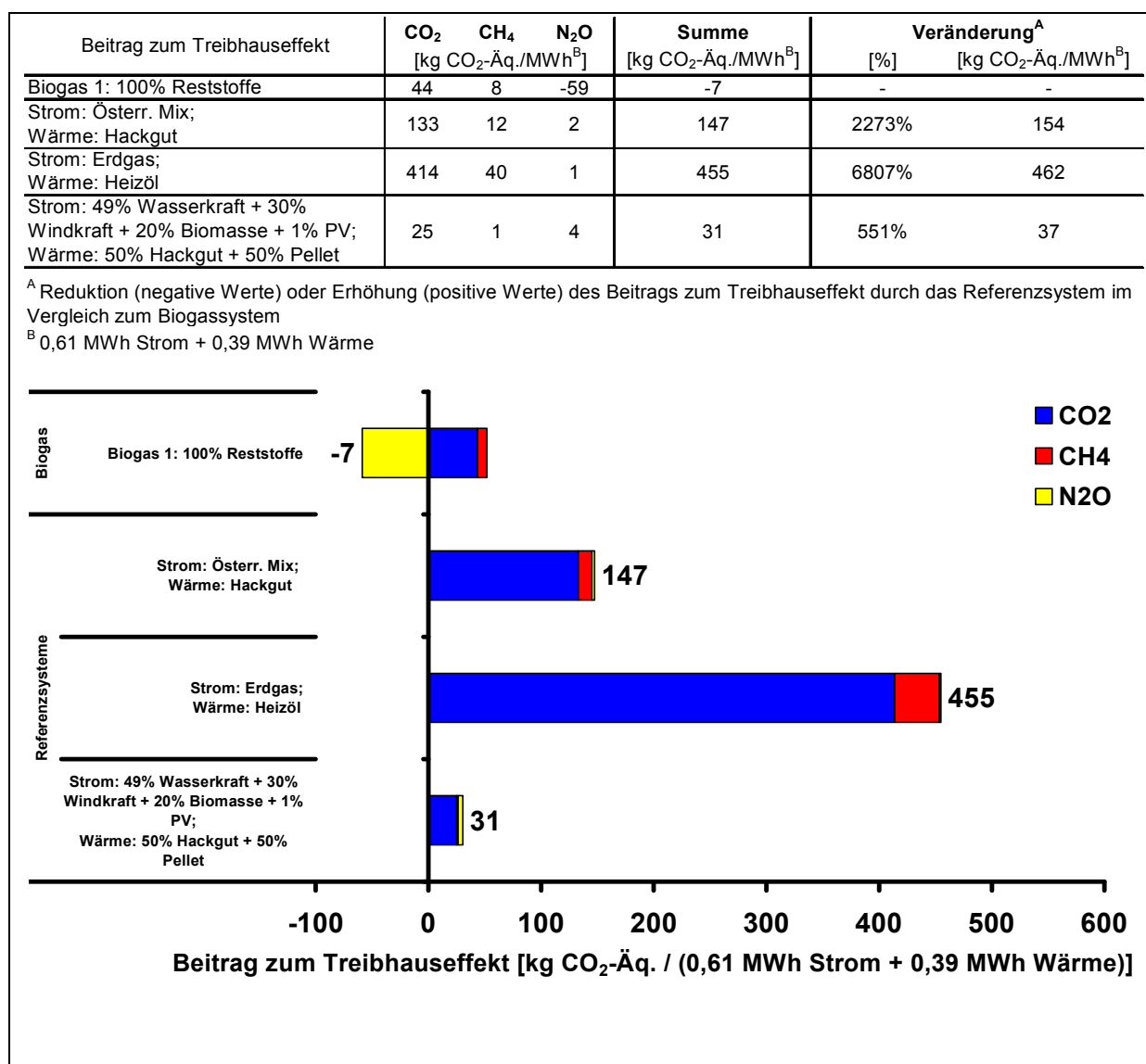


Abbildung 12: Beitrag zum Treibhauseffekt von „Biogas 1: 100% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen

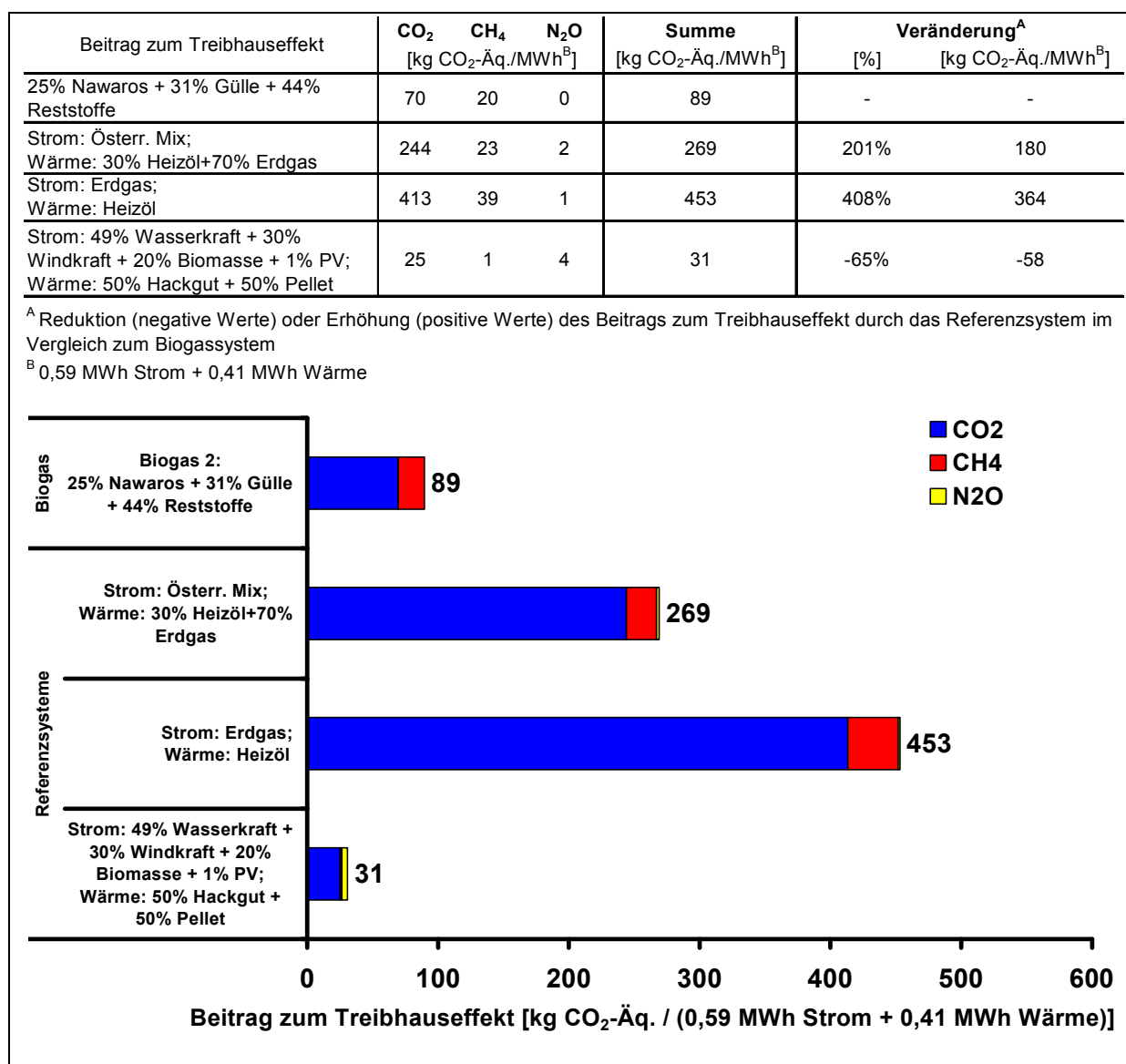


Abbildung 13: Beitrag zum Treibhauseffekt von „Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen

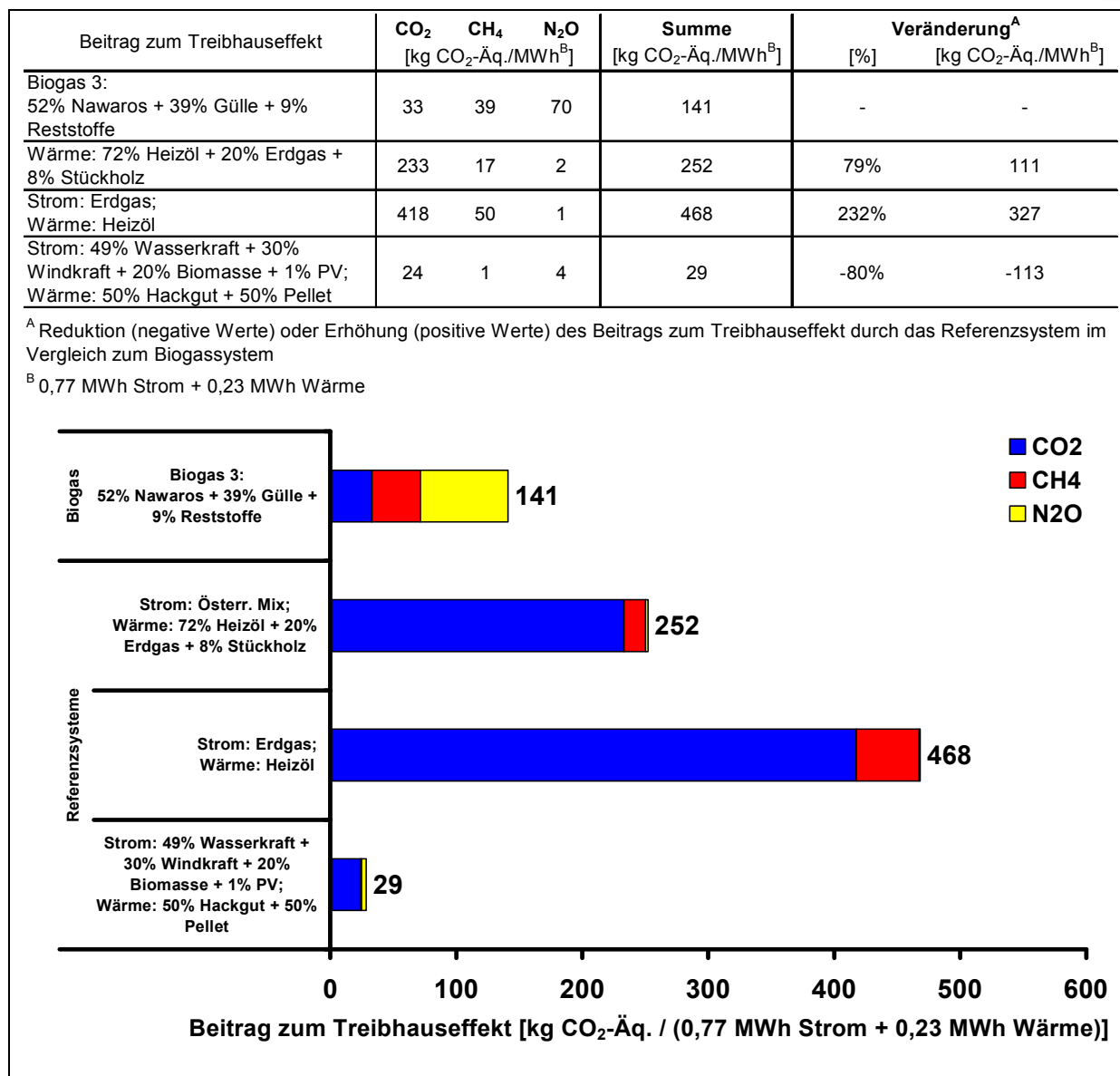


Abbildung 14: Beitrag zum Treibhauseffekt von „Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen

Beitrag zum Treibhauseffekt	CO ₂ [kg CO ₂ -Äq./MWh ^B]	CH ₄	N ₂ O	Summe [kg CO ₂ -Äq./MWh ^B]	Veränderung ^A [%] [kg CO ₂ -Äq./MWh ^B]
Biogas 4: 100% Nawaros	26	49	116	190	-
Strom: Österr. Mix; Wärme: 55% Öl + 40% Stückholz + 5% Strom	215	15	3	233	22% 42
Strom: Erdgas; Wärme: Heizöl	416	46	1	463	143% 273
Strom: 49% Wasserkraft + 30% Windkraft + 20% Biomasse + 1% PV; Wärme: 50% Hackgut + 50% Pellet	24	1	4	29	-85% -161

^A Reduktion (negative Ziffern) oder Erhöhung (positive Ziffern) des Beitrags zum Treibhauseffekt durch das Referenzsystem im Vergleich zum Biogassystem

^B 0,71 MWh Strom + 0,29 MWh Wärme

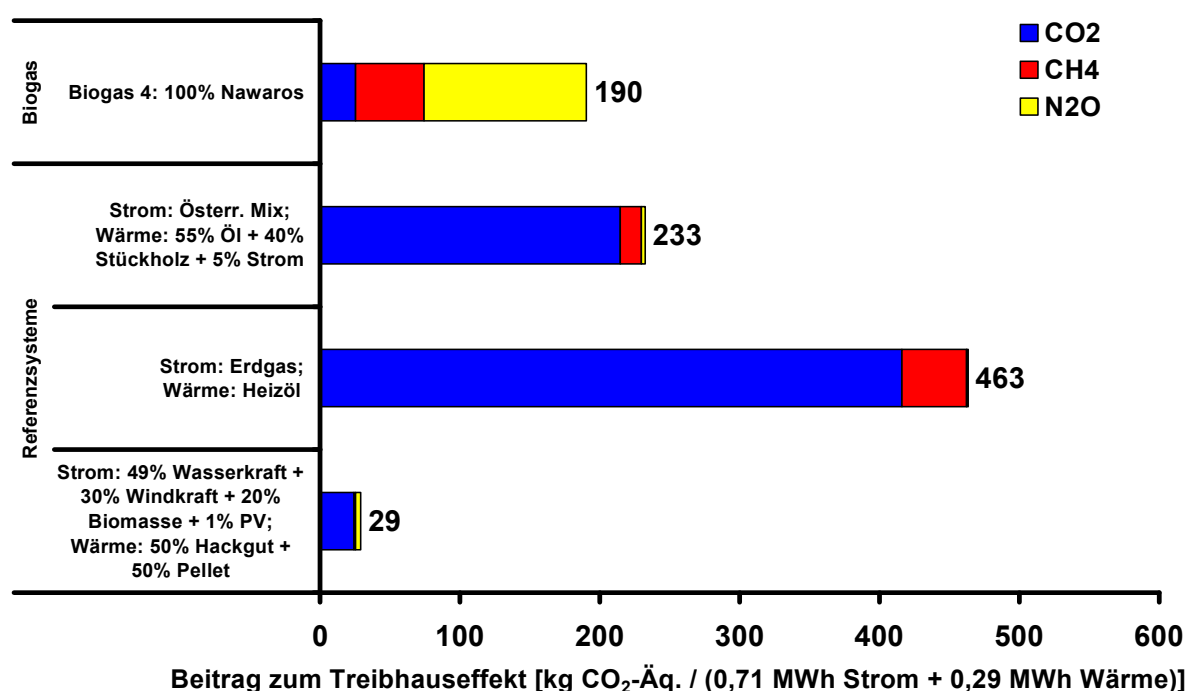


Abbildung 15: Beitrag zum Treibhauseffekt von „Biogas 4: 100% Nawaros“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen

Beitrag zum Treibhauseffekt	CO ₂ [kg CO ₂ -Äq./MWh ^B]	CH ₄	N ₂ O	Summe [kg CO ₂ -Äq./MWh ^B]	Veränderung ^A [%] [kg CO ₂ -Äq./MWh]
Biogas 5: 100% Nawaros	45	10	54	109	-
PKW: 70% Diesel+ 30% Benzin; Wärme: Österr. Mix; Strom: Österr. Mix	280	6	2	288	164%
PKW: Erdgas; Wärme: Heizöl; Strom: Erdgas	282	36	2	320	193%
PKW: 70% Biodiesel+ 30% Bioethanol; Wärme: 50% Hackgut+ 50% Pellet; Strom: Erneuerbarer Mix	101	7	76	184	69%

^A Reduktion (negative Werte) oder Erhöhung (positive Werte) des Beitrags zum Treibhauseffekt durch das Referenzsystem im Vergleich zum Biogassystem

^B 1.148 PKW-km aus 0,85 MWh Biomethan + 0,10 MWh Wärme + 0,05 MWh Strom

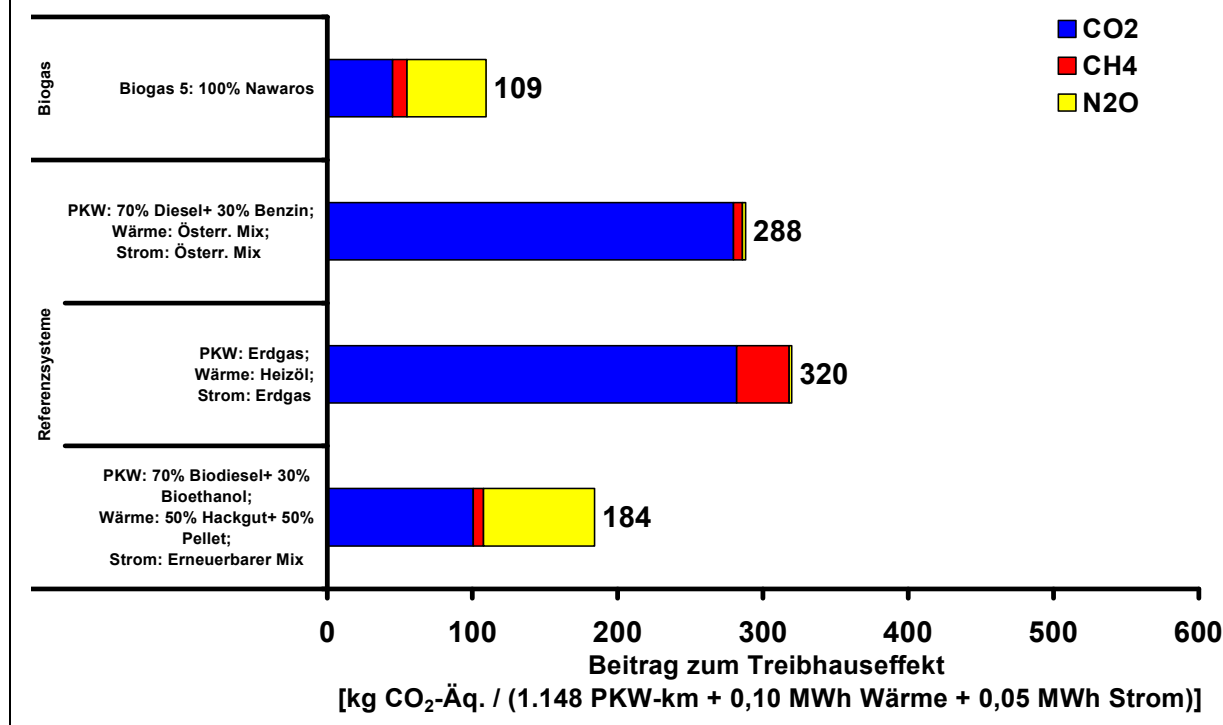


Abbildung 16: Beitrag zum Treibhauseffekt von „Biogas 5: 100% Nawaros“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen

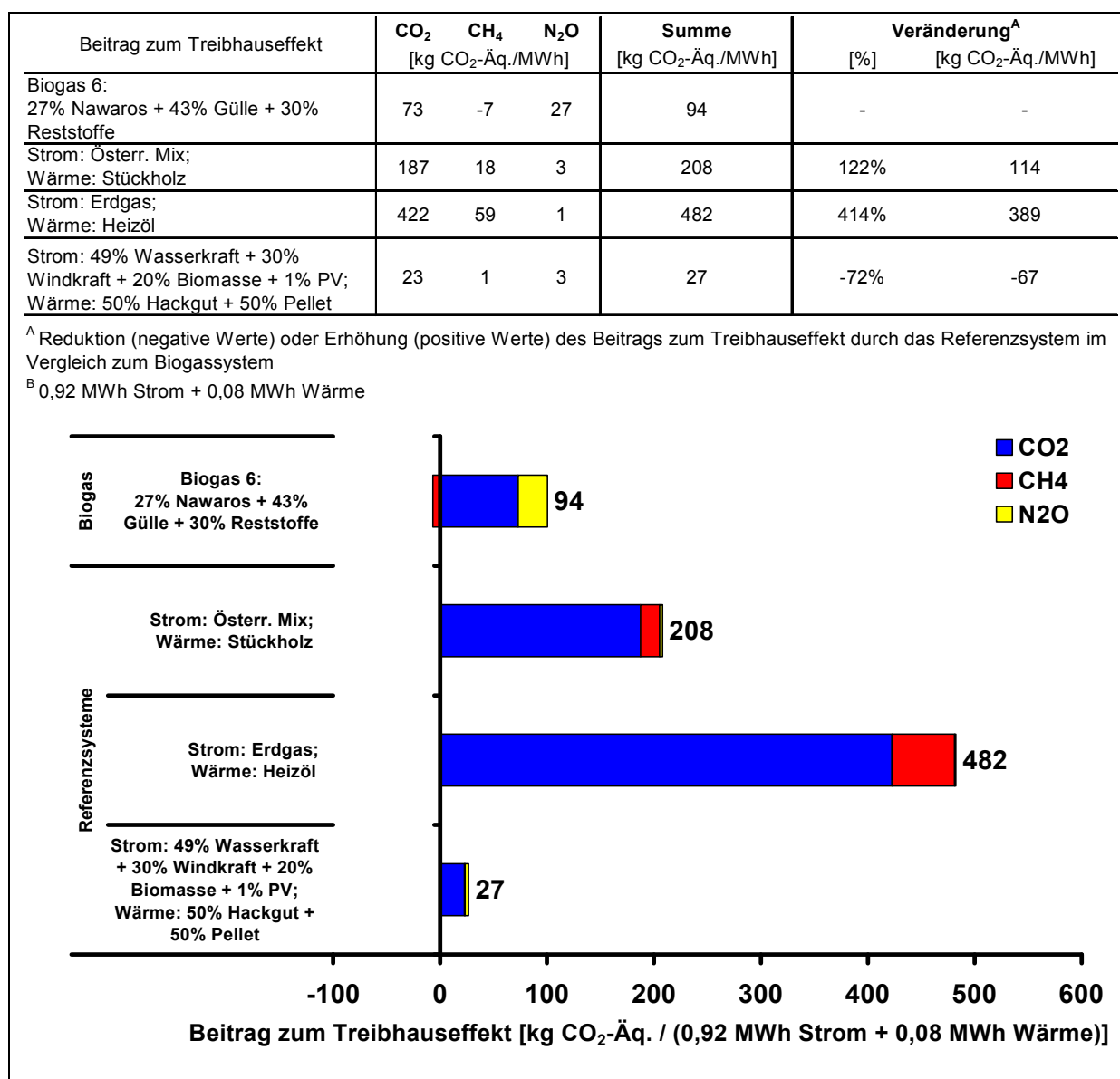


Abbildung 17: Beitrag zum Treibhauseffekt von „Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen

In Abbildung 18 ist der Beitrag zum Treibhauseffekts für das System „Biogas 4: 100% Nawaros“ für einzelne Prozessschritte dargestellt. Der größte Anteil der Treibhausgas-Emissionen entsteht beim Anbau und der Ernte der Nawaros. Die CO₂-Emissionen stammen vor allem aus dem Treibstoffverbrauch der landwirtschaftlichen Maschinen. Die N₂O-Emissionen entstehen bei der Aufbringung von Gärresten als Dünger. Die CH₄- und N₂O-Emissionen im Prozessschritt Biogasanlagen stammen aus der Lagerung der Gärreste. Weitere CH₄-Emissionen treten durch den CH₄-Schlupf im BHKW auf. Der Transport der Nawaros zur Biogasanlage und das Strom- und Wärmenetz machen nur einen sehr kleinen Anteil der gesamten Treibhausgas-Emissionen aus.

Da jedes System ein anderes Verhältnis an Strom zu Wärme-Erzeugung aufweist, ist ein direkter Vergleich der Systeme untereinander nicht möglich. In Abbildung 19 wird der Beitrag zum Treibhauseffekt für verschiedene Anteile der Nutzung der anfallenden Wärme bezogen auf 1 MWh Endenergie dargestellt.

Abbildung 19 zeigt, dass bei den untersuchten Biogassystemen der Beitrag zum Treibhauseffekt mit höherer Wärmenutzung sinkt. Die Treibhausgas-Emissionen sind am geringsten, wenn die im BHKW erzeugte Wärme vollständig genützt werden kann. Zur Ermittlung des Punktes der maximalen Wärmenutzung wurde ein BHKW mit einem Nutzungsgrad von 39% elektrisch und 46% thermisch angenommen. Beim Vergleich der Biogassysteme untereinander, weist das System „Biogas 1: 100% Reststoffe“ den niedrigsten und das System „Biogas 4: 100% Nawaros“ den höchsten Beitrag zum Treibhauseffekt auf.

Das System „Biogas 5: 100% Nawaros“ kann nicht dargestellt werden, da in diesem System das Biogas zu Biomethan aufbereitet wird. Da hier eine Transportdienstleistung bereitgestellt wird, ist ein Vergleich mit Systemen, in denen das Biogas direkt in einem BHKW zur Strom- und Wärmeerzeugung genützt wird, nicht zweckmäßig.

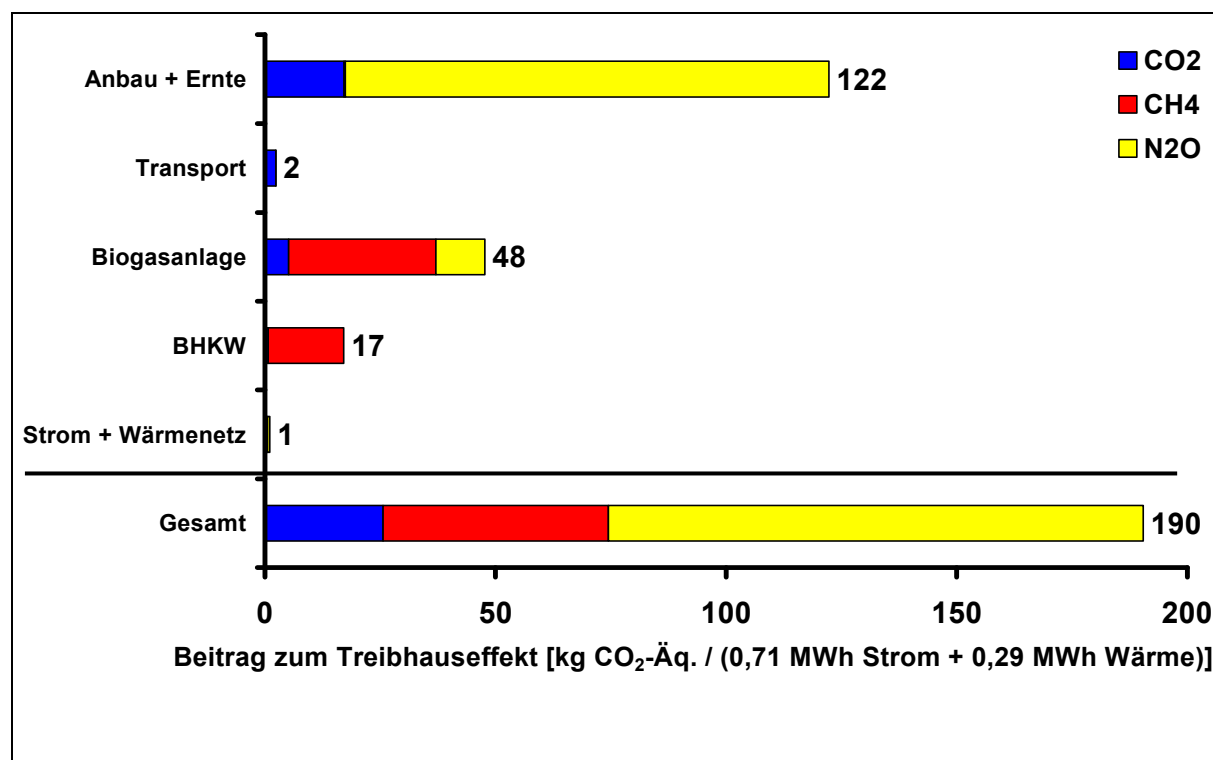


Abbildung 18: Beitrag zum Treibhauseffekt von „Biogas 4: 100% Nawaros“ der einzelnen Prozessschritte

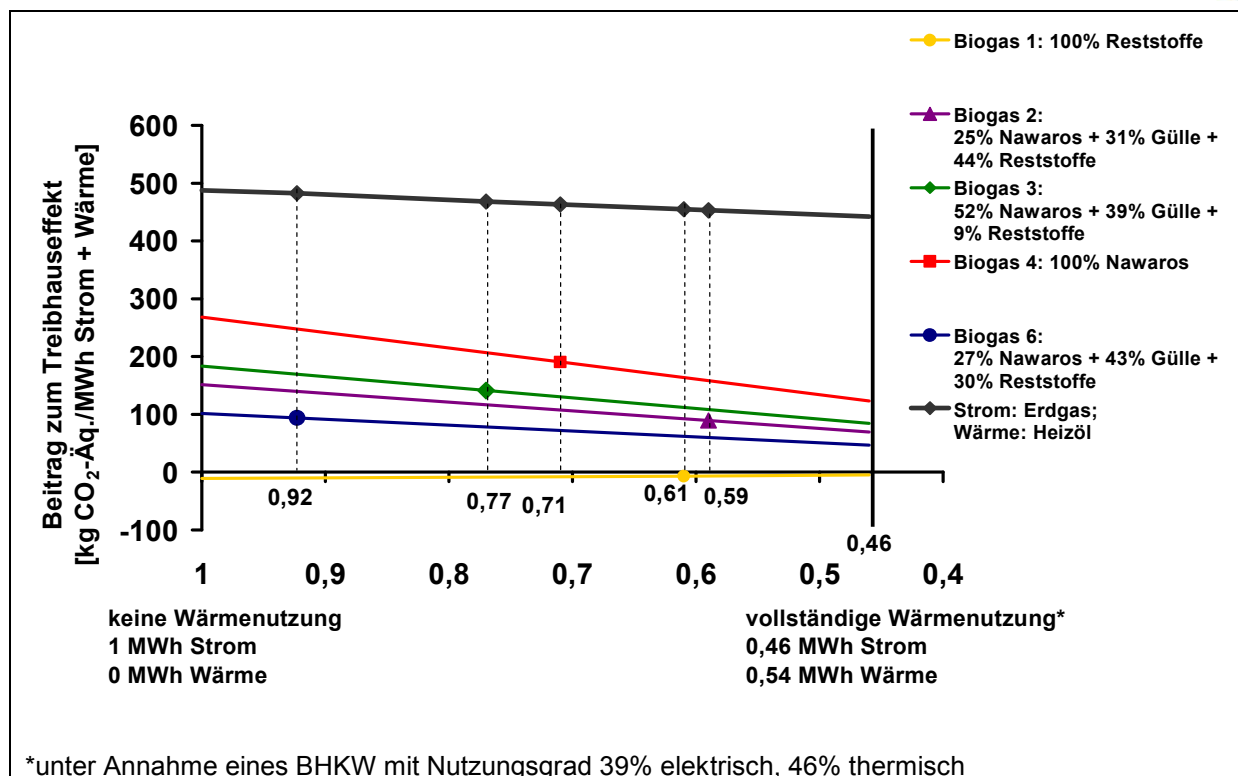


Abbildung 19: Vergleich des Beitrags zum Treibhauseffekt von 5 Biogassystemen in Abhängigkeit der Wärmenutzung

4.1.2. Beitrag zur Versauerung

In **Abbildung 20** bis **Abbildung 25** ist der Beitrag zur Versauerung für die sechs untersuchten Biogassysteme und drei Referenzsysteme dargestellt.

Die Diagramme zeigen den Beitrag zur Versauerung aufgeteilt in die Emissionen Schwefeldioxid (SO₂), Stickoxide (NO_x) und Ammoniak (NH₃) gewichtet in SO₂-Äquivalent.

Die Biogassysteme „Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe“, „Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe“, „Biogas 4: 100% Nawaros“, „Biogas 5: 100% Nawaros“ und „Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe“ weisen signifikant höhere NH₃-Emissionen auf als die Referenzsysteme. Bei der Biogasproduktion steigt der pH-Wert im Vergleich zu unvergorener Gülle oder Kompost, was die Ammoniakkonzentration im Gärrest bei gleichem Ammoniumgehalt bis zu verzehnfachen kann. Diese NH₃-Emissionen entstehen hauptsächlich bei der Ausbringung der Gärreste und ein kleiner Anteil bei der Gärrestlagerung. Auch beim System „Biogas 1: 100% Reststoffe“ fallen diese NH₃-Emissionen an. Die vermiedenen NH₃-Emissionen aus der Referenznutzung (Kompostierung bzw. Lagerung und direkte Gülleausbringung) sind in diesem Fall jedoch höher als bei den anderen Systemen auf Grund des reinen Einsatzes von Reststoffen.

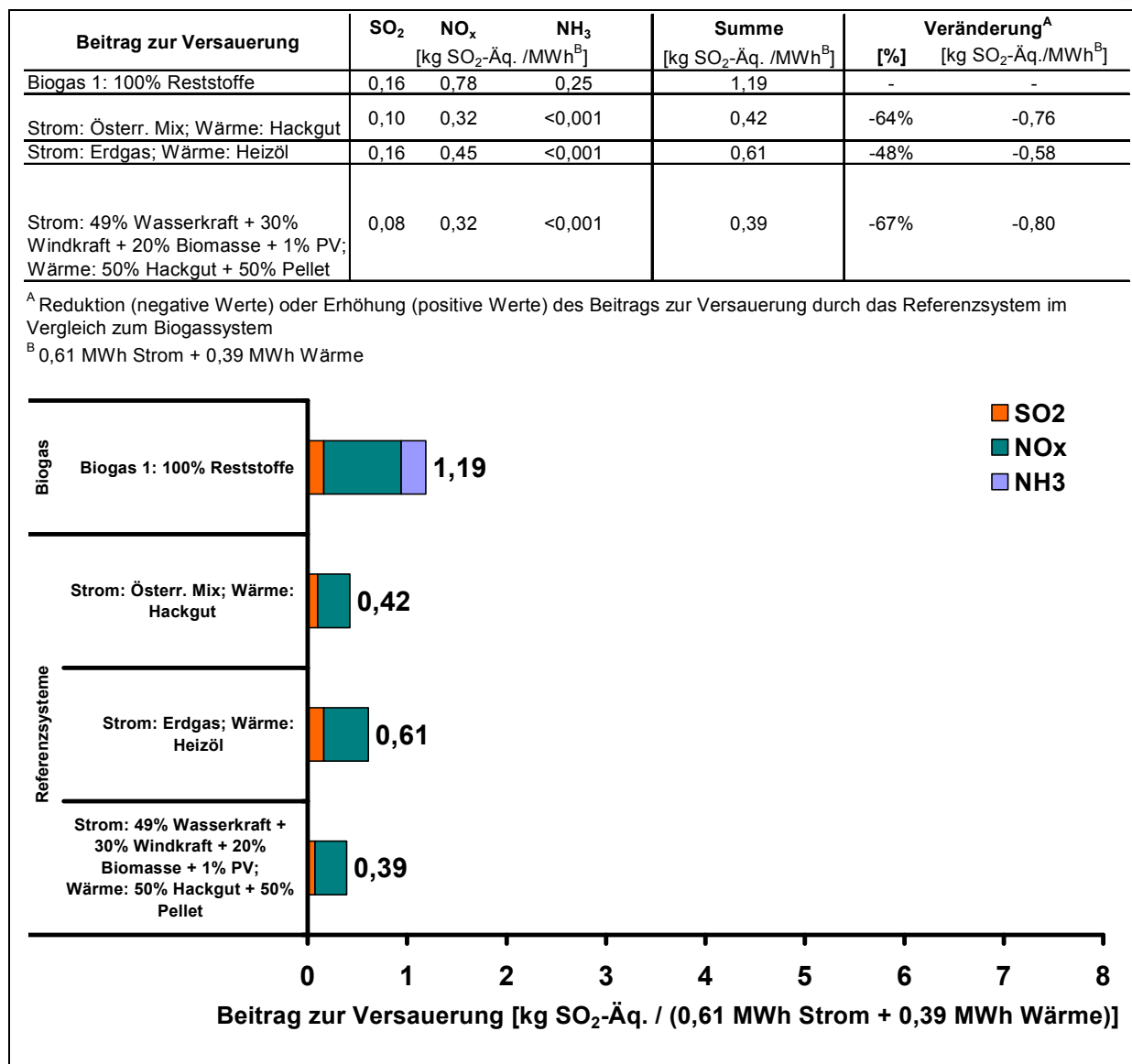


Abbildung 20: Beitrag zur Versauerung von „Biogas 1: 100% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen

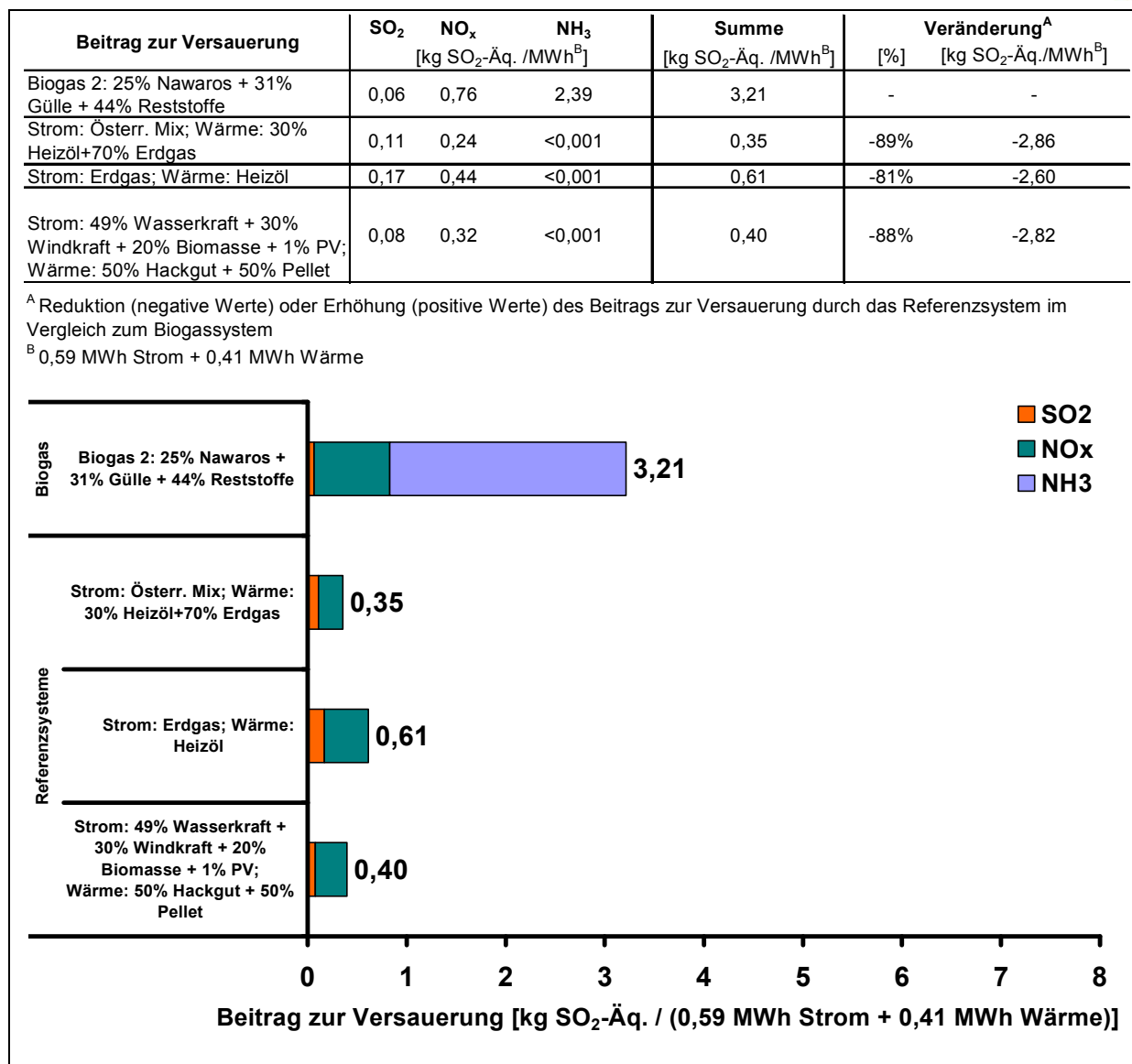


Abbildung 21: Beitrag zur Versauerung von „Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen

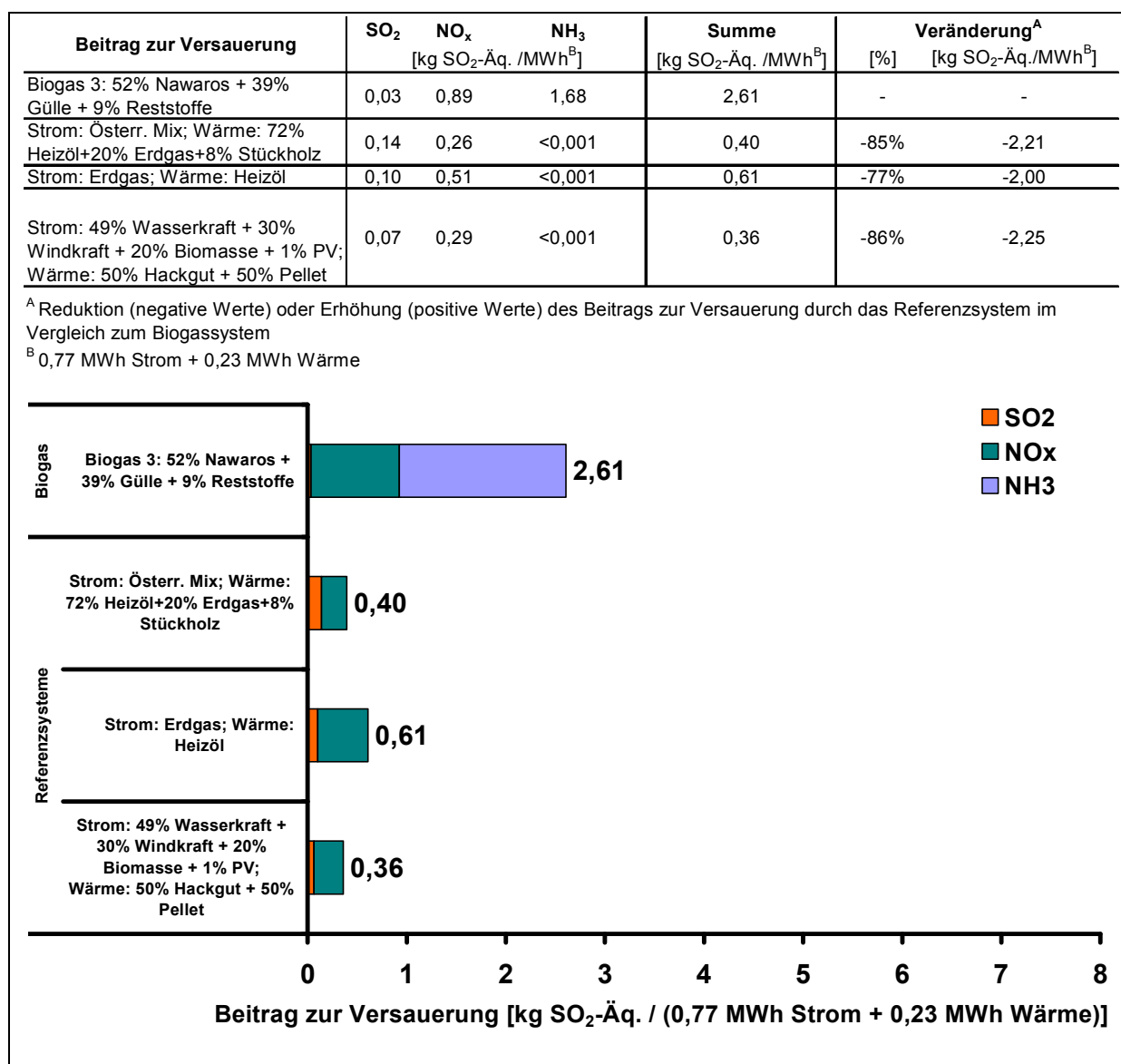


Abbildung 22: Beitrag zur Versauerung von „Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen

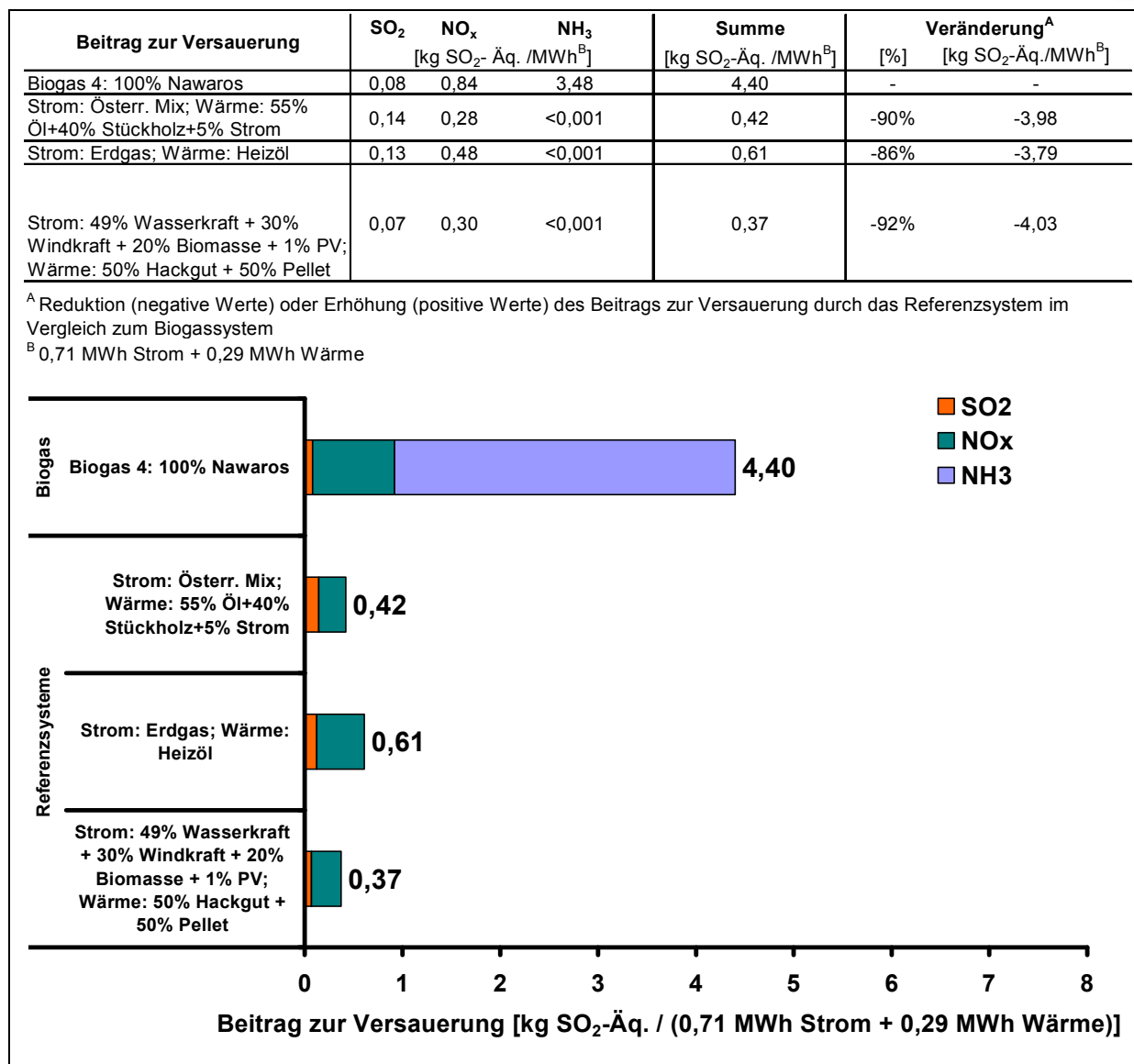


Abbildung 23: Beitrag zur Versauerung von „Biogas 4: 100% Nawaros“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen

Beitrag zur Versauerung	SO ₂ [kg SO ₂ -Äq. /MWh ^B]	NO _x [kg SO ₂ -Äq. /MWh ^B]	NH ₃ [kg SO ₂ -Äq. /MWh ^B]	Summe [kg SO ₂ -Äq. /MWh ^B]	Veränderung ^A [%] [kg SO ₂ -Äq./MWh ^B]
Biogas 5: 100% Nawaros	0,07	0,30	4,90	5,26	-
PKW: 70% Diesel+ 30% Benzin; Wärme: Österr. Mix; Strom: Österr. Mix	0,24	0,50	<0,001	0,74	-86%
PKW: Erdgas; Wärme: Heizöl; Strom: Erdgas	0,12	0,24	<0,001	0,35	-93%
PKW: 70% Biodiesel+ 30% Bioethanol; Wärme: 50% Hackgut+ 50% Pellet; Strom: Erneuerbarer Mix	0,21	0,62	0,06	0,90	-83%

^A Reduktion (negative Werte) oder Erhöhung (positive Werte) des Beitrags zur Versauerung durch das Referenzsystem im Vergleich zum Biogassystem

^B 1.148 PKW-km aus 0,85 MWh Biomethan + 0,10 MWh Wärme + 0,05 MWh Strom

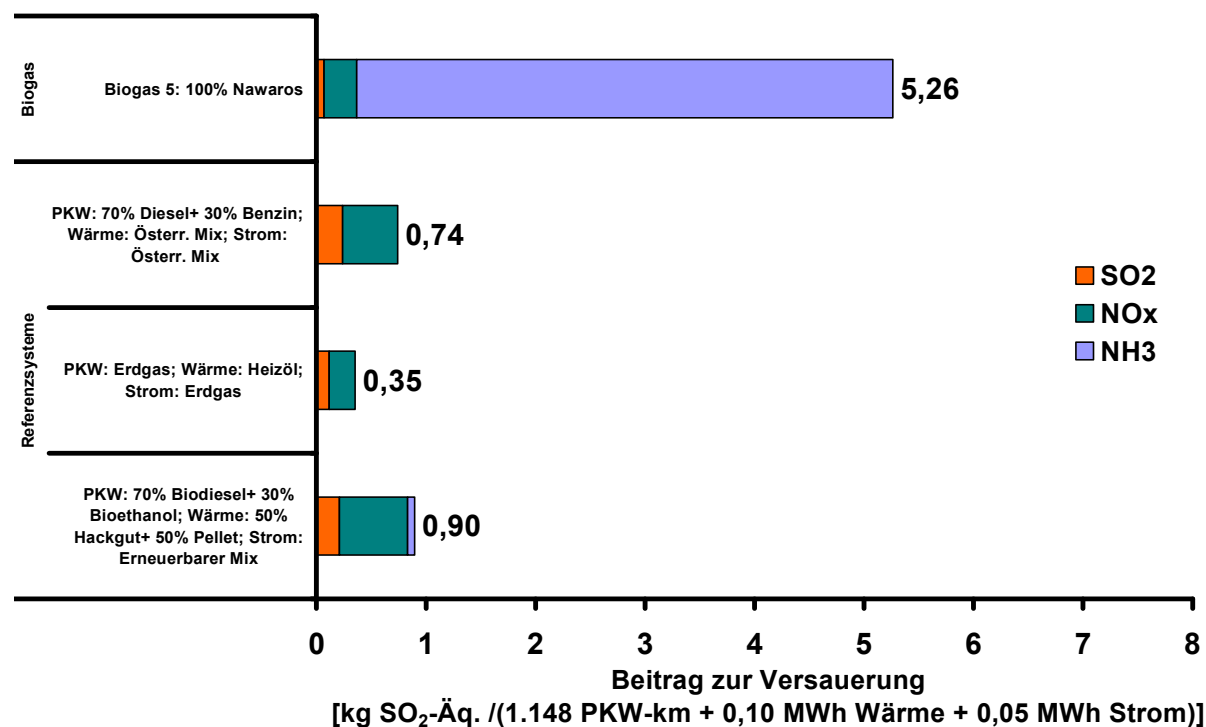


Abbildung 24: Beitrag zur Versauerung von „Biogas 5: 100% Nawaros“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen

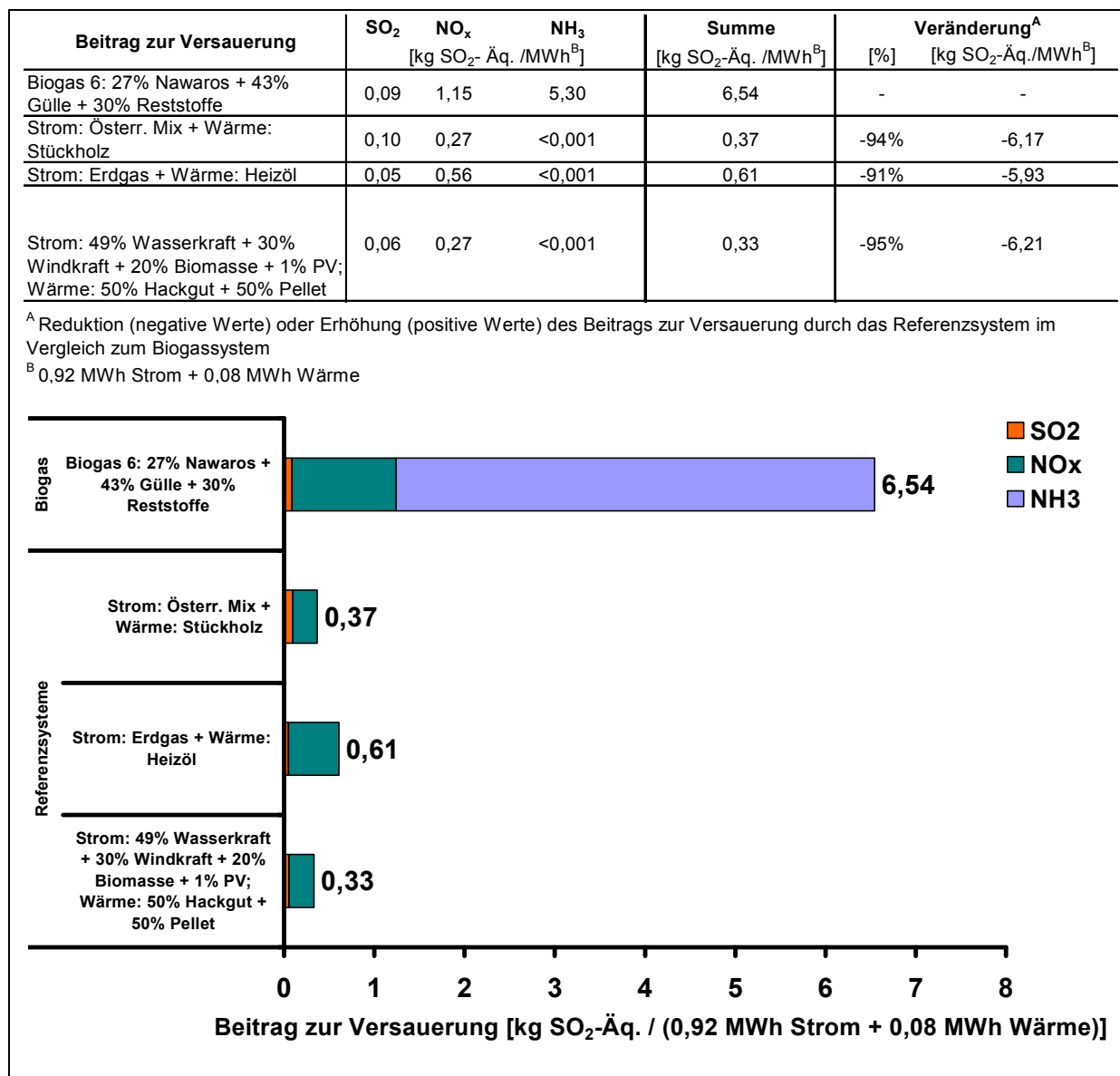


Abbildung 25: Beitrag zur Versauerung von „Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe“

In Abbildung 26 ist der Beitrag zur Versauerung für das System „Biogas 4: 100% Nawaros“ für einzelne Prozessschritte dargestellt. Die NH₃-Emissionen, die ca. 80% des gesamten Beitrags zur Versauerung ausmachen treten beim Anbau der Rohstoffe („Anbau+Ernte Nawaros“) und der Gärrestlagerung („Biogasanlage“) auf. Anbau und Ernte der Rohstoffe machen die Hälfte des gesamten und die Biogaserzeugung ca. ein Drittel des Beitrags zur Versauerung aus. Der größte Anteil an NO_x-Emission tritt bei der Biogasnutzung im BHKW auf.

Da jedes System ein anderes Verhältnis an Strom zu Wärme-Erzeugung aufweist, ist ein direkter Vergleich der Systeme untereinander nicht möglich. In Abbildung 27 wird der Beitrag zur Versauerung für verschiedene Anteile der Wärmenutzung bezogen auf 1 MWh Endenergie dargestellt. Abbildung 27 zeigt, dass bei den untersuchten Biogassystemen der Beitrag zur Versauerung mit höherer Wärmenutzung sinkt. Der

Beitrag zur Versauerung ist am geringsten, wenn die im BHKW erzeugte Wärme vollständig genützt werden kann.

Beim Vergleich der Biogassysteme untereinander ist das System „Biogas 1: 100% Reststoffe“ am günstigsten und das System „Biogas 6: 27% Nawaros+ 43% Gülle + 30% Reststoffe“ am ungünstigsten.

Das System „Biogas 5: 100% Nawaros“ ist nicht dargestellt, da in diesem System das Biogas zu Biomethan aufbereitet wird. Da hier ein Transportdienstleistung bereitgestellt wird, ist ein Vergleich mit Systemen, in denen das Biogas direkt in einem BHKW zur Strom- und Wärmeerzeugung genützt wird, nicht sinnvoll.

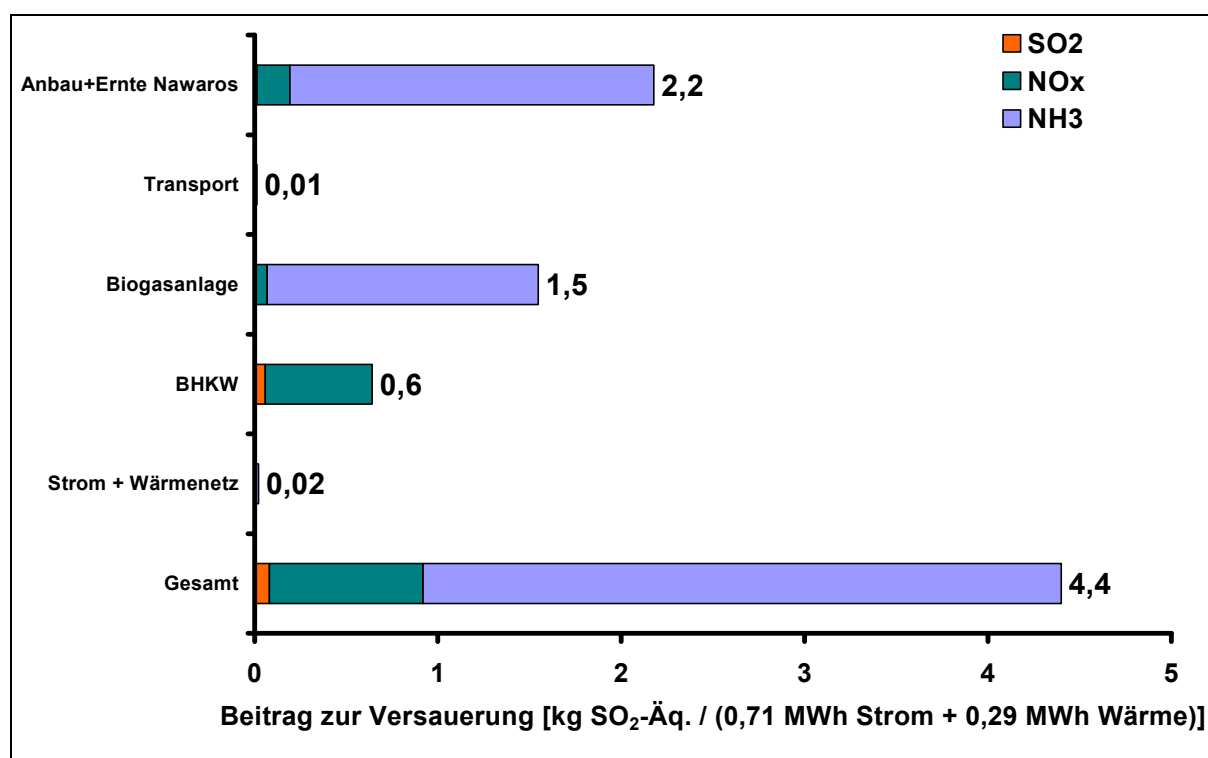


Abbildung 26: Beitrag zur Versauerung von „Biogas 4: 100% Nawaros“ aufgeteilt in einzelne Prozessschritte

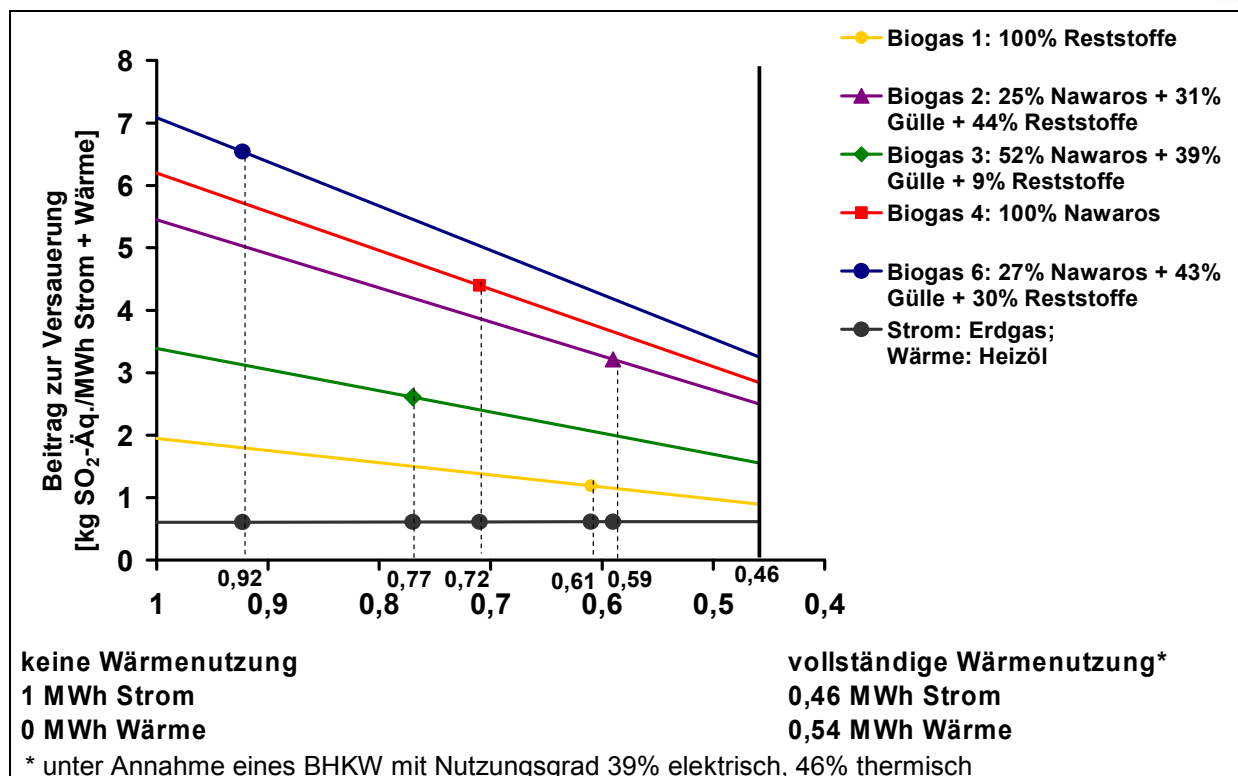


Abbildung 27: Vergleich des Beitrags zur Versauerung von 5 Biogassystemen in Abhängigkeit der Wärmenutzung

4.1.3. Beitrag zur bodennahen Ozonbildung

In Abbildung 28 bis Abbildung 33 ist der Beitrag zur bodennahen Ozonbildung für die sechs untersuchten Biogassysteme und drei Referenzsysteme dargestellt.

Die Diagramme zeigen den Beitrag zur bodennahen Ozonbildung aufgeteilt in die Emissionen Kohlenmonoxid (CO), Methan (CH₄), Stickoxide (NO_x) und Nicht-Methan Kohlenwasserstoffe (NMVOC) gewichtet in C₂H₄-Äquivalent.

Im Vergleich zu den Biogassystemen die Strom und Wärme bereitstellen (Biogas 1, Biogas 2, Biogas 3, Biogas 4, Biogas 6) weisen die fossilen Referenzsysteme „Strom: Erdgas; Wärme: Heizöl“ eine Reduktion des Beitrags zur bodennahen Ozonbildung zwischen 44% und 53% auf. Die erneuerbaren Referenzsysteme „Strom: Erneuerbarer Mix; Wärme: 50% Hackgut + 50% Pellet“ reduzieren den Beitrag zur bodennahen Ozonbildung zwischen 60% und 78%.

Im Vergleich zum System „Biogas 5: 100% Nawaros“, in dem Biomethan erzeugt und als Treibstoff für einen PKW eingesetzt wird, weisen die Referenzsysteme mit Diesel- und Benzin-PKW bzw. Biodiesel und Bioethanol-PKW einen höheren Beitrag zur bodennahen Ozonbildung auf als das Biogassystem. Das System mit Erdgas-PKW zeigt etwa gleich hohe Emissionen mit Beitrag zur bodennahen Ozonbildung.

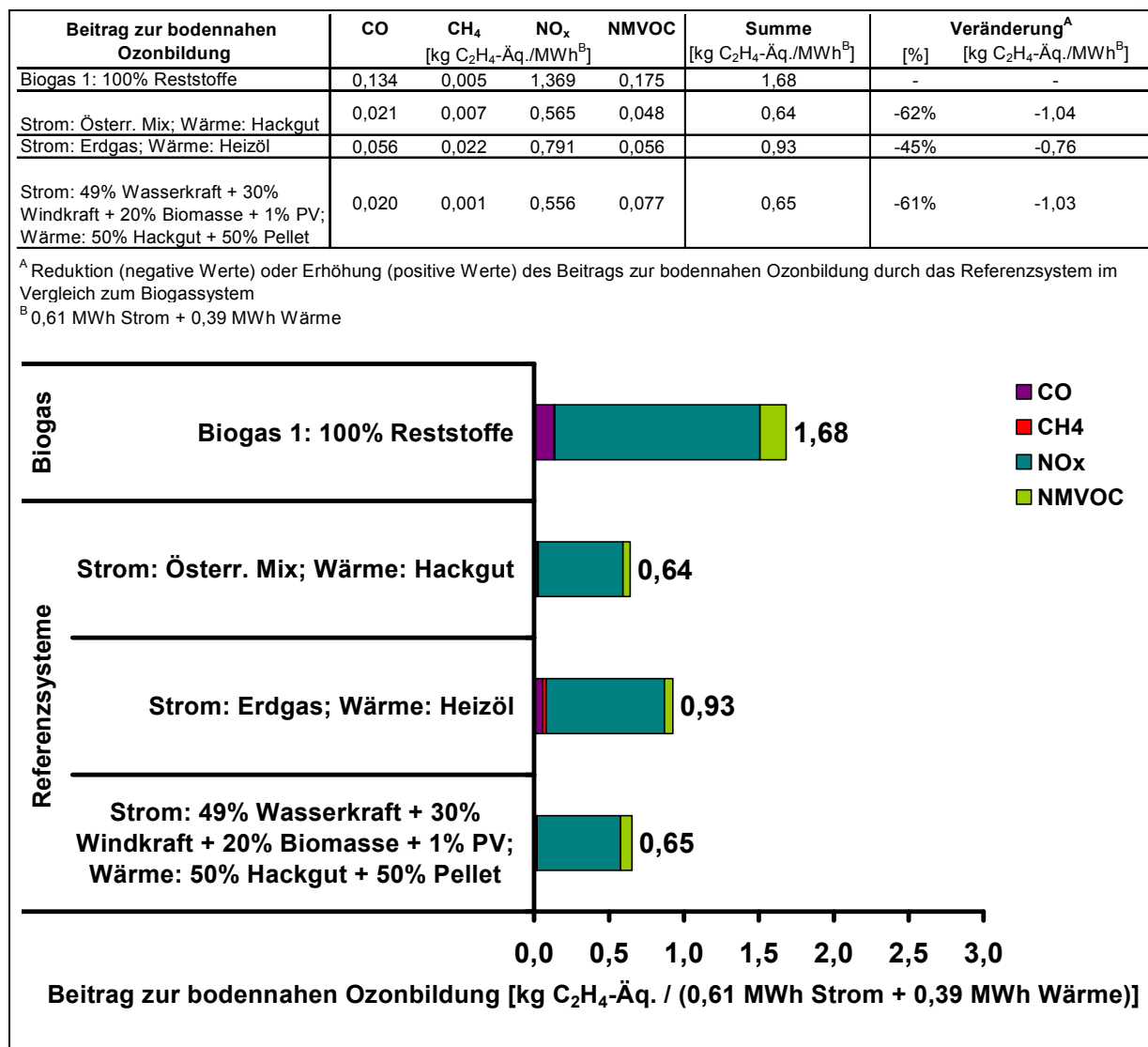


Abbildung 28: Beitrag zur bodennahen Ozonbildung von „Biogas 1: 100% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen

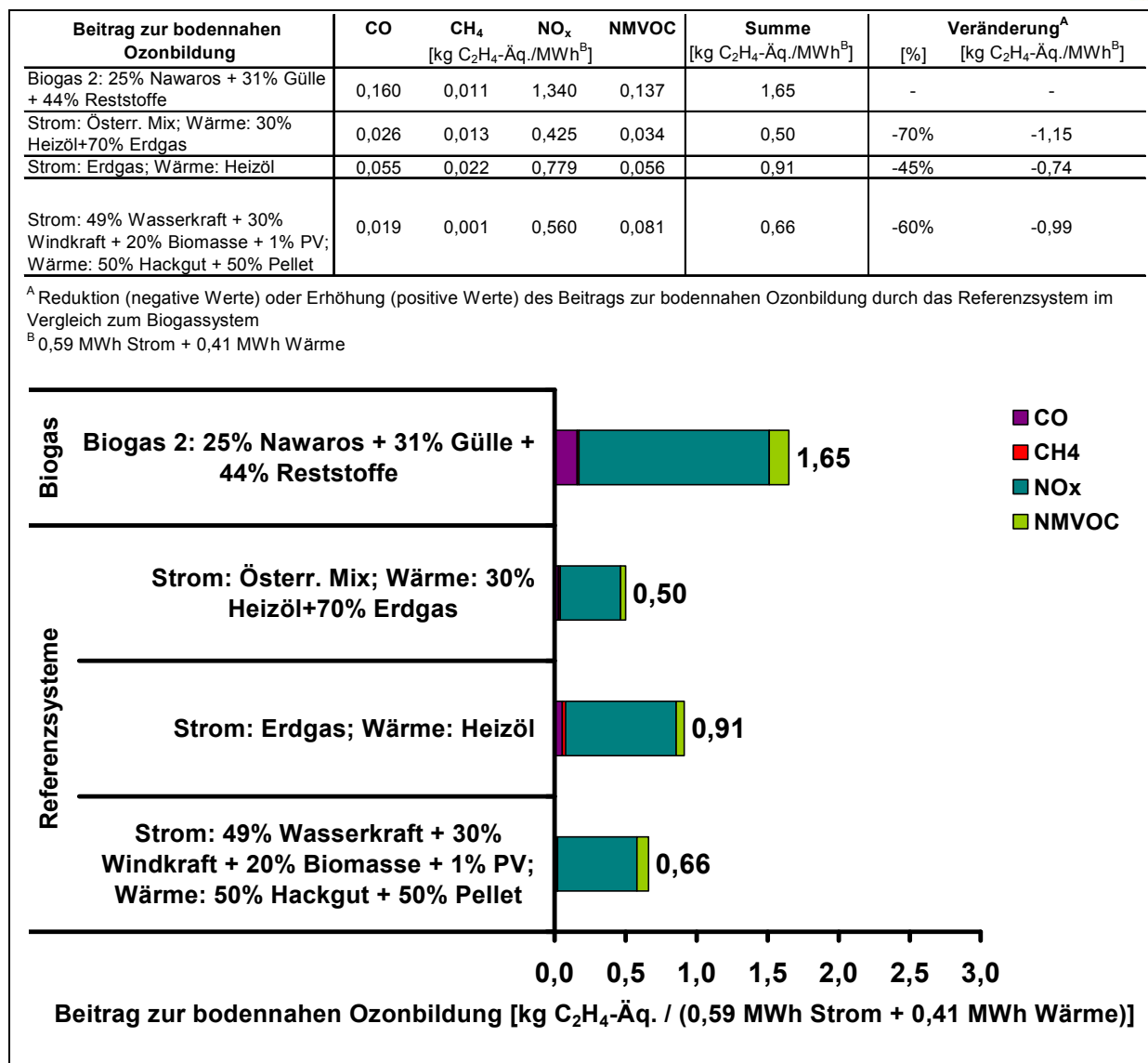


Abbildung 29: Beitrag zur bodennahen Ozonbildung von „Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen

Beitrag zur bodennahen Ozonbildung	CO	CH ₄ [kg C ₂ H ₄ -Äq./MWh ^B]	NO _x	NM VOC	Summe [kg C ₂ H ₄ -Äq./MWh ^B]	Veränderung ^A [%] [kg C ₂ H ₄ -Äq./MWh ^B]
Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe	0,135	0,022	1,564	0,149	1,87	-
Strom: Österr. Mix; Wärme: 72% Heizöl+20% Erdgas+8% Stückholz	0,034	0,010	0,569	0,135	0,75	-60%
Strom: Erdgas; Wärme: Heizöl	0,067	0,028	0,886	0,053	1,03	-45%
Strom: 49% Wasserkraft + 30% Windkraft + 20% Biomasse + 1% PV; Wärme: 50% Hackgut + 50% Pellet	0,023	0,001	0,517	0,047	0,59	-69%

^A Reduktion (negative Werte) oder Erhöhung (positive Werte) des Beitrags zur bodennahen Ozonbildung durch das Referenzsystem im Vergleich zum Biogassystem

^B 0,77 MWh Strom + 0,23 MWh Wärme

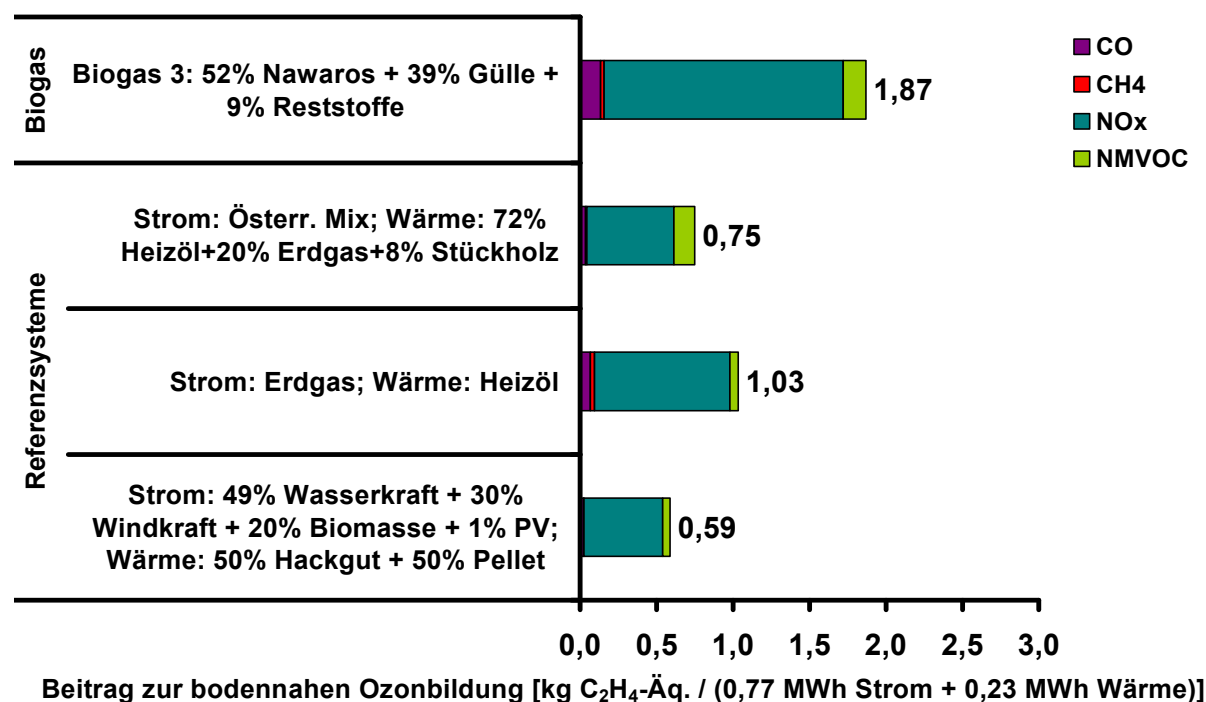


Abbildung 30: Beitrag zur bodennahen Ozonbildung von „Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen

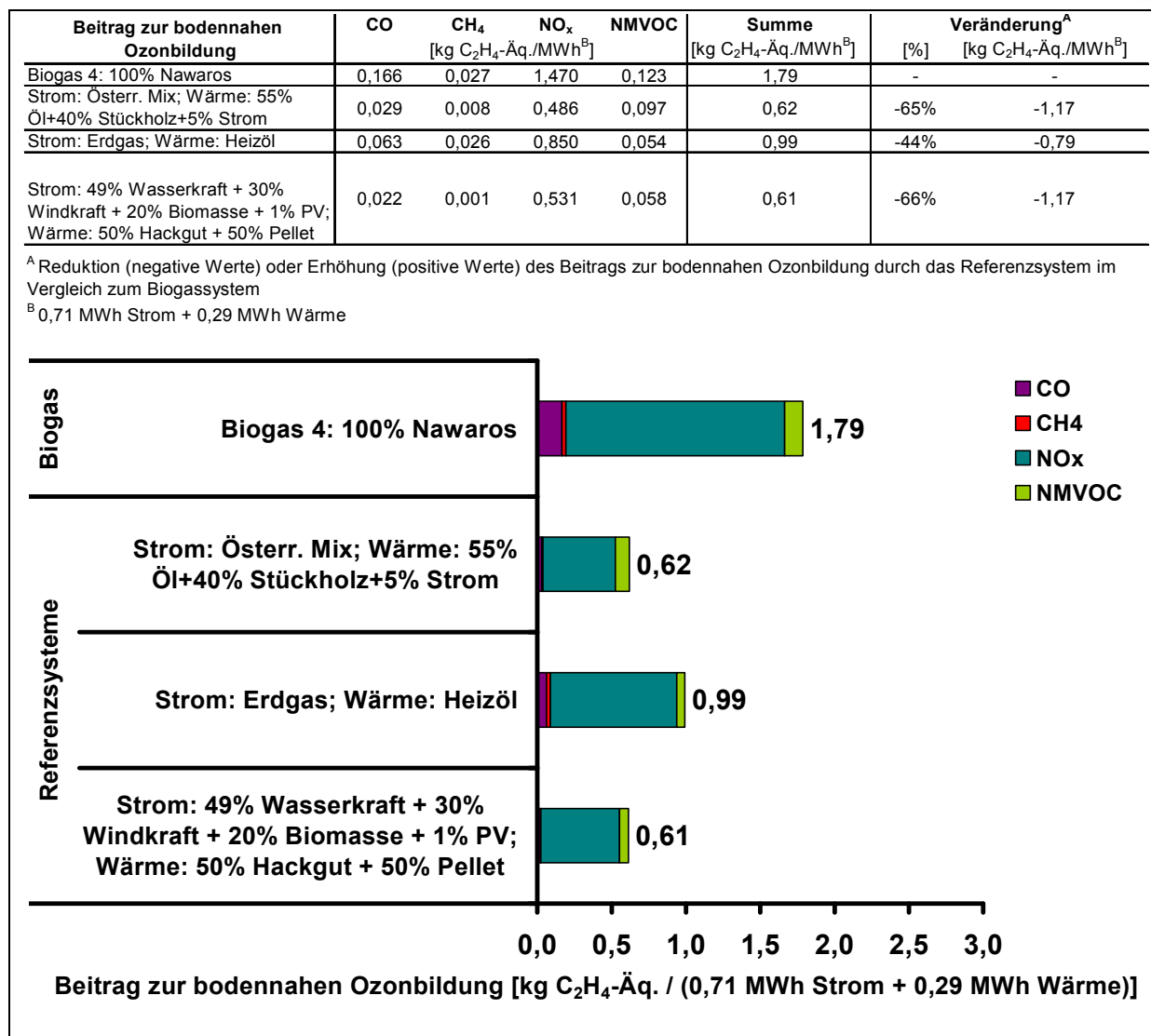


Abbildung 31: Beitrag zur bodennahen Ozonbildung von „Biogas 4: 100% Nawaros“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen

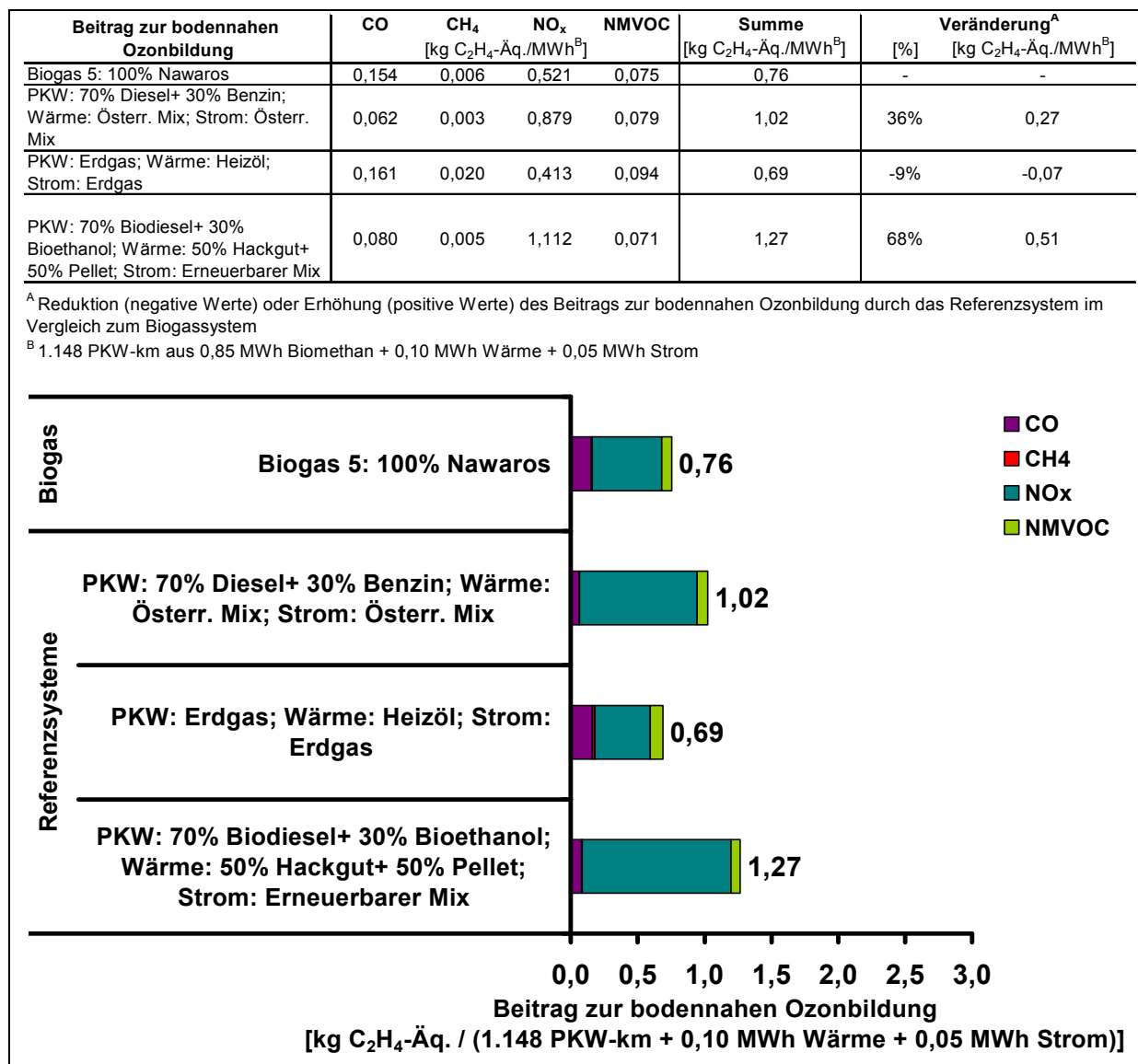


Abbildung 32: Beitrag zur bodennahen Ozonbildung von „Biogas 5: 100% Nawaros“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen

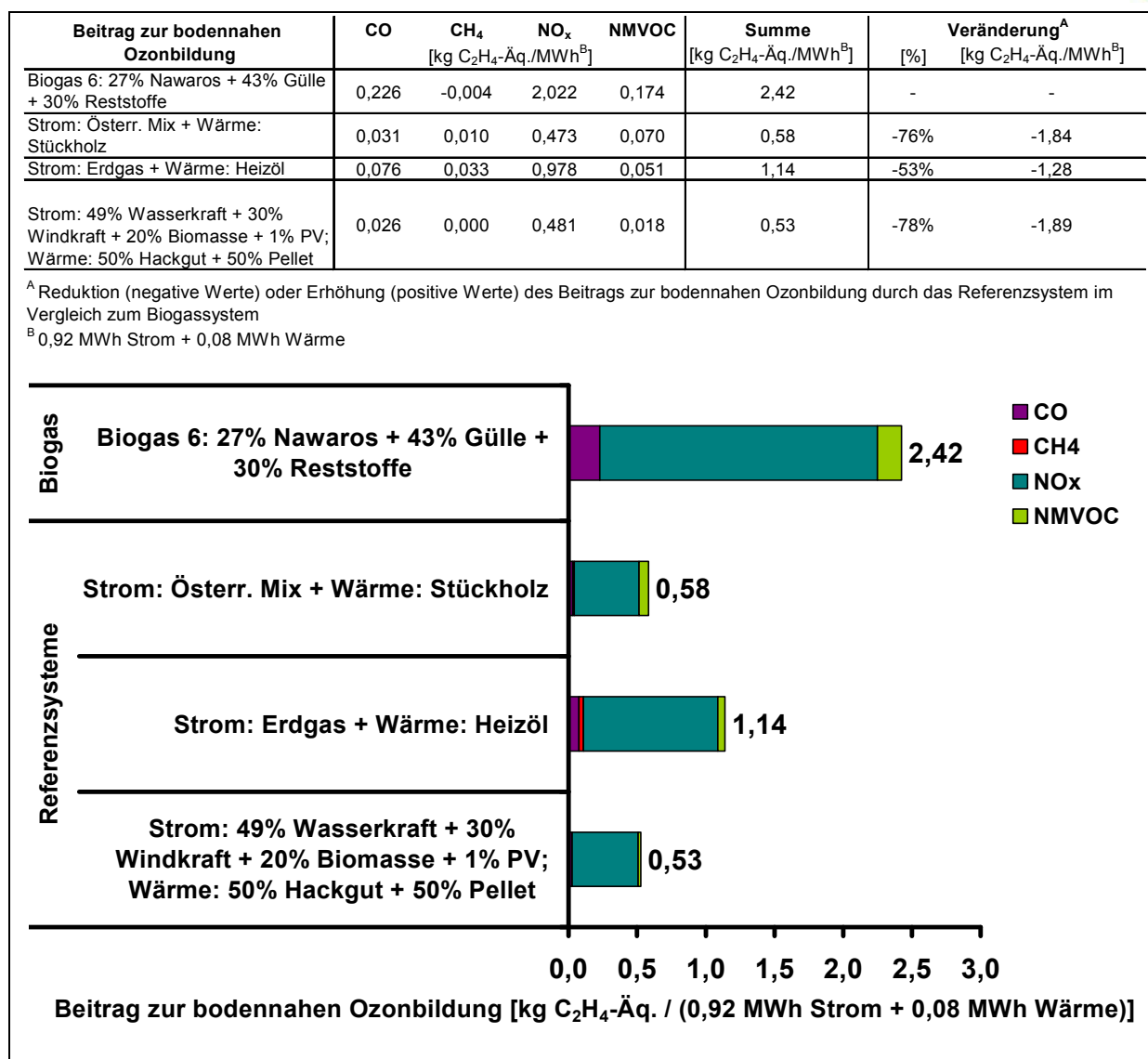


Abbildung 33: Beitrag zur bodennahen Ozonbildung von „Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe“

Da jedes System ein anderes Verhältnis an Strom zu Wärme-Erzeugung aufweist, ist ein direkter Vergleich der Systeme untereinander nicht möglich. In **Abbildung 34** wird der Beitrag zur bodennahen Ozonbildung für verschiedene Anteile der Wärmenutzung bezogen auf 1 MWh Endenergie dargestellt.

Abbildung 34 zeigt, dass bei den untersuchten Biogassystemen der Beitrag zur bodennahen Ozonbildung mit höherer Wärmenutzung sinkt. Der Beitrag zur bodennahen Ozonbildung ist am geringsten, wenn die im BHKW erzeugte Wärme vollständig genützt werden kann. Beim Vergleich der Biogassysteme untereinander liegen alle dargestellten Biogassysteme in einem ähnlichen Bereich.

Das System „Biogas 5: 100% Nawaros“ ist nicht dargestellt, da in diesem System das Biogas zu Biomethan aufbereitet wird. Da hier eine Transportdienstleistung bereitgestellt wird, ist ein Vergleich mit Systemen, in denen das Biogas direkt in einem BHKW zur Strom- und Wärmeerzeugung genützt wird, nicht sinnvoll.

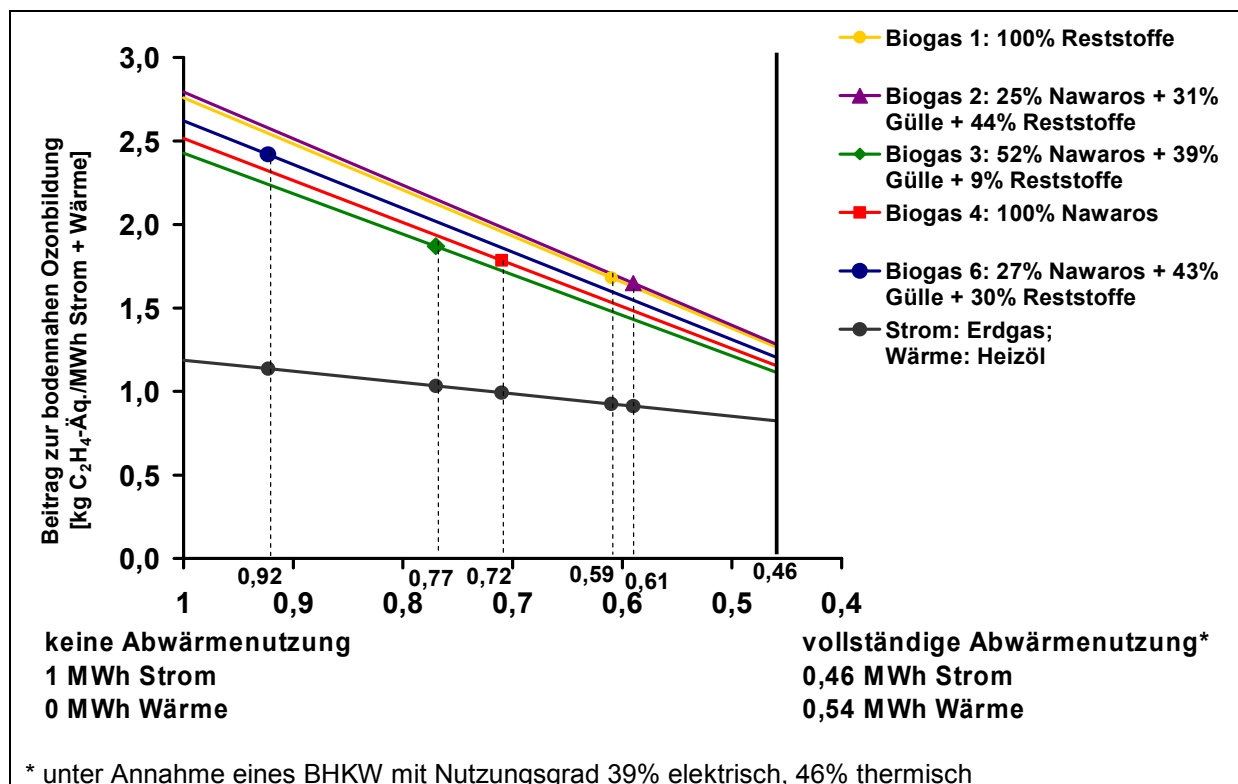


Abbildung 34: Beitrag zur bodennahen Ozonbildung von 5 Biogassystemen in Abhängigkeit der Wärmenutzung

4.1.4. Staub-Emissionen

In Abbildung 35 bis Abbildung 40 sind die Staub-Emissionen für die sechs untersuchten Biogassysteme und drei Referenzsystemen dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass beim Einsatz von Hackgut oder Pellet die Staub-Emissionen deutlich erhöhen sind im Vergleich zu den untersuchten Biogassystemen. Die fossilen Referenzsysteme „Strom: Erdgas; Wärme: Heizöl“ haben ca. halb so hohe Staub-Emissionen wie die untersuchten Biogassysteme.

Staub-Emissionen	Summe [g/MWh]	Veränderung ^A	
		[%]	[g/MWh ^B]
Biogas 1: 100% Reststoffe	43	-	-
Strom: Österr. Mix; Wärme: Hackgut	866	1894%	823
Strom: Erdgas; Wärme: Heizöl	19	-57%	-25
Strom: 49% Wasserkraft + 30% Windkraft + 20% Biomasse + 1% PV; Wärme: 50% Hackgut + 50% Pellet	837	1828%	794

^A Reduktion (negative Werte) oder Erhöhung (positive Werte) der Staub-Emissionen durch das Referenzsystem im Vergleich zum Biogassystem

^B 0,61 MWh Strom + 0,39 MWh Wärme

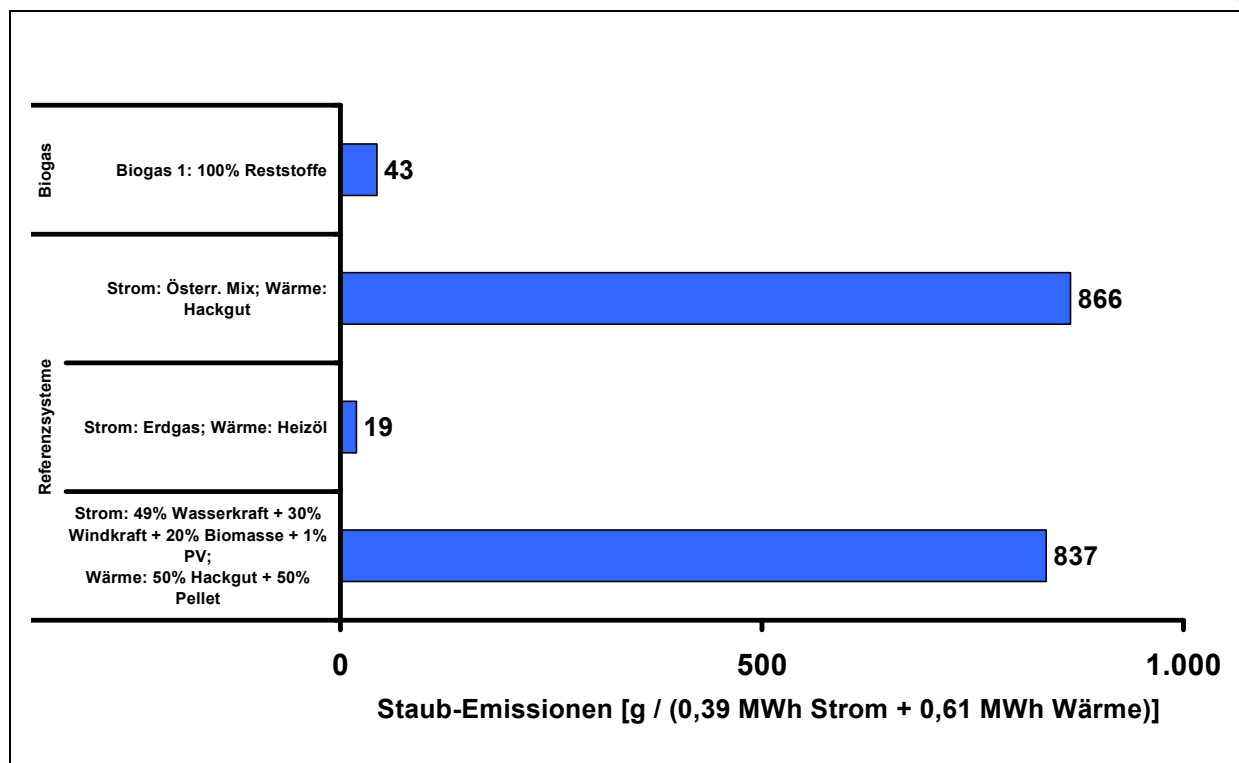


Abbildung 35: Staub-Emissionen von „Biogas 1: 100% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen

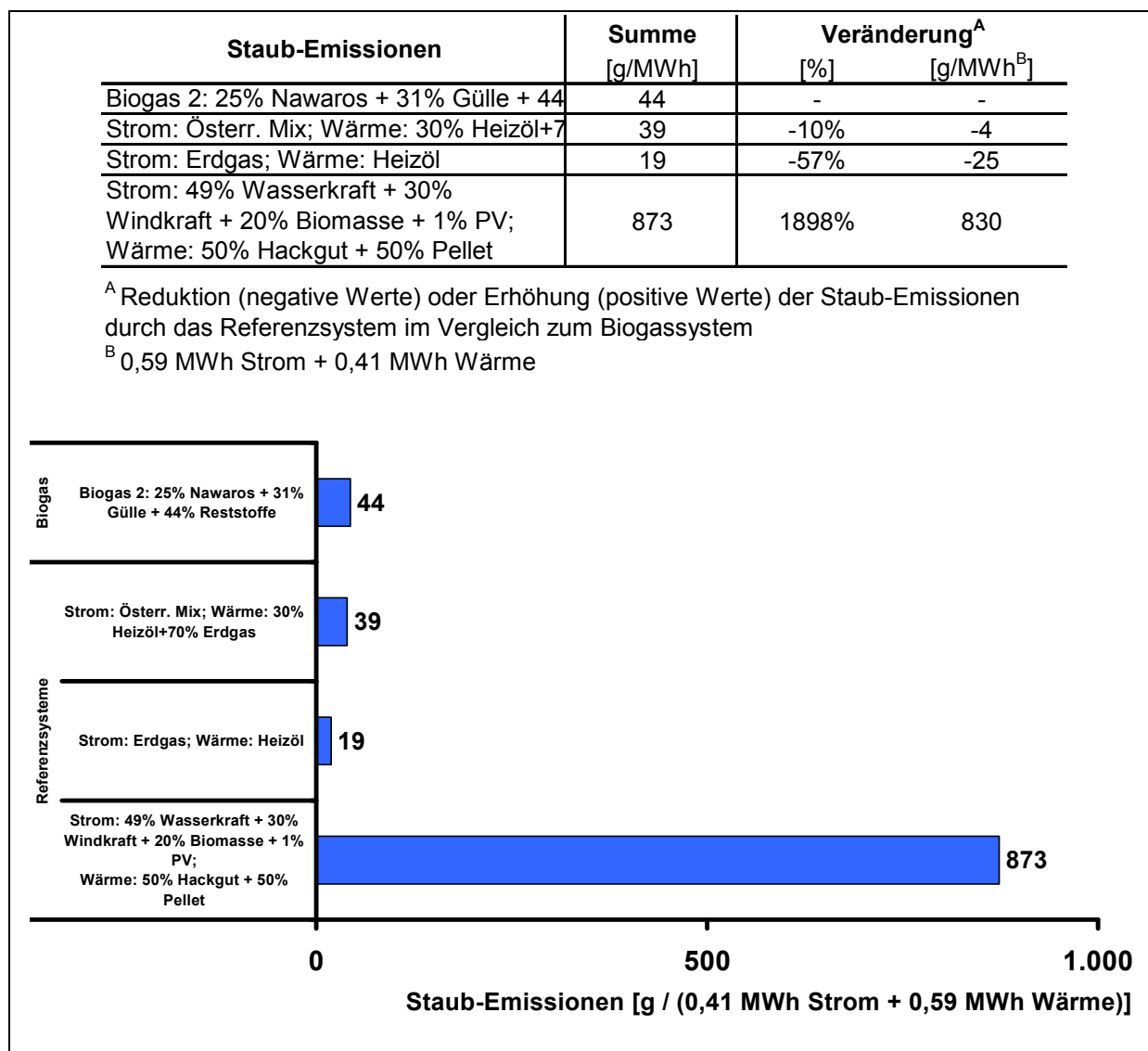


Abbildung 36: Staub-Emissionen von „Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen

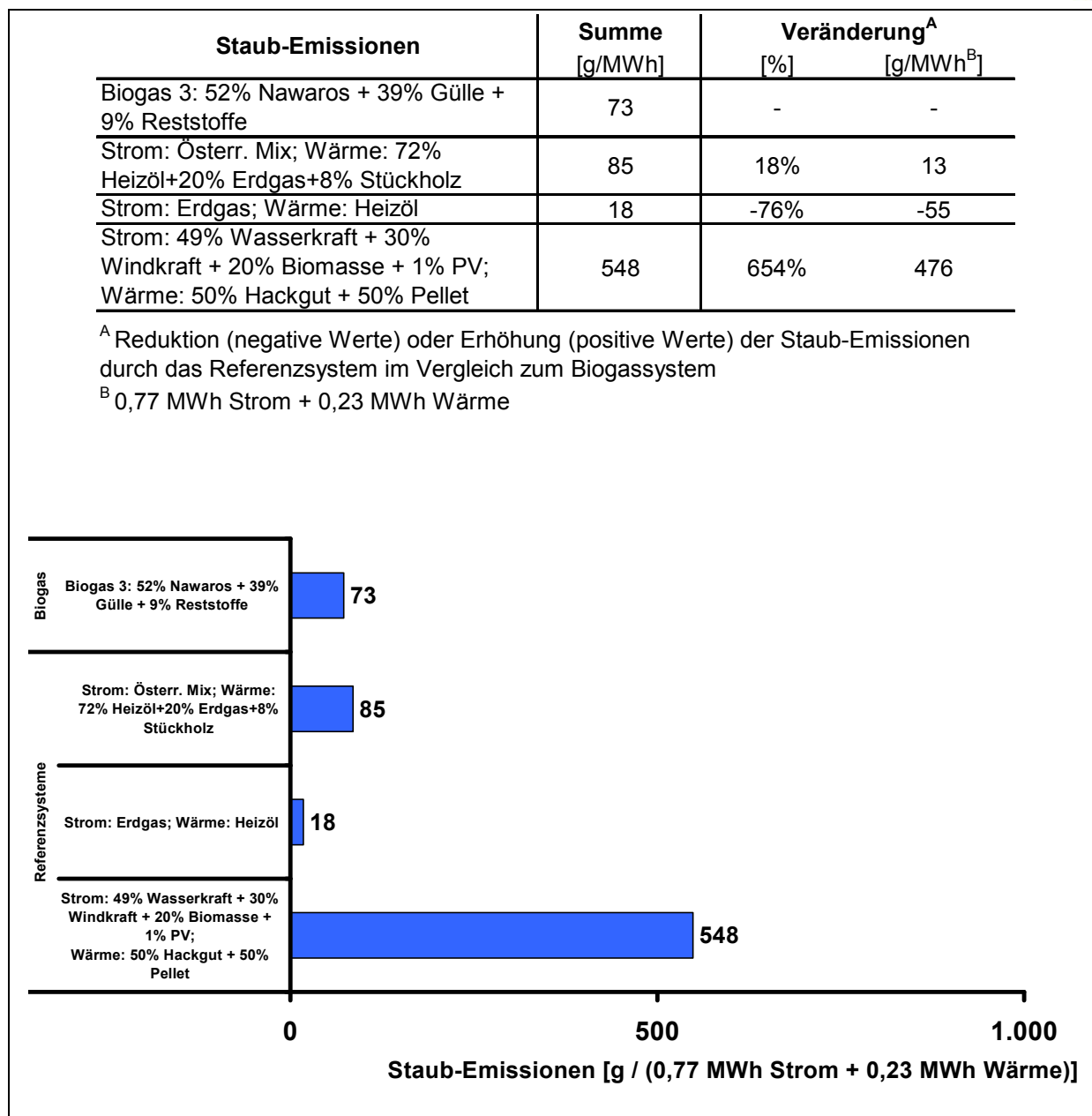


Abbildung 37: Staub-Emissionen von „Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen

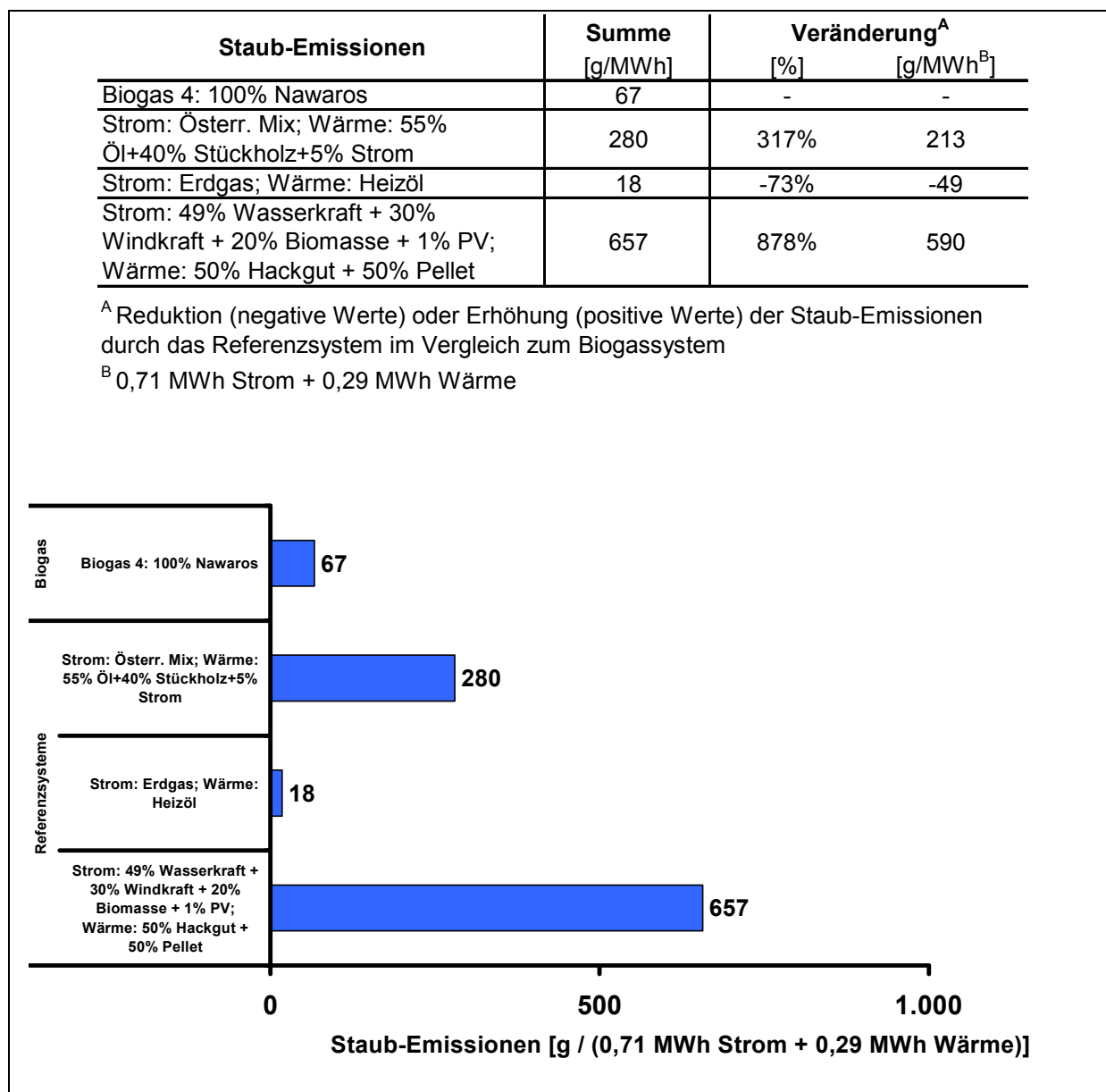


Abbildung 38: Staub-Emissionen von „Biogas 4: 100% Nawaros“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen

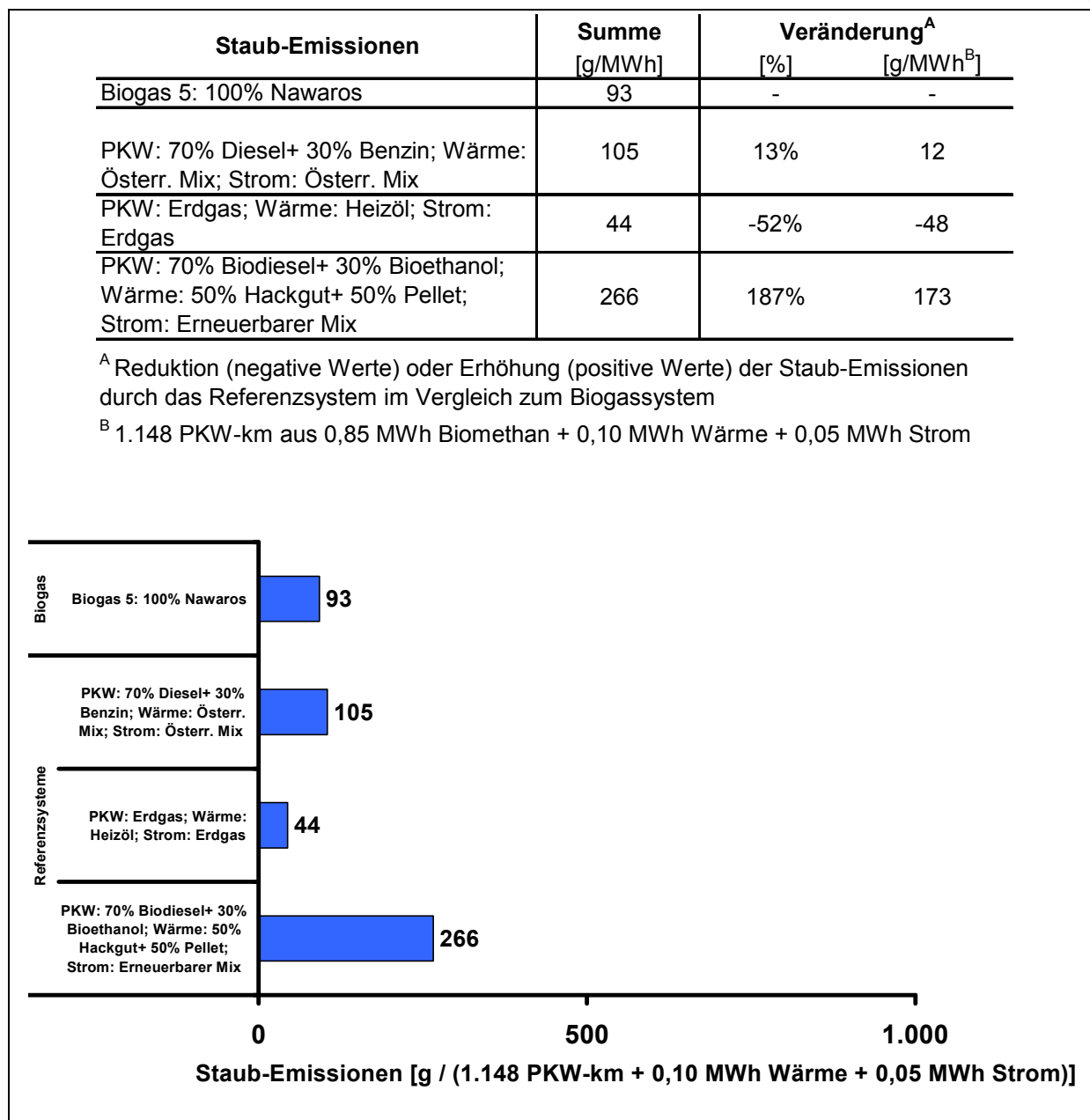


Abbildung 39: Staub-Emissionen von „Biogas 5: 100% Nawaros“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen

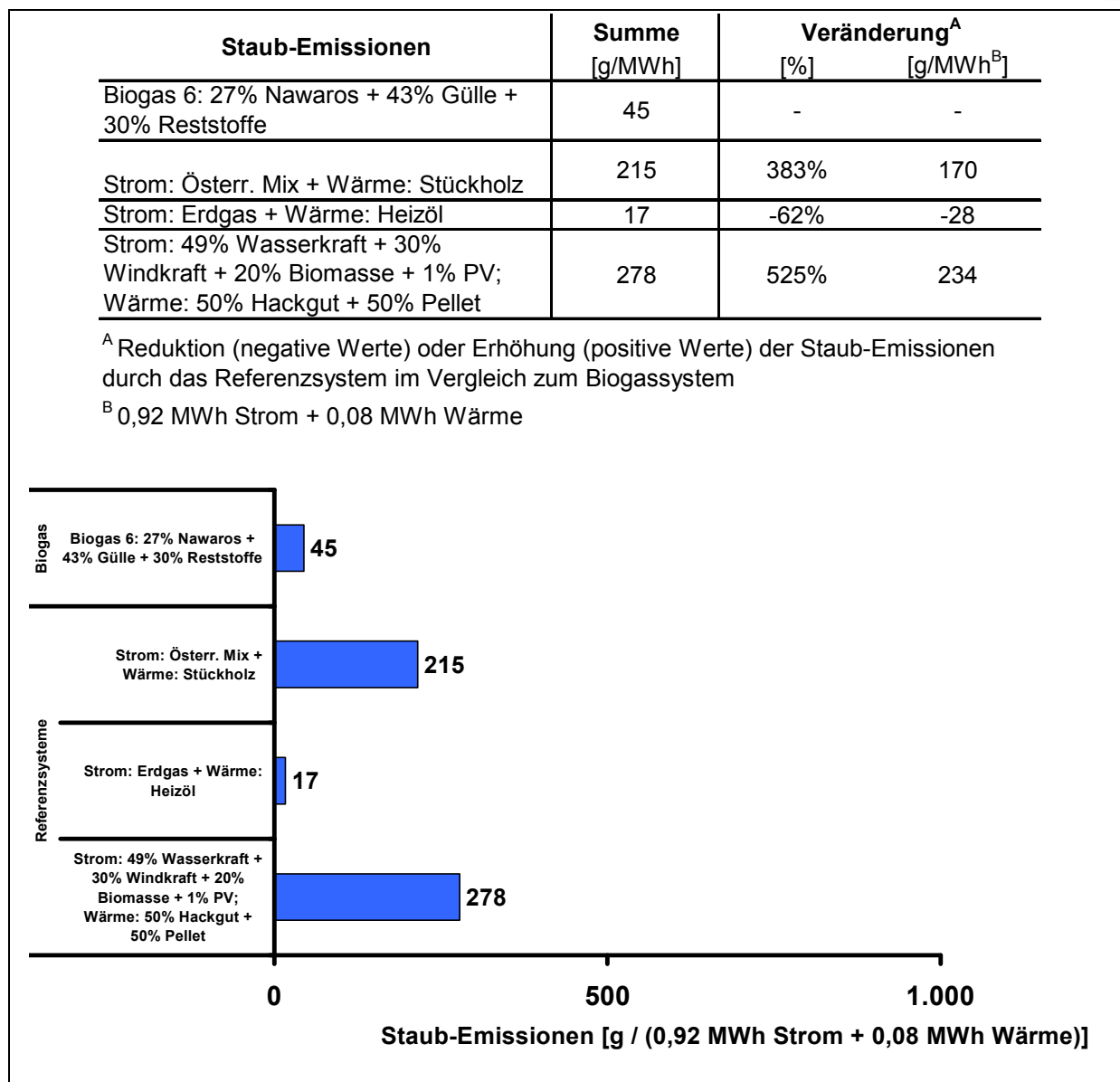


Abbildung 40: Staub-Emissionen „Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe“

Da jedes System ein anderes Verhältnis an Strom zu Wärme-Erzeugung aufweist, ist ein direkter Vergleich der Systeme untereinander nicht möglich. In Abbildung 41 werden die Staub-Emissionen für verschiedene Anteile der Wärmenutzung bezogen auf 1 MWh Endenergie dargestellt. Abbildung 41 zeigt, dass die Staub-Emissionen für das System „Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe“ am geringsten und für die Systeme „Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe“ und „Biogas 4: 100% Nawaros“ am höchsten sind.

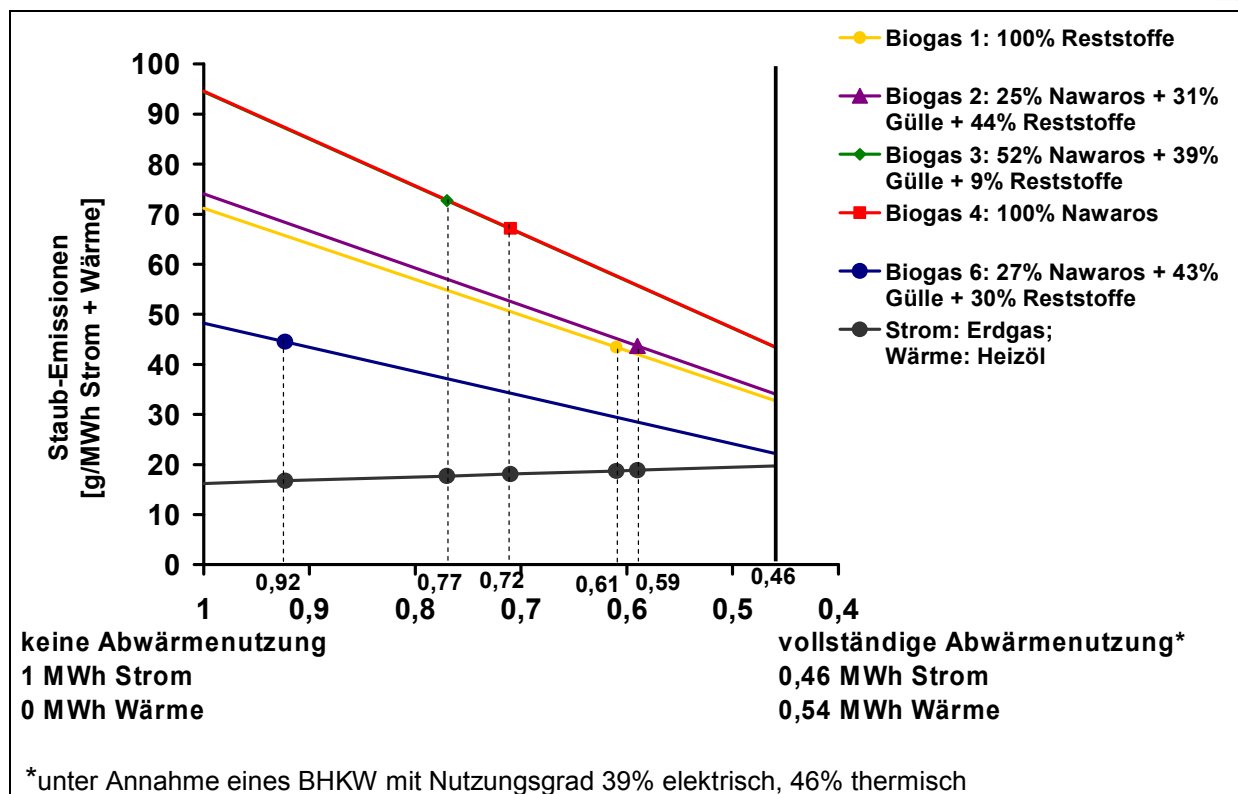


Abbildung 41: Vergleich der Staub-Emissionen von 5 Biogassystemen in Abhängigkeit der Wärmenutzung

4.1.5. Fossiler Primärenergiebedarf

In **Abbildung 42** bis **Abbildung 47** ist der fossile Primärenergiebedarf für die sechs untersuchten Biogassysteme und drei Referenzsysteme dargestellt.

Die Biogassysteme, die Strom- und Wärme bereitstellen (Biogas 1, Biogas 2, Biogas 3, Biogas 4 und Biogas 6), reduzieren im Vergleich zu den fossilen Referenzsystemen „Strom: Erdgas; Wärme: Heizöl“ den fossilen Primärenergiebedarf zwischen 84% und 96%. Im Vergleich zu den erneuerbaren Referenzsystemen „Strom: Erneuerbarer Mix; Wärme: 50% Hackgut + 50% Pellet“ ist der fossile Primärenergiebedarf der Biogassysteme zwischen 1,7- und 8-mal so hoch.

Das System „Biogas 5: 100% Nawaros“, in dem Biomethan erzeugt und als Treibstoff für einen PKW eingesetzt wird, reduziert den fossilen Primärenergiebedarf im Vergleich zu allen Referenzsystemen.

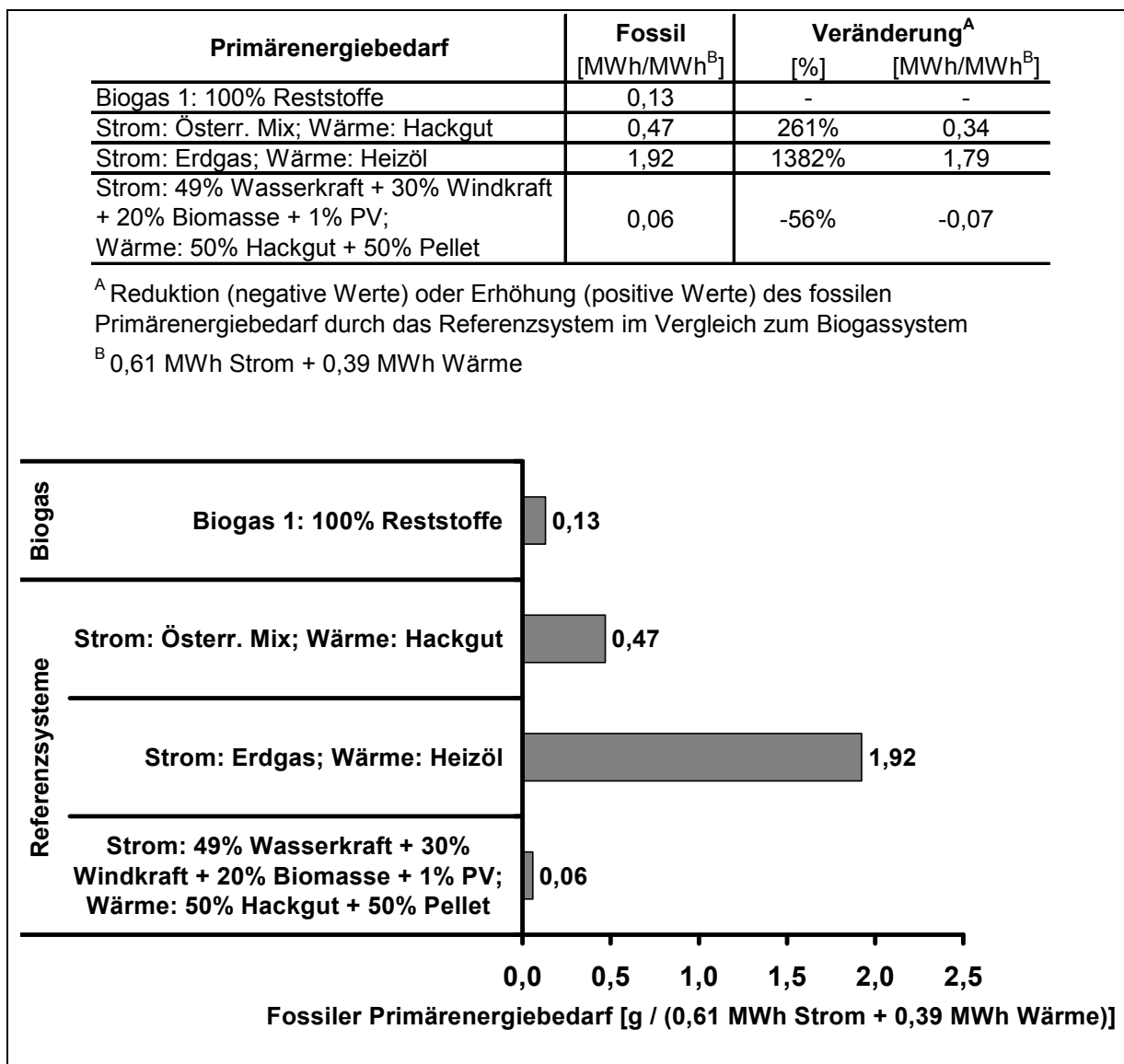


Abbildung 42: Fossiler Primärenergiebedarf von „Biogas 1: 100% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen

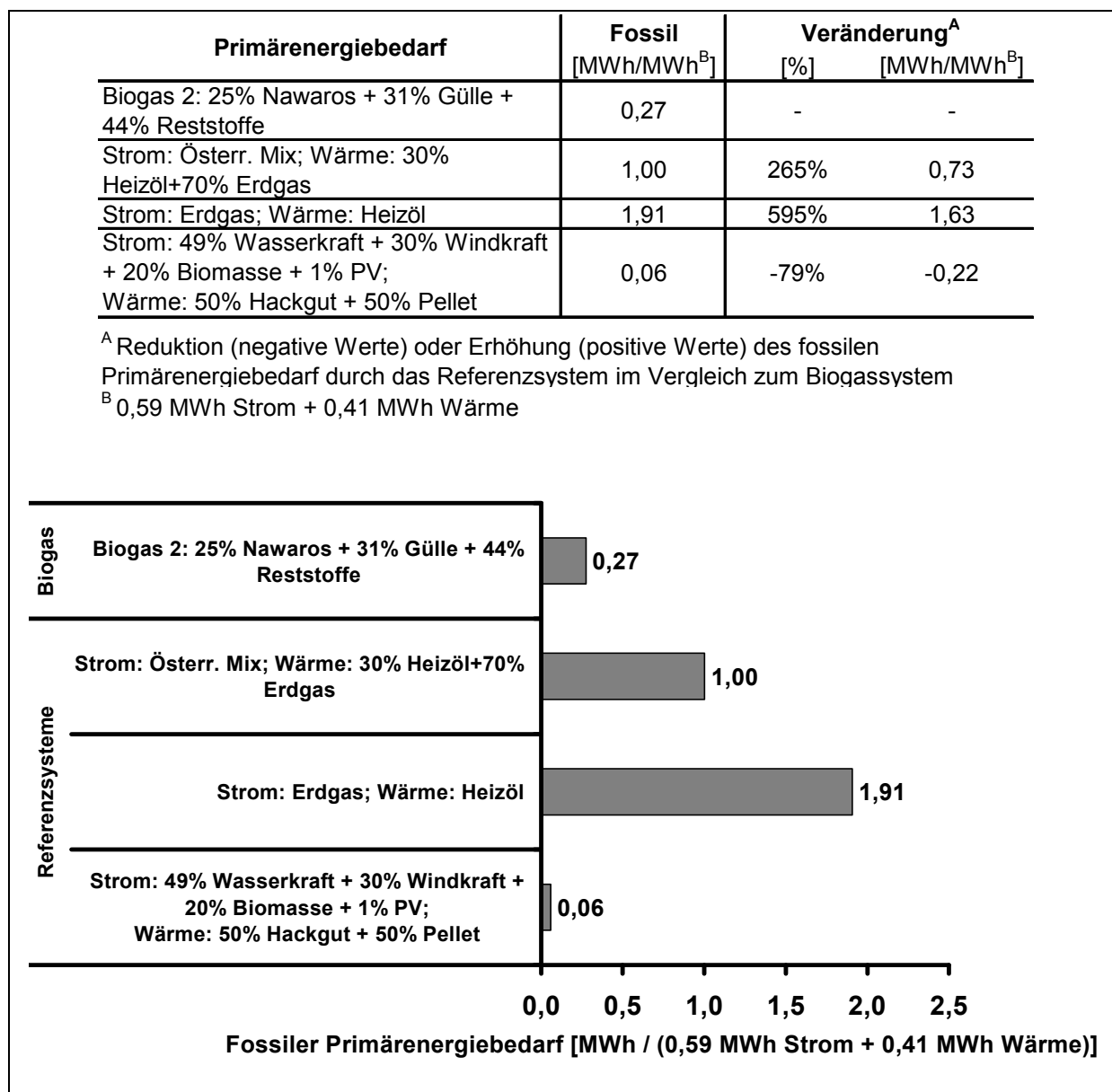


Abbildung 43: Fossiler Primärenergiebedarf von „Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen

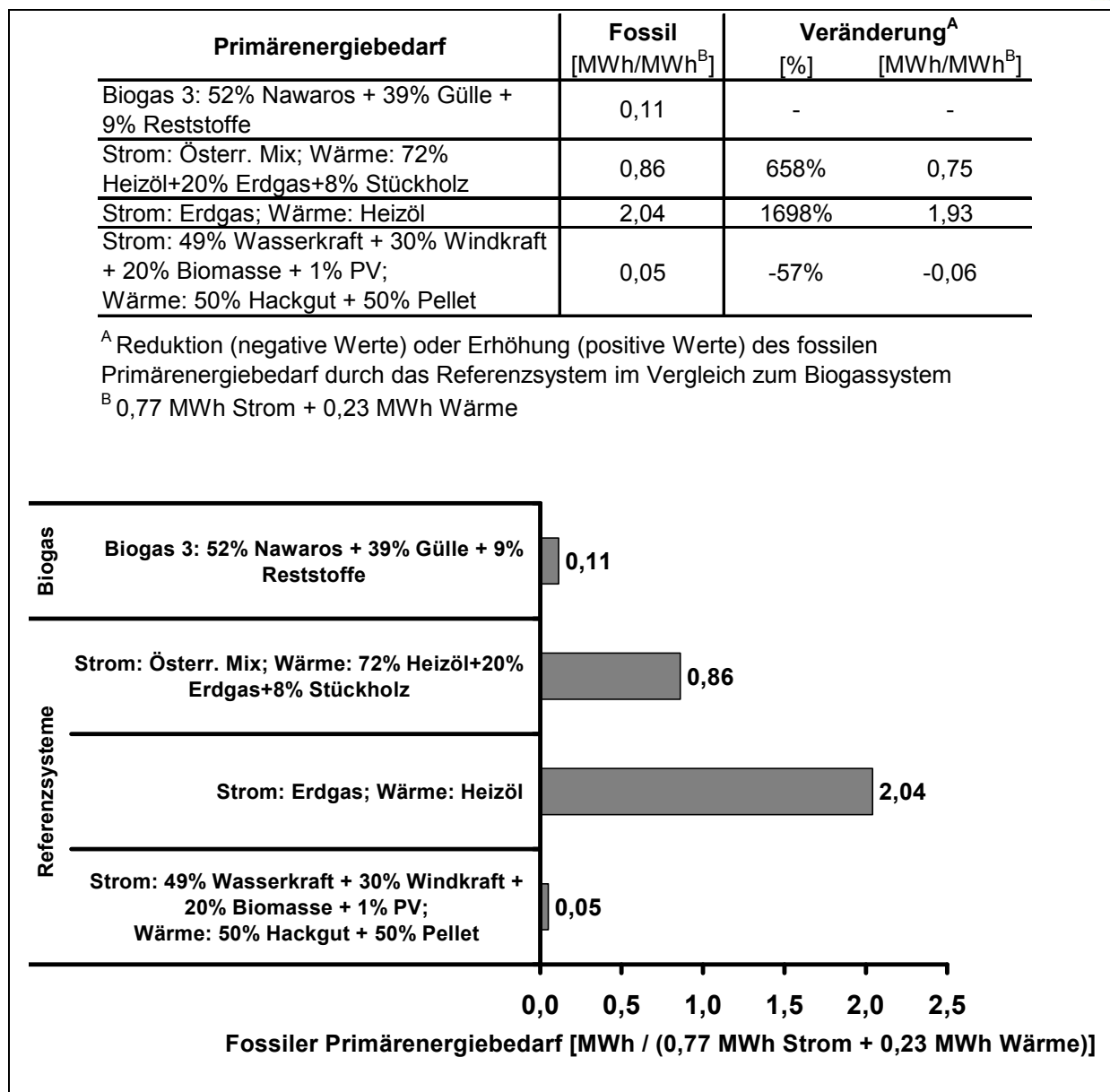


Abbildung 44: Fossiler Primärenergiebedarf von „Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen

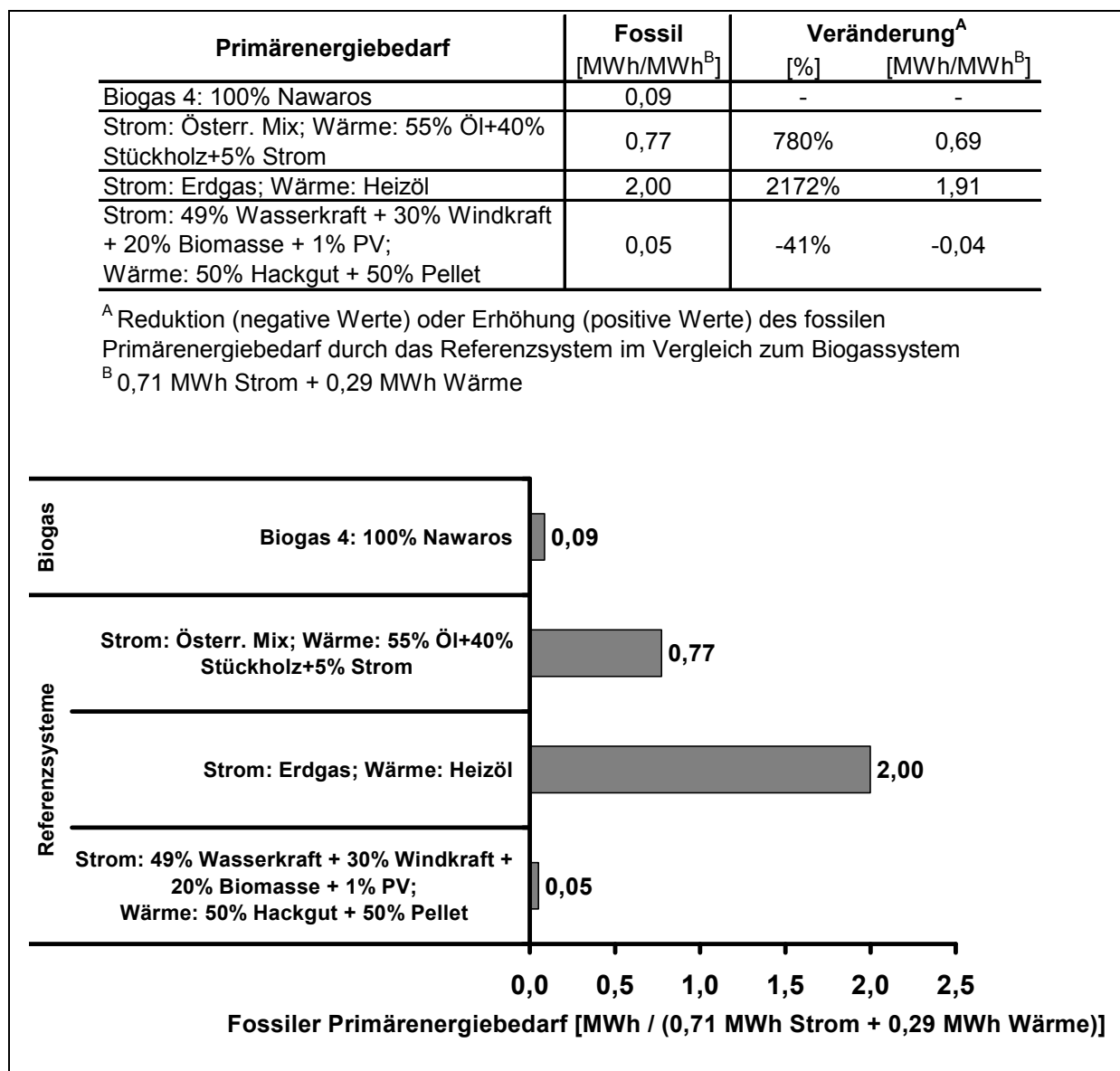


Abbildung 45: Fossiler Primärenergiebedarf von „Biogas 4: 100% Nawaros“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen

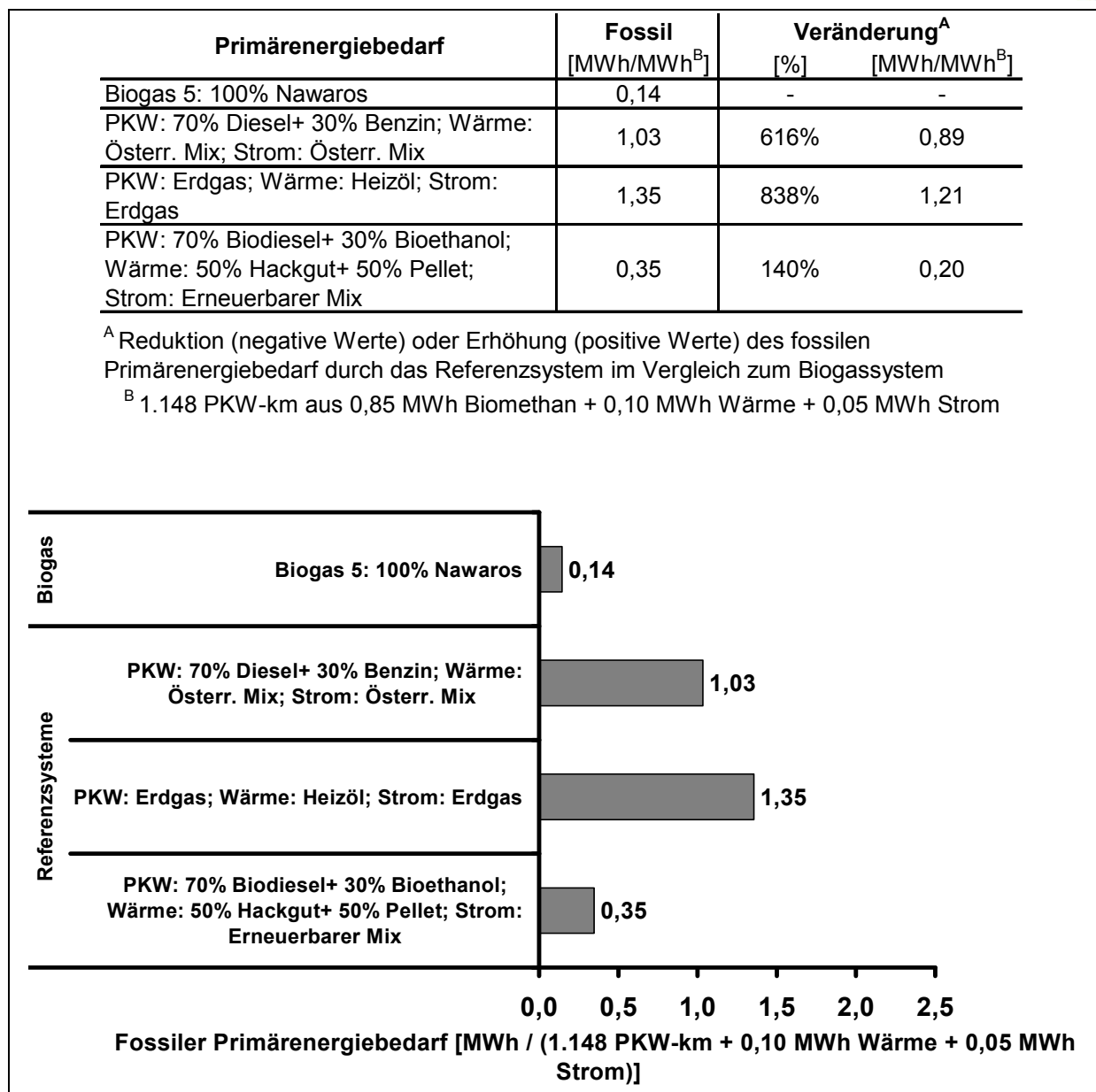


Abbildung 46: Fossiler Primärenergiebedarf von „Biogas 5: 100% Nawaros“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen

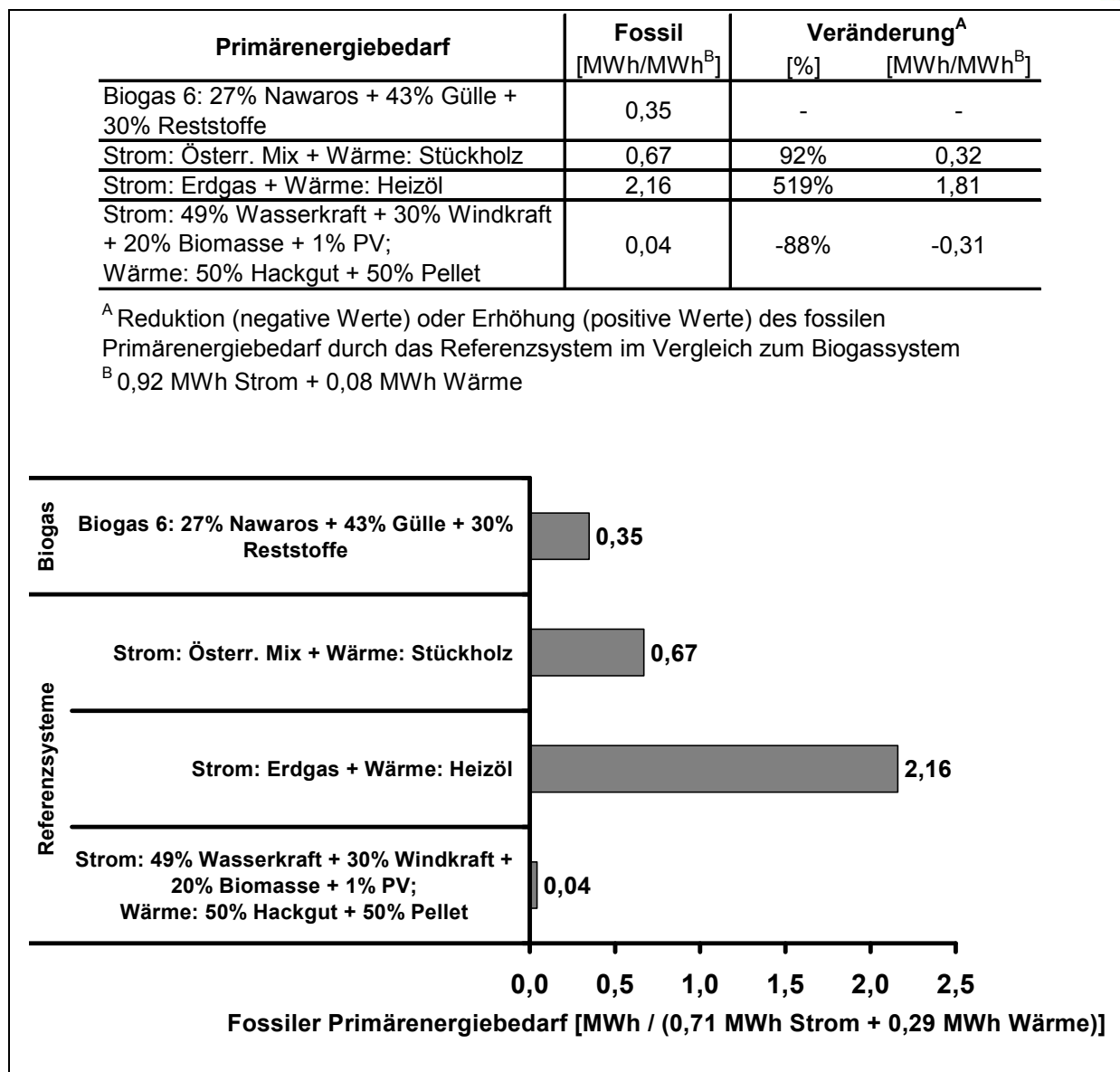


Abbildung 47: Fossiler Primärenergiebedarf „Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe“

In Abbildung 48 ist der fossile Primärenergiebedarf für das System „Biogas 4: 100% Nawaros“ für einzelne Prozessschritte dargestellt. Ca. 70% des fossilen Primärenergiebedarfs stammt aus dem Treibstoffbedarf für landwirtschaftliche Maschinen, die bei Anbau- und Erntevorgängen zum Einsatz kommen.

Da jedes System ein anderes Verhältnis an Strom zu Wärme-Erzeugung aufweist, ist ein direkter Vergleich der Systeme untereinander nicht möglich. In Abbildung 48 wird der fossile Primärenergiebedarf für verschiedene Anteile der Wärmenutzung bezogen auf 1 MWh Endenergie dargestellt. Abbildung 48 zeigt, dass der fossile Primärenergiebedarf für das System „Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe“ am höchsten und für das System „Biogas 4: 100% Nawaros“ am geringsten ist.

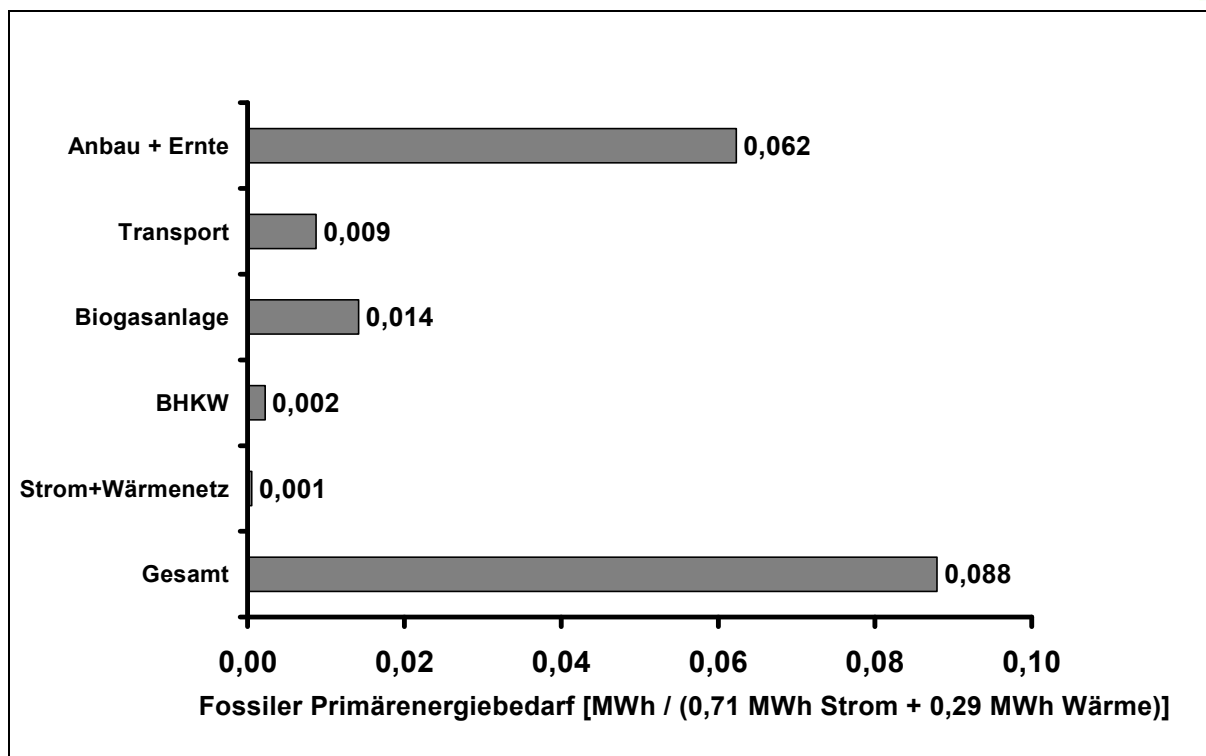


Abbildung 48: Fossiler Primärenergiebedarf von „Biogas 4: 100% Nawaros“ aufgeteilt in einzelne Prozessschritte

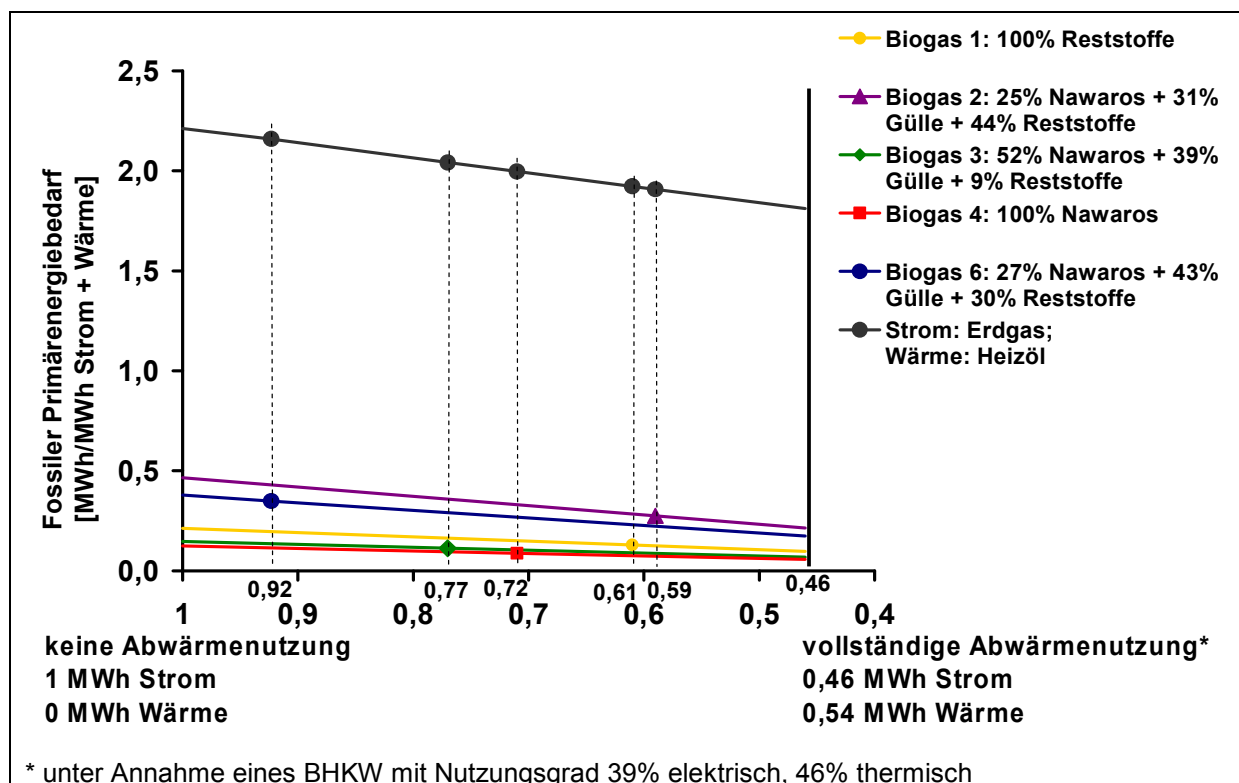


Abbildung 49: Vergleich des fossilen Primärenergiebedarfs von 5 Biogassystemen in Abhängigkeit der Wärmenutzung

4.1.6. Landwirtschaftlicher Flächenbedarf

Im Projekt wurde der landwirtschaftliche Flächenbedarf der untersuchten Biogassysteme erhoben. Einerseits wird landwirtschaftliche Anbaufläche bei Verwendung von Nawaros als Rohstoff für die Biogaserzeugung benötigt. Andererseits müssen ausreichend Flächen zur Aufbringung der anfallenden Gärreste zur Verfügung stehen. Details zur Erhebung der notwendigen Ausbringflächen für die Gärreste finden sich im Abschnitt 3.6 Nährstoffkreislauf. In Tabelle 45 sind zusammenfassend die Werte für den landwirtschaftlichen Flächenbedarf der Biogassysteme bezogen auf 1 MWh Strom und Wärme dargestellt.

Tabelle 45: Landwirtschaftlicher Flächenbedarf der untersuchten Biogassysteme für den Anbau von eingesetzten Nawaros und die Ausbringung der Gärreste

Biogassystem	Flächenbedarf		
	Anbau Nawaros	Ausbringung Gärreste auf landwirtschaftlicher Nutzfläche	Einheit
Biogas 1: 100% Reststoffe	-	205 - 246*	[m ² /(0,39 MWh Strom + 0,61 MWh Wärme)]
Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe	294	644	[m ² /(0,41 MWh Strom + 0,59 MWh Wärme)]
Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe	592	761	[m ² /(0,77 MWh Strom + 0,23 MWh Wärme)]
Biogas 4: 100% Nawaros	632	553 (+ 80 Naturschutzfläche)	[m ² /(0,71 MWh Strom + 0,29 MWh Wärme)]
Biogas 5: 100% Nawaros	471	471	[m ² /(1,148 PKW-km + 0,10 MWh Wärme + 0,05 MWh Strom)]
Biogas 6: 27% Nawaros +43% Gülle + 30% Reststoffe	264	686	[m ² /(0,92 MWh Strom + 0,08 MWh Wärme)]

* abhängig von der Art der Bewirtschaftung

4.1.7. Sensitivitätsanalysen

Zur Bestimmung des Einflusses von einzelnen Parametern auf das Gesamtergebnis der Lebenszyklusanalyse wurden für ausgewählte Parameter und Biogassysteme Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Folgenden Parameter wurden untersucht:

- N₂O- und CH₄-Emissionen der Kompostierung
- N₂O- und CH₄-Emissionen der Gärrestlagerung
- N₂O- und NH₃-Emissionen der Gärrestaufbringung
- CH₄-Schlupf des BHKW
- offenes Endlager - geschlossenes Endlager
- Transportdistanz für Rohstoffe
- Herstellungsaufwand

Um den Einfluss der Referenzsysteme aufzuzeigen wurden für ein Biogassystem weitere Referenzsysteme graphisch dargestellt.

Für weitere Informationen zu den oberen und unteren Grenzwerten für die N₂O- und CH₄-Emissionen, die hier angesetzt wurden siehe Abschnitt 3.3 Emissionen von Gülle- bzw. Gärrest.

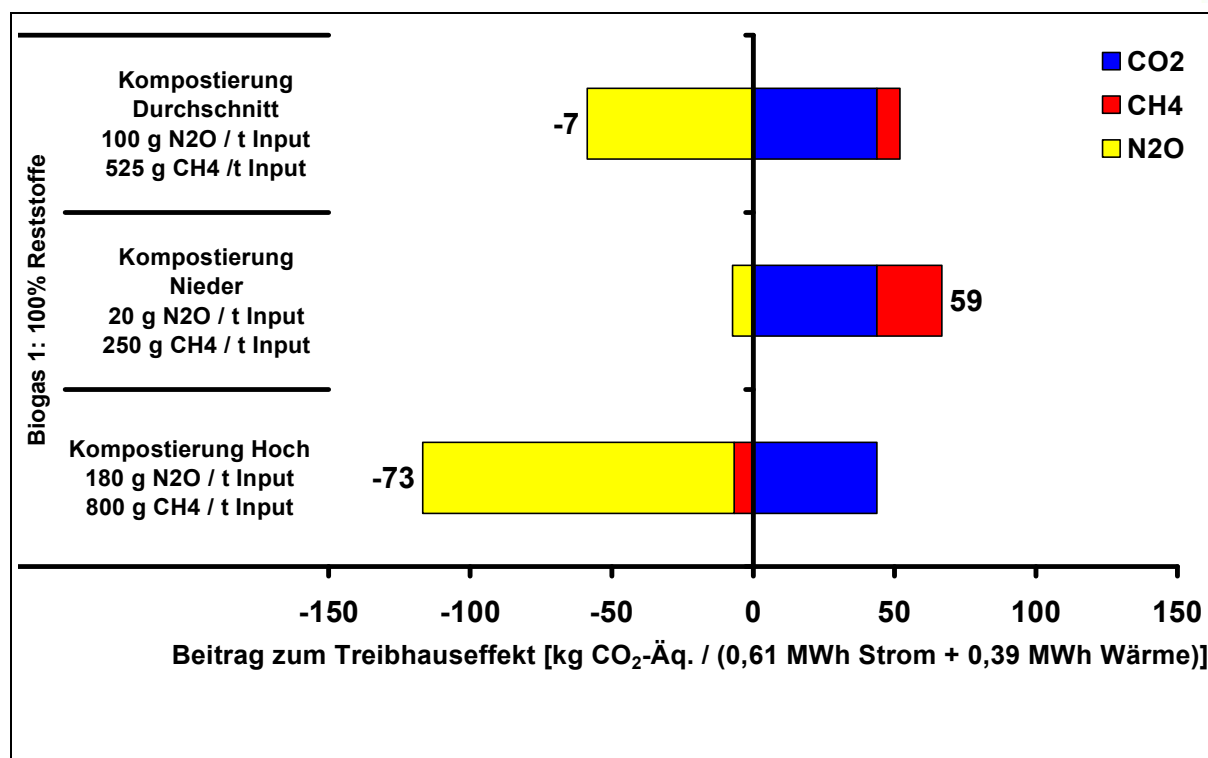


Abbildung 50: Beitrag zum Treibhauseffekt von „Biogas 1: 100% Reststoffe“ in Abhängigkeit von den N₂O- und CH₄-Emissionen bei der Kompostierung

In Abbildung 50 ist der Einfluss der N₂O- und CH₄-Emissionen der Kompostierung auf den Beitrag zum Treibhauseffekt für das System „Biogas 1: 100% Reststoffe“ dargestellt. Die Bandbreite und der Einfluss der Emissionen der Kompostierung auf das Gesamtergebnis ist hoch. In Abhängigkeit von den Emissionsfaktoren liegt das Gesamtergebnisse zwischen -73 und + 59 kg CO₂-Äq. / (0,61 MWh Strom + 0,39 MWh Wärme). Im Vergleich zum realen Referenzsystem „Strom: Österr. Mix; Wärme: Hackgut“ ist auch mit den oberen Emissionswerten eine Reduktion des Beitrags zum Treibhauseffekt von über 60% und im Vergleich zum fossilen Referenzsystem „Strom: Erdgas; Wärme: Heizöl“ von 87% möglich.

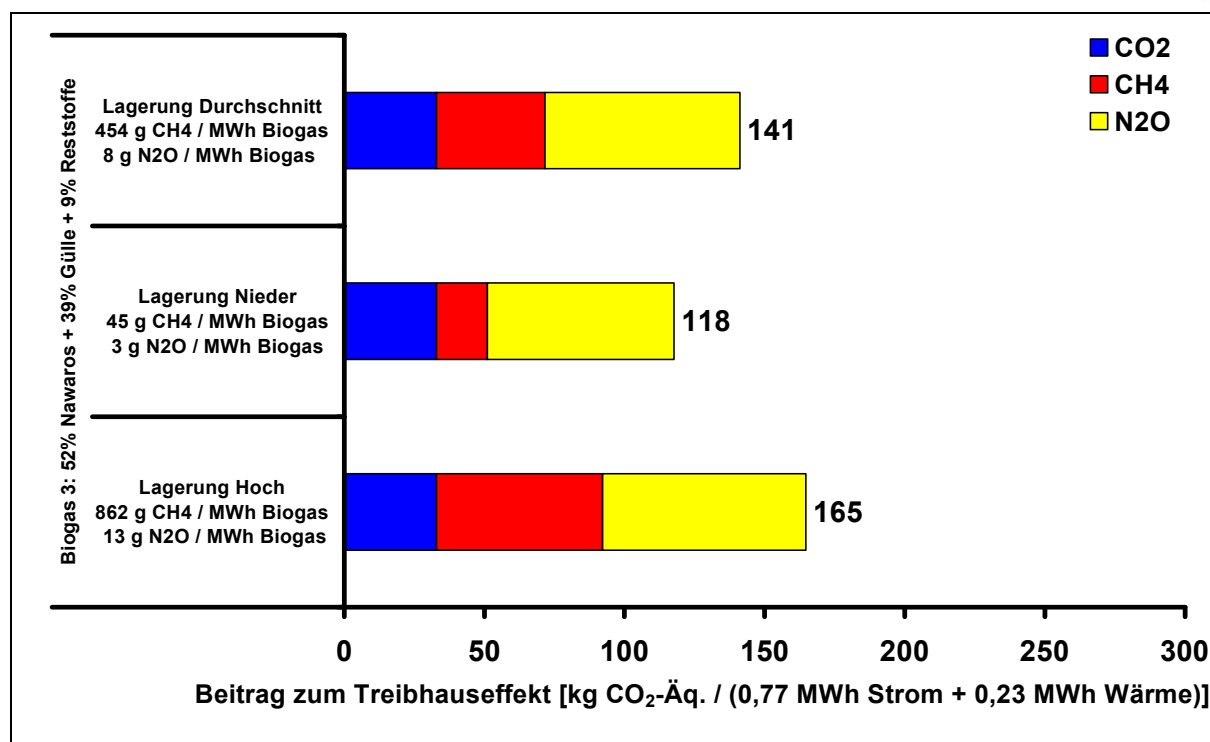


Abbildung 51: Beitrag zum Treibhauseffekt von „Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe“ in Abhängigkeit von den N₂O- und CH₄-Emissionen bei der Gärrestlagerung

In Abbildung 51 ist der Einfluss der N₂O- und CH₄-Emissionen der Gärrestlagerung auf den Beitrag zum Treibhauseffekt für das System: „Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe“ dargestellt. Bei der Gärrestlagerung sind die N₂O-Emissionen gering. Deshalb hat die Variation der N₂O-Emissionen der Gärrestlagerung einen geringen Einfluss auf das Ergebnis. Die CH₄-Emissionen der Gärrestlagerung haben einen höheren Einfluss auf das Gesamtergebnis, das zwischen 118 und 165 kg CO₂-Äq./ (0,77 MWh Strom + 0,23 MWh Wärme) liegt. Im Vergleich zum realen Referenzsystem „Strom: Österr. Mix; Wärme: Hackgut“ ist auch mit den oberen Emissionswerten eine Reduktion des Beitrags zum Treibhauseffekt von über 43% und im Vergleich zum fossilen Referenzsystem „Strom: Erdgas; Wärme: Heizöl“ von 65% möglich.

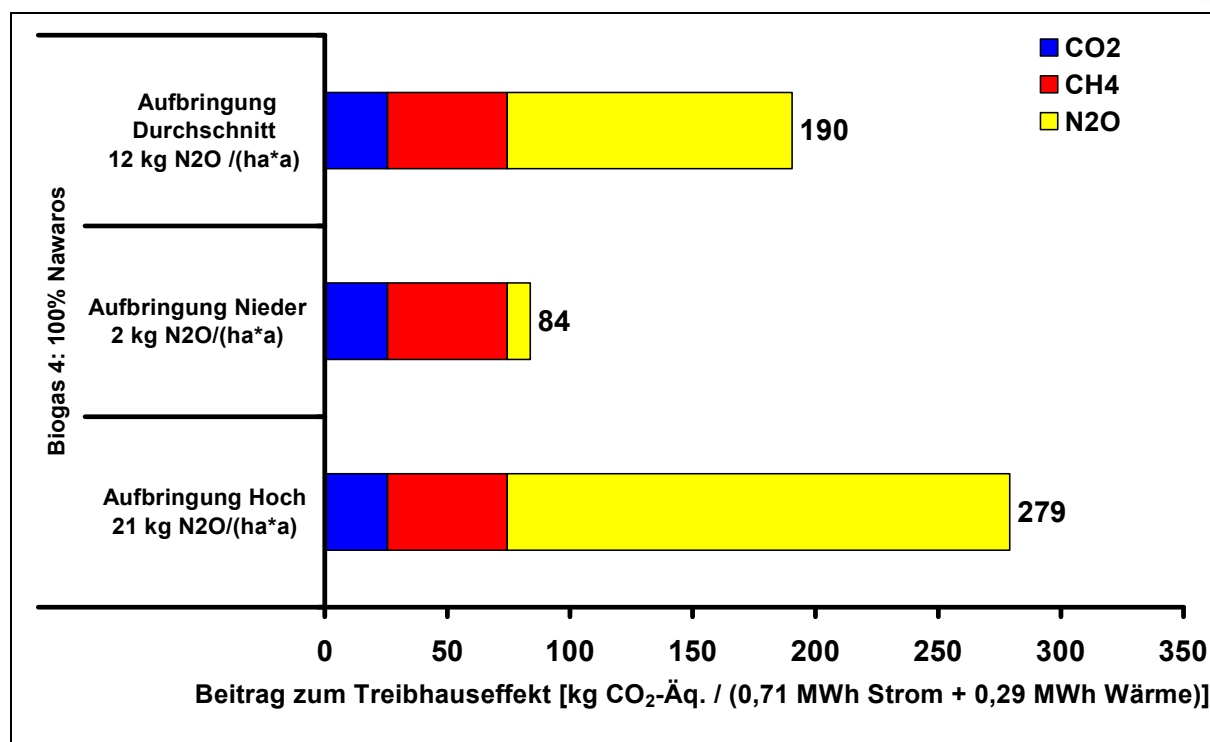


Abbildung 52: Beitrag zum Treibhauseffekt für „Biogas 4: 100% Nawaros“ in Abhängigkeit der N₂O-Emissionen bei der Gärrestaufbringung

In Abbildung 52 ist der Einfluss der N₂O-Emissionen der Gärrestaufbringung auf den Beitrag zum Treibhauseffekt für das System „Biogas 4: 100% Nawaros“ dargestellt. Die Schwankungsbreite und die Auswirkungen auf das Gesamtergebnis sind hoch. Unter Annahme des oberen Wertes für die N₂O-Emissionen bei der Gärrestaufbringung erhöht das Biogassystem den Beitrag zum Treibhauseffekt im Vergleich zum realen Referenzsystem „Strom: Österr. Mix; Wärme: 55% Öl + 40% Stückholz + 5% Strom“ um 20%. Unter Annahme des unteren Wertes für die N₂O-Emissionen bei der Gärrestaufbringung reduziert das Biogassystem den Beitrag zum Treibhauseffekt im Vergleich zum realen Referenzsystem „Strom: Österr. Mix; Wärme: 55% Öl + 40% Stückholz + 5% Strom“ um fast 40%.

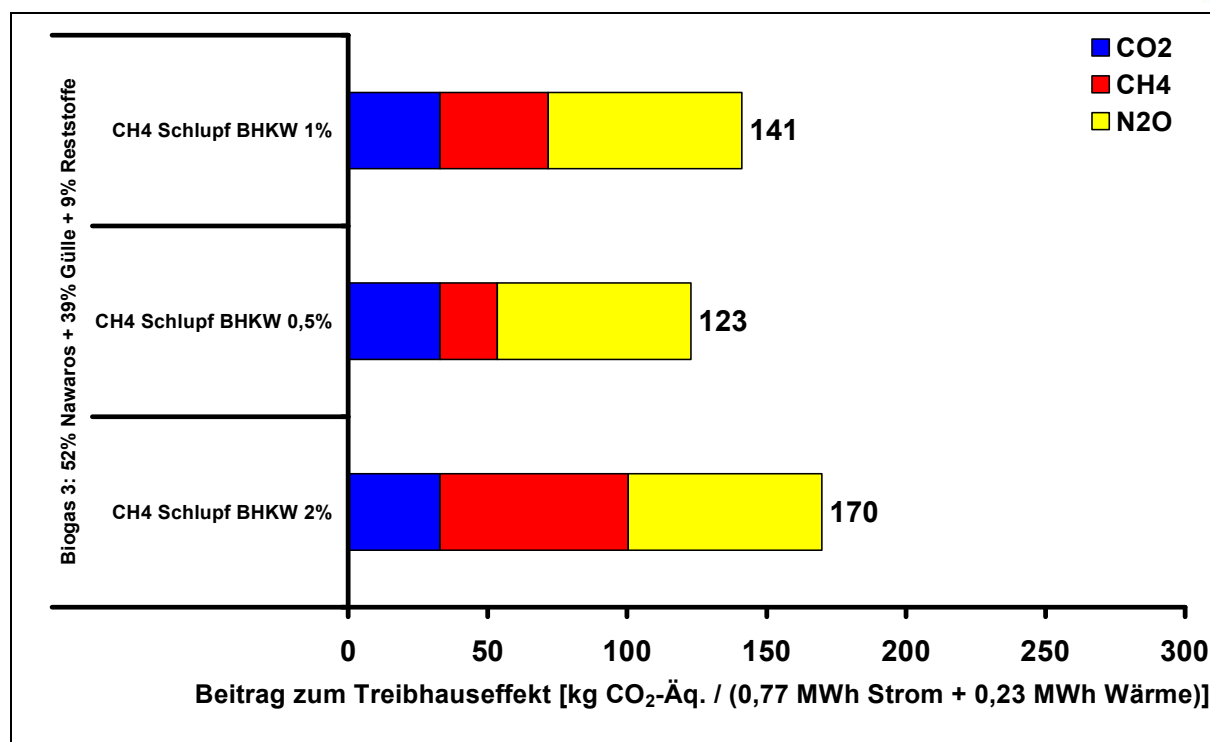


Abbildung 53: Beitrag zum Treibhauseffekt von „Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe“ in Abhängigkeit des CH₄-Schlupfs im BHKW

In Abbildung 53 ist der Einfluss des CH₄-Schlupf im BHKW auf das Gesamtergebnis für das System „Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe“ dargestellt. Bei einem CH₄-Schlupf von 2% erhöhen sich die Treibhausgas-Emissionen um 29 kg CO₂-Äq./ (0,77 MWh Strom + 0,23 MWh Wärme) im Vergleich zum hier angenommenen Durchschnittswert von 1% CH₄-Schlupf. Bei einem CH₄-Schlupf von 0,5% reduzieren sich die Treibhausgas-Emissionen um 18 kg CO₂-Äq./ (0,77 MWh Strom + 0,23 MWh Wärme) im Vergleich zum Durchschnittswert. Im Vergleich zum realen Referenzsystem „Strom: Österr. Mix; Wärme: 72% Heizöl + 20% Erdgas + 8% Stückholz“ ändert sich bei einem CH₄-Schlupf von 2% die Einsparung der Treibhausgas-Emissionen von minus 44% auf minus 32%.

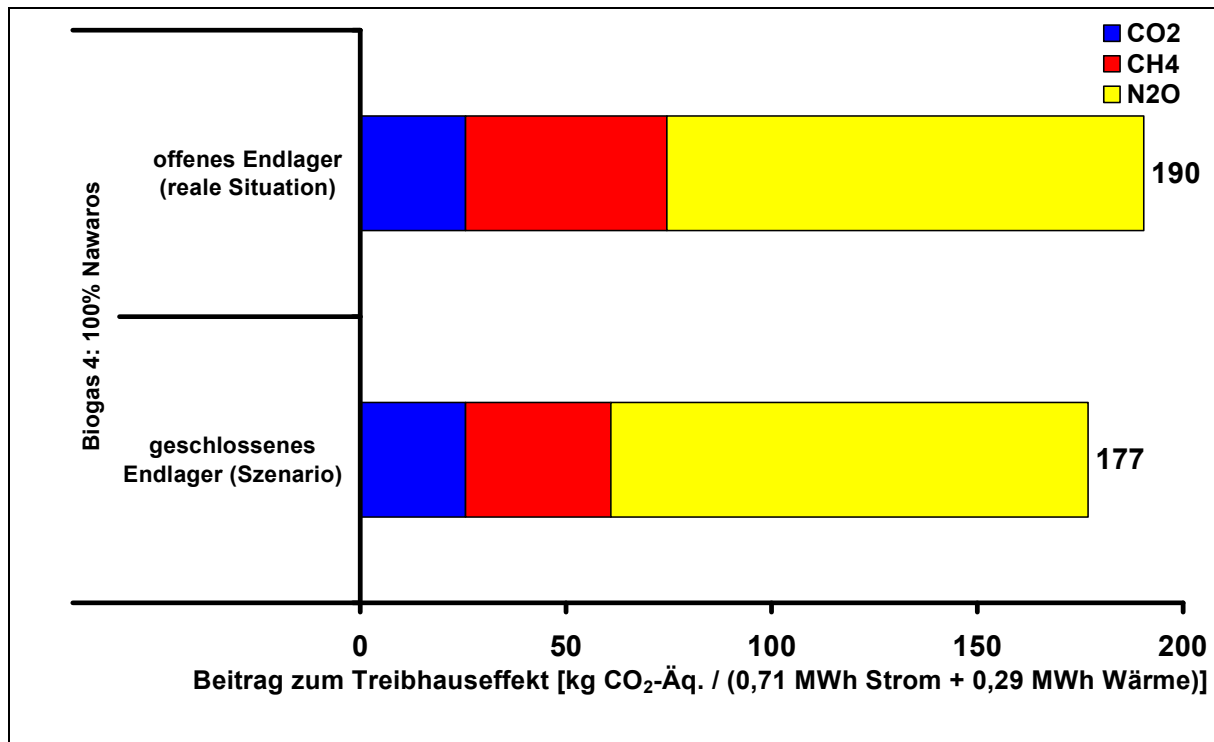


Abbildung 54: Beitrag zum Treibhauseffekt von „Biogas 4: 100% Nawaros“ mit offenem Endlager (reale Situation) und geschlossenem Endlager

Das System „Biogas 4: 100% Nawaros“ verfügt über ein offenes Endlager. Um den Einfluss eines geschlossenen Endlagers aufzuzeigen, wurde ein Szenario mit einem geschlossenen Endlager angenommen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 54 dargestellt. Dabei wurde vernachlässigt, dass in diesem Fall auf Grund des zusätzlich gewonnenen Methans mehr Strom- und Wärme erzeugt werden kann. Unter dieser Annahme würden durch das geschlossene Endlager 13 kg CO₂-Äq./ (0,71 MWh Strom + 0,29 MWh Wärme) eingespart werden.

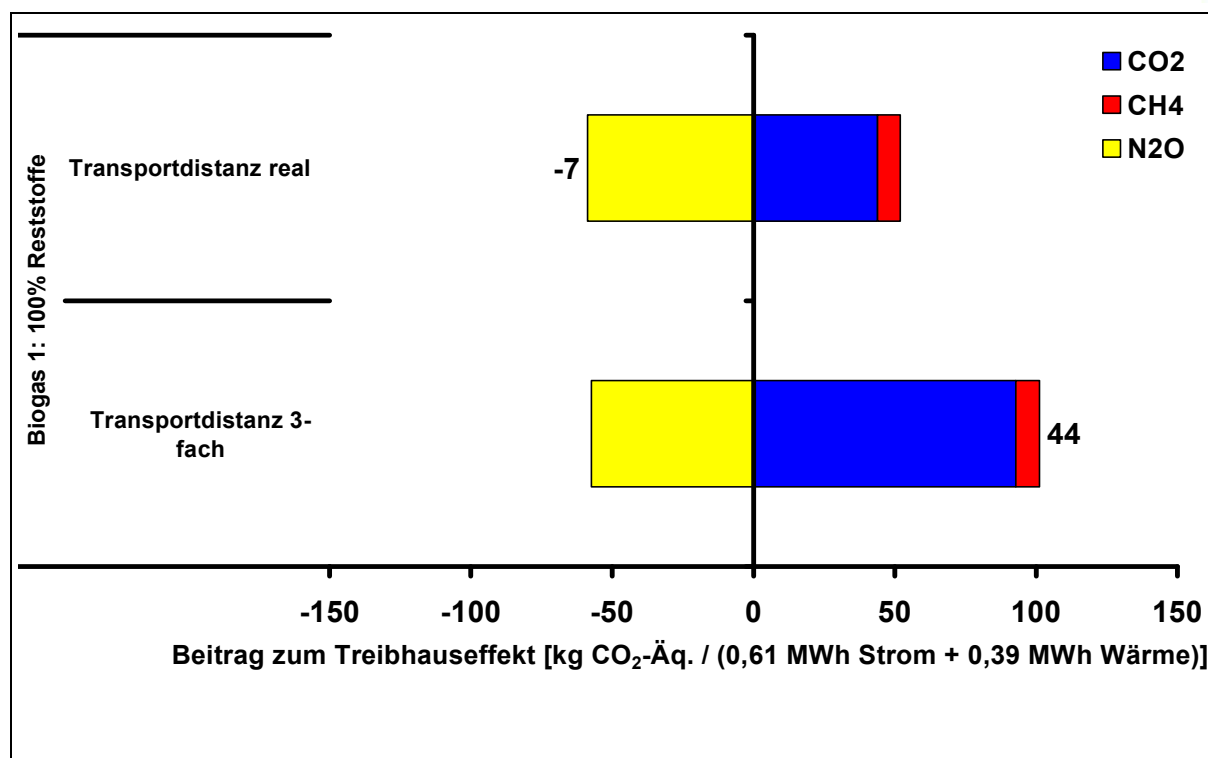


Abbildung 55: Beitrag zum Treibhauseffekt von „Biogas 1: 100% Reststoffe“ in Abhängigkeit von der Transportdistanz

Abbildung 55 zeigt für das System „Biogas 1: 100% Reststoffe“ den Einfluss der Transportdistanz auf das Gesamtergebnis. Dafür wurde eine Variante mit der dreifachen Transportdistanz im Vergleich zur erhobenen Transportdistanz berechnet. Trotz der erhöhten Transportdistanz weist das Biogassystem eine Reduktion des Beitrags zum Treibhauseffekt von 70% im Vergleich zum realen Referenzsystem und von 90% im Vergleich zum fossilen Referenzsystem auf. Für Systeme die auf nachwachsenden Rohstoffen basieren, ist die Auswirkung der Transportdistanz auf das Gesamtergebnis nicht so groß, da die Transportentfernungen hier geringer sind und die Emissionen und Energieaufwand die mit Anbau- und Erntevorgängen verbunden sind einen größeren Einfluss auf das Gesamtergebnis haben (Siehe auch [Abbildung 18](#)).

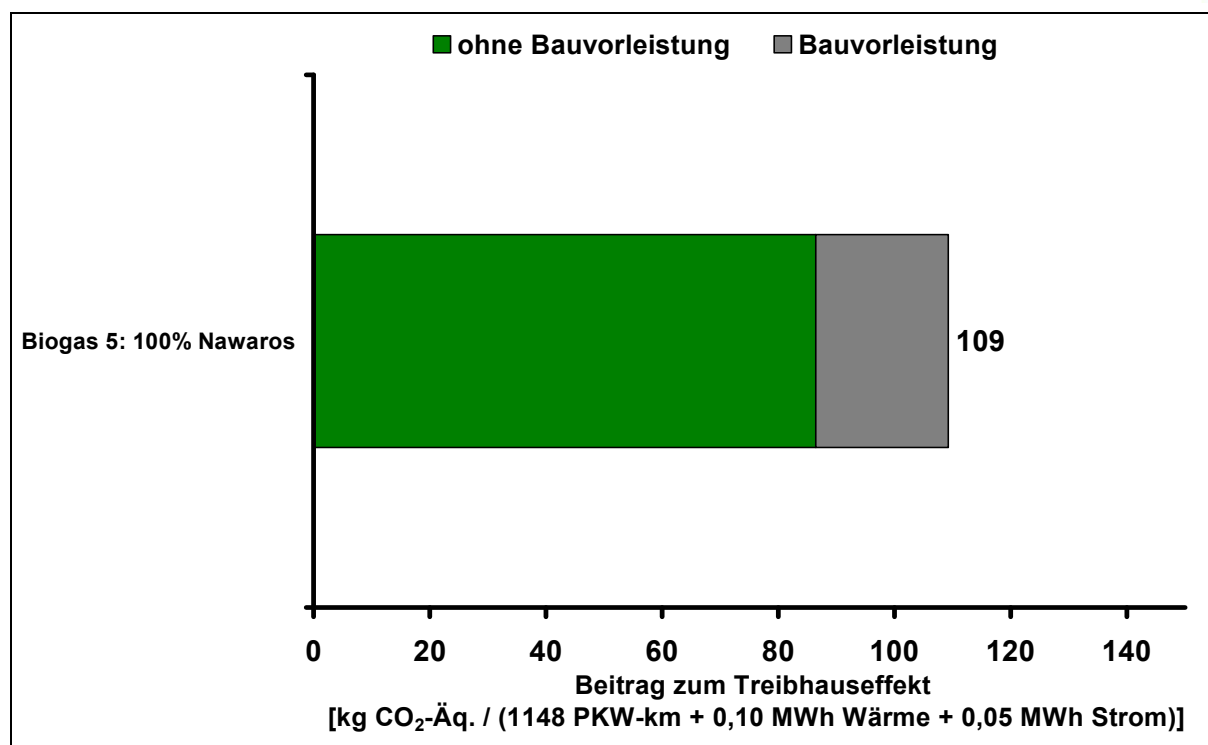


Abbildung 56: Beitrag zum Treibhauseffekt für das System „Biogas 5: 100% Nawaros“ unterteilt in den Anteil ohne Bauvorleistungen und den Anteil für Bauvorleistungen

In Abbildung 56 ist der Beitrag zum Treibhauseffekt für das System „Biogas 5: 100% Nawaros“ aufgeteilt in den Anteil ohne Bauvorleistungen und den Anteil für die Bauvorleistungen dargestellt. Der Aufwand für die Produktion der Materialien der Anlagenteile der Biogassystems macht hier ca. 20% des gesamten Beitrags zum Treibhauseffekt aus.

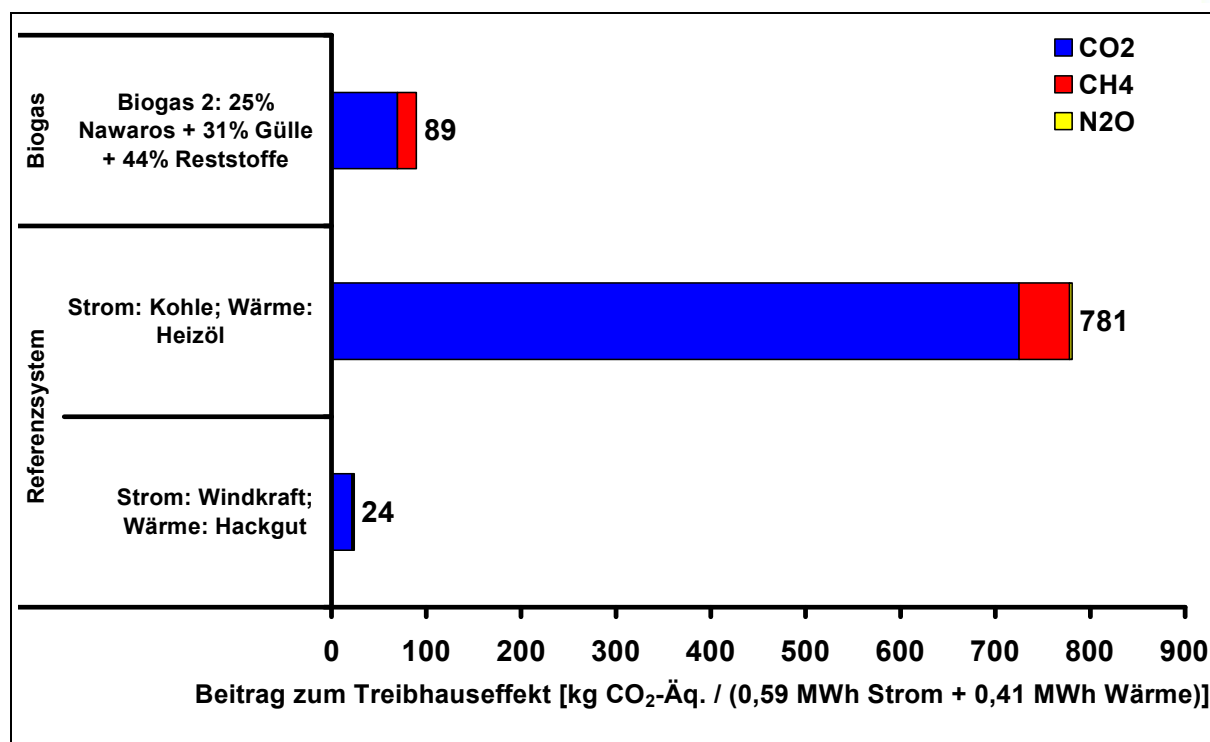


Abbildung 57: Beitrag zum Treibhauseffekt von „Biogas 2: 25% Nawaros+31% Gülle + 44% Reststoffe“ im Vergleich zu den Referenzsystemen „Strom: Kohle; Wärme: Heizöl“ und „Strom: Windkraft; Wärme: Hackgut“

Abbildung 57 zeigt das System „Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe“ im Vergleich zu anderen Referenzsystemen. Das System „Strom: Kohle; Wärme: Heizöl“ ist unter den hier betrachteten Technologien das Referenzsystem mit dem höchsten Beitrag zum Treibhauseffekt. Das System „Strom: Windkraft; Wärme: Hackgut“ ist das System mit dem geringsten Beitrag zum Treibhauseffekt.

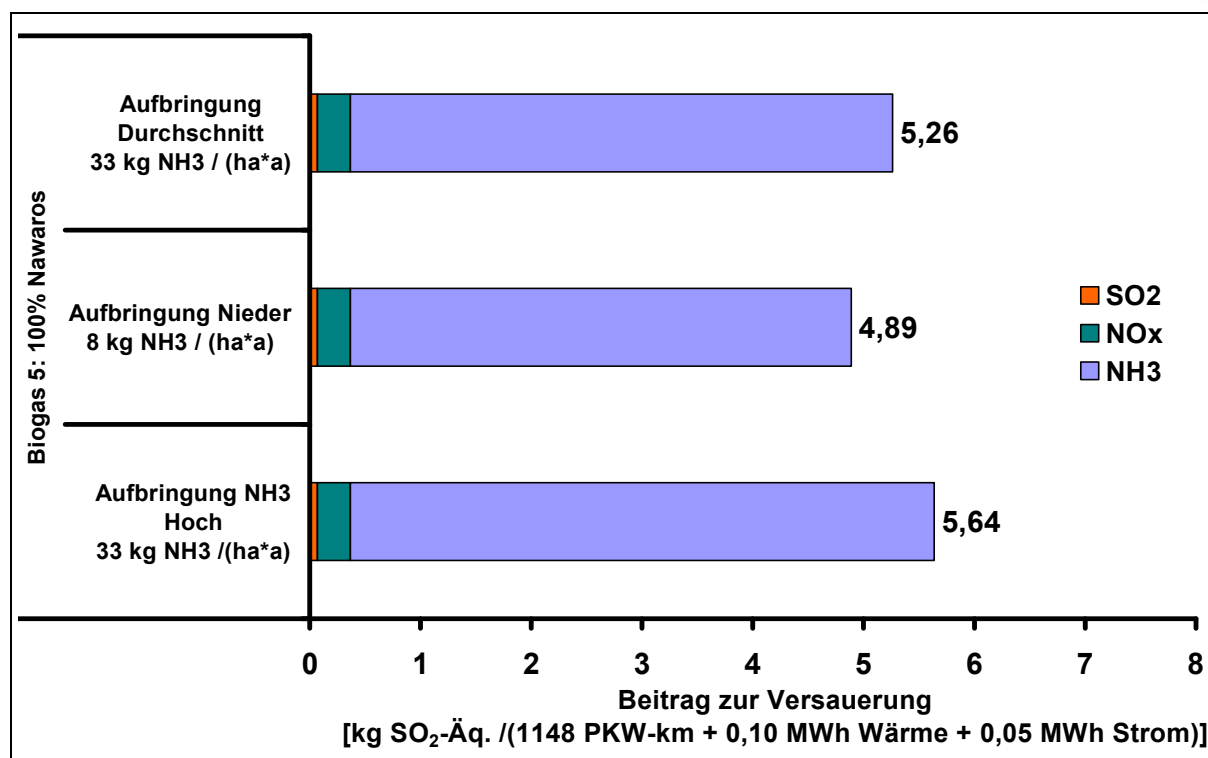


Abbildung 58: Beitrag zur Versauerung von „Biogas 5: 100% Nawaros“ in Abhängigkeit der NH₃-Emissionen bei der Gärrestaufbringung

In Abbildung 58 ist der Einfluss der NH₃-Emissionen bei der Gärrestaufbringung auf den Beitrag zur Versauerung für das System „Biogas 5: 100% Nawaros“ dargestellt. Im Vergleich zum Durchschnittswert erhöhen bzw. erniedrigt sich das Gesamtergebnis um 0,38 kg SO₂-Äq./ (1148 PKW-km + 0,10 MWh Wärme + 0,05 MWh Strom).

4.2. Bewertung nach den Leitprinzipien der Nachhaltigkeit

Basierend auf den Ergebnissen der Lebenszyklusanalyse erfolgt eine Bewertung nach den Leitprinzipien nachhaltiger Technologieentwicklung aus der Programmlinie „Nachhaltig Wirtschaften“ des BMVIT (BMVIT 2010). Die hier durchgeführte Umweltbewertung betrifft die 3 Prinzipien:

- Prinzip der Nutzung erneuerbarer Ressourcen
- Effizienzprinzip
- Prinzip von Sicherung von Arbeit, Einkommen und Lebensqualität

Zur quantitativen Bewertung dieser Prinzipien wurden die Indikatoren „Beitrag zum Treibhauseffekt“, „kumulierte Primärenergiebedarf“ und „Luftschadstoffe“ gewählt.

Prinzip der Nutzung erneuerbarer Ressourcen

Die untersuchten Biogassysteme setzen alle eine oder eine Kombination der erneuerbaren Ressourcen nachwachsende Rohstoffe, Gülle oder Reststoffe ein. Die Nutzung erneuerbarer Ressourcen hat den Vorteil, dass Treibhausgasemissionen reduziert werden können. Im Rahmen der Lebenszyklusanalyse für sechs

unterschiedliche Biogassysteme wurde der Beitrag zum Treibhauseffekt betrachtet. Die Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse zeigen, dass die „fossilen Referenzsysteme“ und die „realen Referenzsysteme“ den Beitrag zum Treibhauseffekt im Vergleich zu den untersuchten Biogassystemen erhöhen. In Abhängigkeit von den untersuchten Systemen liegt die Erhöhung durch die „fossilen Referenzsysteme“ zwischen 140% und 6.810% und durch die „realen Referenzsystemen“ zwischen 20% und 2.270%.

Der Beitrag zum Treibhauseffekt der Biogassysteme ist bei der Verwendung von Reststoffen und Gülle am geringsten, da die Emissionen der Referenznutzung (für Reststoffe hauptsächlich Kompostierung, für Gülle Lagerung und Ausbringung der unvergorenen Gülle) vermieden werden.

Effizienzprinzip

Ein Maß für die Effizienz stellt der kumulierte Primärenergiebedarf dar. Der Primärenergiebedarf umfasst alle Energieeinsätze, die mit der Erzeugung einer Energiedienstleistung aus Biogas (z.B. Strom, Wärme, Transportdienstleistung) verbunden sind. Im Projekt wurde der fossile Primärenergiebedarf für die untersuchten Biogassysteme ermittelt. D.h. es wurden jene Anteile erfasst, die aus den fossilen Energieträgern Kohle, Erdgas und Rohöl stammen. Die Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse zeigen, dass die „fossilen Referenzsysteme“ und die „realen Referenzsysteme“ den fossilen Primärenergiebedarf im Vergleich zu den untersuchten Biogassystemen erhöhen. In Abhängigkeit von den untersuchten Systemen liegt die Erhöhung durch die „fossilen Referenzsysteme“ zwischen 520% und 2.170% und durch die „realen Referenzsystemen“ zwischen 90% und 780%. Bei fossilen Energiesystemen wird der fossile Primärenergiebedarf fast zur Gänze durch die Verwendung bestimmt, während für die Biogassysteme der geringe fossile Primärenergiebedarf auf Hilfsenergie, die Herstellung der Anlagen und den Transport der Rohstoffe zurückzuführen ist.

Grundsätzlich ist hier auch anzumerken, dass in Hinblick auf die Effizienz der Biogasanlage eine möglichst hohe Wärmenutzung anzustreben ist.

Prinzip der Sicherung von Arbeit, Einkommen und Lebensqualität

Im Rahmen der Umweltbewertung kann nur das Prinzip der Lebensqualität beurteilt werden. Als Indikator für die Lebensqualität wurden der Luftschadstoffe mit Beitrag zur Versauerung, Beitrag zur Ozonbildung und Staub-Emissionen untersucht.

Die Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse zeigen, dass die „fossilen Referenzsysteme“ und die „realen Referenzsysteme“ einen niedrigeren Beitrag zur Versauerung aufweisen als die untersuchten Biogassysteme. Die Reduktion liegt zwischen 50% und 90%. Für den Beitrag zur Ozonbildung und die Staub-Emissionen weisen die Referenzsysteme teilweise Reduktionen und teilweise Erhöhungen auf - abhängig davon mit welchem Biogassystem die Referenzsysteme gegenübergestellt werden.

Biogas trägt somit günstig zum Prinzip der Nutzung erneuerbarer Ressourcen und zum Effizienzprinzip bei. Zum Prinzip der Sicherung von Lebensqualität kann keine eindeutige Aussage getroffen werden.

4.3. Ökologische Erfolgsfaktoren zur nachhaltigen Nutzung der Biogastechnologie

Basierend auf den im Projekt durchgeführten Analysen und den Ergebnissen der Lebenszyklusanalyse können als Erfolgsfaktoren für eine nachhaltige Nutzung der Biogastechnologie

- Rohstoff,
- Ausbringtechnik von Gärresten,
- Wärmenutzung,
- geschlossenes Endlager,
- BHKW und Ersatz von fossilen Energieträgern

definiert werden. In der Folge werden diese beschrieben:

Rohstoff

Der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen hat grundsätzlich höhere Umweltauswirkungen als die Nutzung von Reststoffen und Gülle. Deshalb ist es wichtig beim Rohstoffanbau entsprechend den Vorgaben „guter landwirtschaftlicher Praxis“ vorzugehen.

Die Verwendung von Reststoffen und Gülle wirkt sich durch vermiedene Emissionen aus der Referenznutzung vorteilhaft aus. Für Reststoffe ist die Referenznutzung in den meisten Fällen die Kompostierung und für die Gülle die Lagerung und Ausbringung der unvergorenen Gülle. Die längeren Transportdistanzen bei der Verwendung von Reststoffen im Vergleich zu nachwachsenden Rohstoffen sind für die Umweltauswirkungen des Gesamtsystems von geringer Bedeutung. Eine optimierte Rohstoff-Logistik ist trotzdem zu empfehlen. Zu beachten ist jedoch, dass Reststoffe, die bereits vor der Errichtung eines Biogassystems zur Energieerzeugung eingesetzt wurden, z.B. Zuführung von fetthaltigen Reststoffen zu anaeroben Abwasserreinigungsprozessen und dadurch erhöhte Methanausbeuten im Klärgas, keinen Vorteil für das Biogassystem darstellen. In diesem Fall werden keine anderen Energieträger ersetzt.

Ausbringtechnik von Gärresten

Hinsichtlich der bei der Ausbringung von flüssigen organischen Düngern (Gülle, Gärreste) erhöhten Gefahr der Ammoniakemissionen sind neben technischen Maßnahmen vor allem auch die Witterungsbedingungen zu beachten. Die Ausbringung von Gärresten sollte nach Möglichkeit bei kühler, feuchter Witterung (ideal bei leichtem Regen) und „annähernder“ Windstille erfolgen. Untersuchungen zeigen, dass die Ausbringung am Abend anstatt in der Früh oder mittags geringere NH_3 -Emissionen verursacht und damit die Stickstoffverluste deutlich reduziert. Vor allem in wärmeren Jahreszeiten sollten dickflüssige Gärreste (Trockenmasse-Gehalt > 8%) nach Möglichkeit mit Wasser im Verhältnis von 1:0,5 bis 1:1 verdünnt werden – dies verringert ebenfalls die Ammoniakemissionen und senkt zugleich das Risiko der Futterverschmutzung bei der Ausbringung im Grünland. Aus pflanzenbaulicher Sicht ist die Ausbringung kleinerer Teilgaben zu empfehlen (10 bis 15 m^3 pro Hektar), nach Möglichkeit sollten diese im Ackerbau in stehende Bestände zwischen den Reihen eingebracht werden. Bei der Ausbringung von Gärresten auf noch nicht bewachsenen Ackerflächen ist für eine umgehende Einarbeitung zu sorgen.

Untersuchungen belegen, dass eine bodennahe Applikation von Gärresten zu einer beachtlichen Absenkung der Ammoniakemissionen führen kann. Neben der

Schleppschlauchtechnik, die im Vergleich zur konventionellen Breitverteilung mittels Prallteller zu einer Reduktion der Ammoniakemissionen um bis zu 60% führen kann, bieten sich auch noch andere Möglichkeiten wie etwa Schleppschuh- und Schlitzdrilltechnik an. Allerdings sind diese im Grünland zugleich auch mit einer mechanischen Beeinflussung der Grasnarbe verbunden, ganz besonders trifft dies auf die so genannte Gülleinjektion zu, die kann jedoch zu höheren Lachgasemissionen führen. Zur Schleppschlauchtechnik ist anzumerken, dass sich hierfür besonders flüssige Gärreste eignen, die gut zwischen den Schlauchabständen zerfließen und rasch in den Wurzelbereich infiltrieren.

Im aktuellen Österreichischen Aktionsprogramm ist festgehalten, dass Geräte zum Ausbringen von Düngemittel eine sachgerechte Mengenbemessung und Verteilung gewährleisten müssen und dass bei der Auswahl der Geräte hinsichtlich des Bodendruckes auf die Gelände- und Bodenbeschaffenheit angemessen Rücksicht zu nehmen ist. Die Dosierung wird bei herkömmlichen Druckfässern im Wesentlichen über die Fahrgeschwindigkeit bzw. über die Arbeitsbreite und bei Pumpfässern zusätzlich über die Drehzahlregelung der Pumpe variiert. Insbesondere in Hanglagen ist allerdings die Fahrgeschwindigkeit stark begrenzt und daher muss hier eher über die Arbeitsbreite reguliert werden, die allerdings bei Prallteller- und Vertikalverteiltern nur bedingt und häufig nur in Verbindung mit einer schlechteren Querverteilung möglich ist. Die Verteilgenauigkeit stellt neben der Dosierung ein zentrales Anforderungskriterium an die Ausbringtechnik dar. Entscheidend für die Auswahl eines Verteilsystems sind vor allem nachfolgende Leistungskriterien:

Effektive Arbeitsbreite, Verteilgenauigkeit, erforderliche Überlappungsbreite und Überlappungstoleranz, Einstellmöglichkeit der Arbeitsbreite, exakter Beginn und exaktes Ende der Ausbringung am Feldanfang und -ende, Windempfindlichkeit, Handhabung und Einstellmöglichkeiten sowie die Hangtauglichkeit.

Eine Prüfung unterschiedlicher Verteilsysteme zeigte, dass auch mit der herkömmlichen Pralltellertechnik durchaus befriedigende bis gute Verteilgenauigkeiten erreicht werden können. Grundvoraussetzung dafür ist allerdings ein exakter Anbau und eine optimale Einstellung der jeweiligen Verteiler. Bei Pralltellern mit verstellbarer Arbeitsbreite betrifft dies in erster Linie die Neigung des Prallbleches, die Distanz zwischen Prallteller und Düse, die Düsengröße bzw. die verstellbare Federklappe. Eine meist ebenfalls befriedigende bis gute Verteilgenauigkeit kann mit den Vertikalverteiltern erzielt werden, Pendel- und Schwenkdüsenverteiler zählen neben den Schleppschlauchverteiltern zu den Systemen mit sehr guten bis optimalen Verteilbildern und weisen zudem auch eine geringe bis mittlere Windanfälligkeit auf.

Nachdem die Bildungsmechanismen von Lachgas im Boden zwar bekannt sind, aber momentan nicht mit der nötigen Genauigkeit wissenschaftlich quantifiziert werden können (Edelmann et al. 2001), können keine allgemeinen Erfolgsfaktoren für die Reduktion der Lachgasemissionen aus dem Boden abgeleitet werden.

Wärmenutzung

Je höher die Abwärmenutzung der Biogasanlage ist, desto vorteilhafter ist der Betrieb der Anlage da Wärmeerzeugung auf Basis anderer Energieträger vermieden werden kann. Das bewirkt eine weitere Reduktion des Beitrags zum Treibhauseffekt beim Ersatz von fossilen Energieträgern (Öl, Gas) bzw. von Luftschadstoffen beim Ersatz von Hackgut, Pellet oder Stückholz mit konventioneller Heizkesseltechnologie.

Geschlossenes Endlager

Durch ein geschlossenes Endlager können Methanemissionen mit Beitrag zum Treibhauseffekt und zur bodennahen Ozonbildung sowie Ammoniakemissionen mit Beitrag zur Versauerung verringert werden und eine höhere Energieausbeute (mehr Methan zur Strom-, Wärme- oder Biomethanherzeugung) erzielt werden, als bei Anlagen mit einem offenem Endlager.

BHKW

Emissionen und Methanschlupf aus dem BHKW sollen minimiert werden. Motoreinstellungen müssen auf die Biogaszusammensetzung abgestimmt sein und Emissionsbegrenzungen auch bei Schwankung der Biogasqualität eingehalten werden. Das Einhalten von Wartungsintervallen und das Durchführen eines Service durch Fachpersonal sind hierfür wichtig. Keines der untersuchten Systeme war mit einem Katalysator ausgestattet. Der Einsatz eines Katalysators kann zur Emissionsreduktion beitragen.

Ersatz von fossilen Energieträgern

Ein Biogassystem ist vorteilhaft, wenn dadurch ein Ersatz von fossilen Energieträgern erzielt werden kann. Der Ersatz von anderen erneuerbaren Energieträgern (speziell Wasserkraft oder Windkraft) bringt keine Veränderung der Umweltsituation und ist nicht anzustreben.

5. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Im Projekt wurde eine Lebenszyklusanalyse für sechs verschiedene Biogassysteme durchgeführt. Dabei wurden die ökologischen Auswirkung der gesamten Biogasprozesskette berücksichtigt, inklusive der Errichtung, des Betriebs sowie der Entsorgung der Komponenten einer Biogasanlage. Weiters wurde die Referenznutzung der Anbaufläche (z.B. landwirtschaftliche Futterproduktion), der Reststoffe (z.B. Kompostierung) und der Gülle (Lagerung und Ausbringung der unvergorenen Gülle) miteinbezogen.

Die untersuchten Biogassysteme wurden zur Bewertung der Umweltauswirkungen drei Referenzsystemen gegenübergestellt:

- fossile Referenzsysteme: Strom aus Erdgas; Wärme aus Heizöl; Treibstoff aus Erdgas
- reale Referenzsysteme: Situation vor Errichtung der Biogasanlage - Strom: österreichischer Strommix; Wärme: entsprechend lokaler Gegebenheiten; Treibstoff: 70% Diesel und 30% Benzin
- erneuerbare Referenzsysteme: Strom: 49% Wasserkraft, 20% Biomasse, 30% Windkraft, 1% PV; Wärme: 50% Hackgut und 50% Pellet; Treibstoff: 70% Biodiesel und 30% Bioethanol

Die Datensammlung erfolgte anhand von Betriebsdaten der untersuchten Biogasanlagen und wurde durch Literaturdaten und Expertenwissen ergänzt. Speziell wurden Literaturrecherchen zu Emissionsfaktoren der Gärrestlagerung und -aufbringung durchgeführt sowie Nährstoffbilanzen für die Biogassysteme erstellt.

Zusammenfassend können die Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse für die untersuchten Umweltauswirkungen wie folgt beschrieben werden:

Beitrag zum Treibhauseffekt

Im Vergleich zu den untersuchten Biogassystemen erhöhen die „fossilen Referenzsysteme“ und die „realen Referenzsysteme“ den Beitrag zum Treibhauseffekt in allen Fällen. In Abhängigkeit von den untersuchten Systemen liegt die Erhöhung durch die „fossilen Referenzsysteme“ zwischen 140% und 6.810% und durch die „realen Referenzsystemen“ zwischen 20% und 2.270%.

Der Beitrag zum Treibhauseffekt der Biogassysteme ist bei der Verwendung von Reststoffen und Gülle geringer als beim Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen. Beim Vergleich von „erneuerbaren Referenzsystemen“ mit den Biogassystemen tritt nur im Vergleich zum Biogassystem, das ausschließlich Reststoffe verwendet, eine Erhöhung des Beitrags zum Treibhauseffekt von 37 kg CO₂-Äq. / (0,61 MWh Strom + 0,39 MWh Wärme) auf. Diese Erhöhung durch das reale Referenzsystem ergibt sich aus vermiedenen Emissionen der Kompostierung, die beim Biogassystem auftreten.

Beitrag zur Versauerung

Im Vergleich zu den untersuchten Biogassystemen verringern die Referenzsysteme den Beitrag zur Versauerung zwischen 50% und 90%. Der höhere Beitrag der Biogassysteme ergibt sich hauptsächlich durch die NH₃-Emissionen bei der Gärrestaufbringung und -lagerung.

Beitrag zur bodennahen Ozonbildung

Im Vergleich zu den Biogassystemen, die Strom und Wärme bereitstellen, verringern die Referenzsysteme den Beitrag zur bodennahen Ozonbildung zwischen 45% und 80%.

Im Vergleich zum Biogassystem, in dem Biomethan erzeugt, ins Erdgasnetz eingespeist und als Treibstoff für einen PKW eingesetzt wird, erhöhen die Referenzsysteme mit flüssigem Treibstoff den Beitrag zur bodennahen Ozonbildung zwischen 40 und 70%. Das Referenzsystem mit Erdgas als Treibstoff weist ähnliche Werte wie das Biogassystem auf.

Staub-Emissionen

„Fossile Referenzsysteme“ reduzieren die Staub-Emissionen im Vergleich zu den Biogassystemen ca. um die Hälfte. Erneuerbare Referenzsysteme weisen signifikant höhere Staub-Emissionen auf, wenn Hackgut oder Pellet zur Wärmeerzeugung verwendet werden.

Fossiler Primärenergiebedarf

Die Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse zeigen, dass die „fossilen Referenzsysteme“ und die „realen Referenzsysteme“ den fossilen Primärenergiebedarf im Vergleich zu den untersuchten Biogassystemen erhöhen. In Abhängigkeit von den untersuchten Systemen liegt die Erhöhung durch die „fossilen Referenzsysteme“ zwischen 520% und 2.170% und durch die „realen Referenzsystemen“ zwischen 90% und 780%.

„Erneuerbare Referenzsysteme“ reduzieren den fossilen Primärenergiebedarf im Vergleich zu den Biogassystemen um 41% bis 88%. Ausgenommen ist das Biogassystem, in dem Biomethan erzeugt, ins Erdgasnetz eingespeist und als Treibstoff eingesetzt wird. Hier zeigt das erneuerbare Referenzsystem eine Erhöhung von 140%.

Da nur eine Anlage untersucht wurde, die Biogas aufbereitet und ins Erdgasnetz einspeist, kann im Rahmen dieser Bewertung keine allgemeine Aussage darüber getroffen werden, welche Art der Biogasnutzung (Aufbereitung versus Strom- und Wärmeerzeugung in einem BHKW) vorteilhafter ist. Für diese Fragestellung wird auf das weiterführende Projekt „Biogas Gesamtbewertung - Ökologische, ökonomische und sozialwissenschaftliche Gesamtbetrachtung von Biogas aus dem Gasnetz als Kraftstoff und in stationären Anwendungen“ (Grazer Energieagentur 2010) hingewiesen.

In Abbildung 59 sind als Beispiel die Ergebnisse für eines der untersuchten Biogassysteme im Verhältnis zu den untersuchten Referenzsystemen dargestellt. Tabelle 46 gibt eine Übersicht über die relative Veränderung der Umweltauswirkung der Referenzsysteme im Vergleich zu den Biogassystemen.

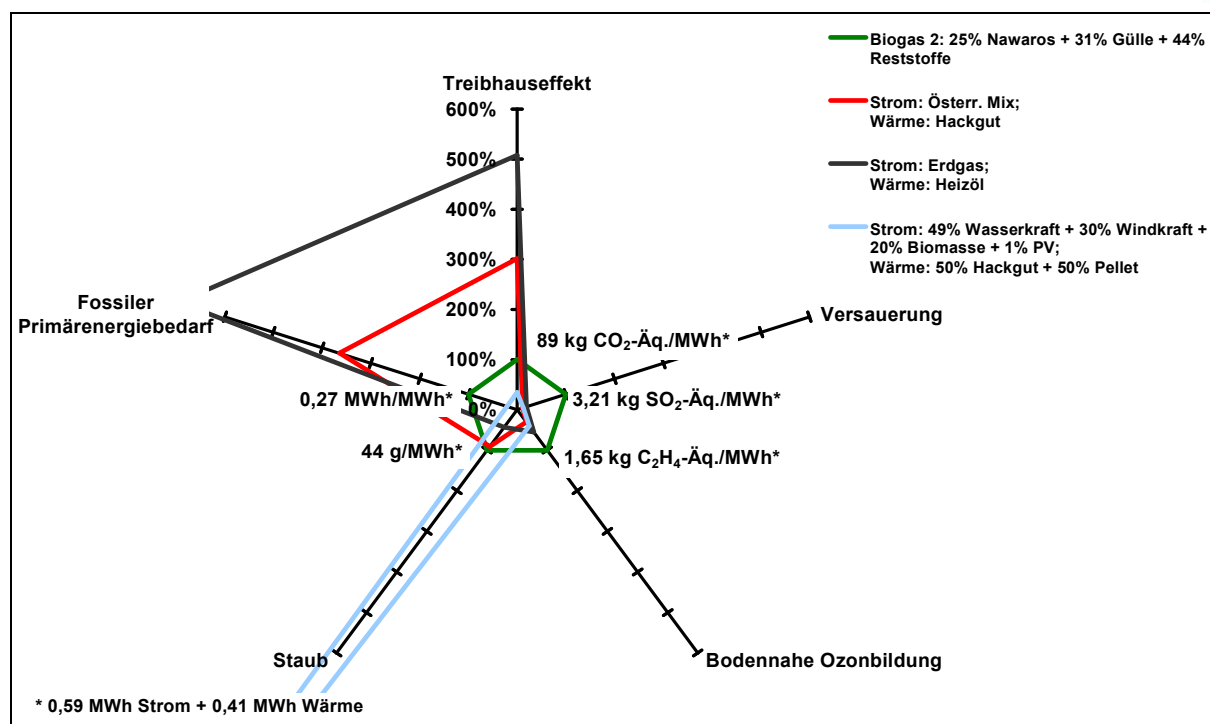


Abbildung 59: Vergleich der Umweltauswirkungen für das Biogassystem Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe. (Bezugsbasis mit 100% bildet das Biogassystem. Für die Referenzsysteme ist die relative Abweichung zum Biogassystem dargestellt)

Tabelle 46: Übersicht über die relative Veränderung der Umweltauswirkung der Referenzsysteme im Vergleich zu den untersuchten Biogassystemen

Veränderung der Umweltauswirkung	reales Referenzsystem		fossiles Referenzsystem		erneuerbares Referenzsystem	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Treibhauseffekt	20%	2.270%	140%	6.810%	-80%	550%
Versauerung	-90%	-60%	-90%	-50%	-90%	-70%
Bodennahe Ozonbildung	-80%	40%	-50%	-9%	-80%	70%
Staub	-10%	1.890%	-80%	-50%	190%	1.900%
Fossiler Primärenergiebedarf	90%	780%	520%	2.170%	-90%	140%

positiver Wert: Erhöhung im Vergleich zu Biogassystemen
negativer Wert: Reduktion im Vergleich zu Biogassystemen

Basierend auf den durchgeführten Analysen und den Ergebnissen der Lebenszyklusanalyse konnten folgende ökologische Erfolgsfaktoren für einen nachhaltigen Betrieb von Biogasanlagen gefunden werden:

Rohstoff

Der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen hat grundsätzlich höhere Umweltauswirkungen als die Nutzung von Reststoffen und Gülle. Bei der Verwendung von Reststoffen ist jedoch zu beachten, dass Reststoffe, die bereits vor der Errichtung eines Biogassystems (z.B. in Kläranlagen) zur Energieerzeugung eingesetzt wurden, keinen Vorteil für das Biogassystem darstellen, da in diesem Fall keine zusätzlichen fossilen Energieträger ersetzt werden. Bei der Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen ist beim Rohstoffanbau entsprechend „guter landwirtschaftlicher Praxis“ vorzugehen, um die Umweltauswirkungen so gering wie möglich zu halten.

Ausbringtechnik von Gärresten

Zur Minderung von Ammoniakemissionen bei der Ausbringung von Gärresten sind folgende Aspekte zu beachten:

- Ausbringung bei kühler, feuchter Witterung (ideal bei leichtem Regen) und „annähernder“ Windstille
- Ausbringung am Abend statt in der Früh
- Dickflüssige Gärreste (Trockenmasse-Gehalt > 8%) sollten mit Wasser im Verhältnis von 1:0,5 bis 1:1 verdünnt werden
- Ausbringung kleinerer Teilgaben, Einbringung in stehende Bestände
- Einsatz von Ausbringtechniken, die eine bodennahe Applikation ermöglichen (Schleppschlauchtechnik, Schleppschuh- und Schlitzdrilltechnik)
- Die Geräte zur Ausbringung von Gärresten müssen eine sachgerechte Mengenbemessung und Verteilung gewährleisten.

Wärmenutzung

Je höher die Abwärmenutzung der Biogasanlage ist, desto vorteilhafter ist der Betrieb der Anlage, da Wärmeerzeugung auf Basis anderer Energieträger vermieden werden kann. Das bewirkt eine weitere Reduktion des Beitrags zum Treibhauseffekt beim Ersatz von fossilen Energieträgern (Öl, Gas) bzw. von Luftschadstoffen beim Ersatz von Hackgut oder Pellet mit konventioneller Heizkesseltechnologie.

Geschlossenes Endlager

Durch ein geschlossenes Endlager können Methanemissionen mit Beitrag zum Treibhauseffekt und zur bodennahen Ozonbildung sowie Ammoniakemissionen mit Beitrag zur Versauerung verringert werden und eine höhere Energieausbeute (mehr Methan zur Strom-, Wärme- oder Biomethanherzeugung) erzielt werden, als bei Anlagen mit einem offenem Endlager.

BHKW

Emissionen und Methanschlupf aus dem BHKW sollen minimiert werden. Motoreinstellungen müssen auf die Biogaszusammensetzung abgestimmt sein und Emissionsbegrenzungen auch bei Schwankung der Biogasqualität eingehalten werden. Das Einhalten von Wartungsintervallen und das Durchführen eines Service durch Fachpersonal sind hierfür wichtig. Keines der untersuchten Systeme war mit einem Katalysator ausgestattet. Der Einsatz eines Katalysators kann zur Emissionsreduktion beitragen.

Ersatz von fossilen Energieträgern

Ein Biogassystem ist vorteilhaft, wenn dadurch ein Ersatz von fossilen Energieträgern erzielt werden kann. Der Ersatz von anderen erneuerbaren Energieträgern bringt keine Veränderung der Umweltsituation und ist nicht anzustreben.

Im Hinblick auf die Leitprinzipien der Nachhaltigkeit konnte festgestellt werden, dass Biogas günstig zum Prinzip der Nutzung erneuerbarer Ressourcen und zum Effizienzprinzip beiträgt. Zum Prinzip der Sicherung von Lebensqualität kann keine eindeutige Aussage getroffen werden.

Auf Basis der Projektergebnisse können folgende Empfehlungen für zukünftigen Forschungsbedarf abgeleitet werden:

Die vorliegenden Werte für Emissionen bei der Aufbringung und Lagerung von organischen Düngern (speziell N_2O -Emissionen, NH_3 -Emissionen und CH_4 -Emissionen) unterliegen einer hohen Schwankungsbreite. Hier besteht Bedarf für repräsentative Messungen, die für zukünftige Bewertungen herangezogen werden können. Grundsätzlich wäre die Verbesserung der Datenlage durch weitere repräsentative empirische Untersuchungen notwendig.

Bei den untersuchten Biogassystemen reichen die zur Verfügung stehenden Flächen für die Aufbringung der Gärreste entsprechend der geltenden Richtlinien und Grenzwerte aus. Die Einhaltung der Grenzwerte ist abhängig von der Art der Bepflanzung der landwirtschaftlichen Nutzflächen. Hier besteht Forschungsbedarf aus ökologischer und ökonomischer Sicht für Verfahren zur Gärrestaufbereitung.

Im Bereich der Rohstoffaufbereitung besteht Forschungsbedarf für verfahrenstechnische Optimierungen des Biogasprozesses (z.B. Erhöhung des Energiegewinnungspotentials durch den Einsatz von trägergebundenen Mikroorganismen).

6. Literaturverzeichnis

Aktionsprogramm 2008: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über das Aktionsprogramm 2008 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen, CELEX-Nr.: 391L0676

Amon 1998: Amon,B., NH₃-, N₂O- und CH₄-Emissionen aus der Festmistverfahrenskette Milchviehanbindehaltung Stall-Lagerung-Ausbringung. 1998. Universität für Bodenkultur, Institut für Land- Umwelt und Energietechnik.

Amon et al 2002: Amon,B., Moitzi,C., Wagner-Alt,C., Kryvoruchko,V., Amon,T., and Boxberger,J., Methane, Nitrous Oxide and Ammonia Emissions from Management of Liquid Manures. 2002. Wien, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft BMLFUW.

Amon et al 2005: Amon,B., Kryvoruchko,V., Amon,T., and Zechmeister-Boltenstern,S. (2005) Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. Agriculture, Ecosystems & Environment 112: 153-162.

Baserga 1994: Baserga,U., Egger,K. und Wellinger,A., Biogas aus Festmist. FAT-Berichte, Nr. 451, 1994

BMLFUW 2006: Richtlinien für die sachgerechte Düngung. Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz. 6. Auflage, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien, 80 S.

BMLFUW 2007: Der sachgerechte Einsatz von Biogasgülle und Gärrückständen im Acker- und Grünland. 2. Auflage, Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz des BMLFUW, Wien, 31S

BMVIT 2010: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie: Leitprinzipien nachhaltiger Technologieentwicklung, <http://www.nachhaltigwirtschaften.at/programme/prinzipien.html>, 9.6.2010

Braun 1995: BRAUN,R. Hrsg.: Internationale Erfahrungen mit der Verwertung biogener Abfälle zur Biogasproduktion (IFA Tulln, 1996), Vol. 14 Tagungsberichte, Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Umweltbundesamt

Clemens et al 2002: Clemens,J., Wolter,M., Wulf,S., and Ahlgrim,H.-J. Methan- und Lachgas-Emissionen bei der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.(KTBL). 406, 203-214. 2002. Münster, KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH. KTBL-Schrift. 3-12-0001.

Clemens et al 2006: Clemens,J., Trimborn,M., Weiland,P., and Amon,B. Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle slurry. Agriculture, Ecosystems & Environment 112: 171-177, 2006.

De Bode et al 1991: De Bode,M., Nielson,V., Voorburg,J., and L'Hermite,P. Odour and ammonia emissions from livestock farming. 59-66. 1991. London. 26-3-1991.

Döhler 2001: Eurich-Menden,B., Döhler,H., and Grimm,E. Ammoniak-Emissionen bei der Ausbringung von Fest- und Flüssigmist sowie Minderungsmaßnahmen., Kurzfassung der Tagungsbeiträge. 45|03, 20-21. 2001. Kloster Banz, Kuratorium für

Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt. Emissionen der Tierhaltung - Kurzfassung der Tagungsbeiträge.

DSM Agro 2006: Zusammensetzung Wirtschaftsdünger [WWW document]. URL <http://www.nutrinorm.nl/de/html/algemeen/Wirtschaftsdunger/zusammensetzungWD.pshe>

E-Control 2009: Energie Control GmbH: Gesamt Versorgung Kalenderjahr 2007, Datenstand Oktober 2009 [WWW document], <http://www.e-control.at>

Edelmann et al 2001: Edelmann,W., Schleiss,K., Engeli,H., and Baier,U.: Ökobilanz der Stromgewinnung aus landwirtschaftlichem Biogas, Arbeitsgemeinschaft Bioenergie (arbi), 2001

ENTSO-E 2008: European Network of Transmission System Operators for Electricity: Statistical Yearbook 2008, Values of 15.08.2009, Edition September 2009, Pages 12-13.

EU-Nitratrichtlinie 1991: Richtlinie 91/676/EWG des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen, Amtsblatt Nr. L 375 vom 31/12/1991

European Commission 2002: Nitrogen Equivalents in Livestock Manure. Luxembourg, 25 pp.

FNR 2005: Ergebnisse des Biogas-Messprogramms. Herausgegeben durch die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR), erstellt durch die Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) Seite 97

FNR 2006: Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung, Herausgegeben durch die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR), erstellt durch: Institut für Energetik und Umwelt GmbH; Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL); Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL); ISBN 3-00-014333-5

Frisch et al 2005: Frisch,J., Fröba,N., Funk,M., and Weiershäuser,L. Kalkulationsprogramm zur KTBL-Datensammlung Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/05, Maschinen-, Arbeits- und Verfahrenskosten in der Pflanzenproduktion. 2005. Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL).

Funaki and Parris 2005: Funaki,Y. and Parris,K.: The OECD agricultural nutrient balance indicators: establishing a consistent OECD set of nitrogen and phosphorus coefficients. European Commission Workshop “Nitrogen and phosphorus in livestock manure”, 2005, Brüssel

Grazer Energieagentur 2010: Grazer Energieagentur, Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH, Universität für Bodenkultur, IFZ Interuniversitäres Forschungszentrum für Technik, Arbeit, Kultur: Biogas Gesamtbewertung - Ökologische, ökonomische und sozialwissenschaftliche Gesamtbetrachtung von Biogas aus dem Gasnetz als Kraftstoff und in stationären Anwendungen, Projekt der Programmlinie Energie der Zukunft, geplante Fertigstellung 12/2010.

Haas et al 2008: Haas,R.; Ajanovic,A.; Kloess,M.; Nakicenovic,N.; Könighofer,K.; Cabella,L.; Jungmeier,G.; Prenninger,P.; Rechberger,J.: Szenarien der (volks) wirtschaftlichen Machbarkeit alternativer Antriebssysteme und Kraftstoffe im Bereich

des individuellen Verkehrs bis 2050; Technische Universität Wien, Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft; Wien, Jänner 2008

Haber et al 2008: Haber et al: Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Möglichkeiten zu ihrer geordneten pflanzenbaulichen Verwertung. Ltz – Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Karlsruhe, des Ministeriums für Ernährung und ländlichen Raum Baden-Württemberg, 2008, Seite 26

Handler und Rahtbauer 2005: Handler,F. und Rathbauer,J.: Kraftstoff- und Arbeitszeitbedarf in der österreichischen Landwirtschaft. 2005.

Hersener et al 2002: Hersener,J.L., Meier,U., Dinkel,F.: Ammoniakemissionen aus Gülle und deren Minderungsmaßnahmen unter besonderer Berücksichtigung der Vergärung, Amt für Umweltschutz Kanton Luzern, Bundesamt für Energie, 2002

Hinz und Hoek 2006: Hinz,T., K. van der Hoek: PM Emissions from Arable Agriculture. Paper presented at the Agriculture and Nature expert Panel, 7th Joint Task Force & EIONET Meeting on emission Inventories and Projections, Thessaloniki, Oct. 30 – Nov. 2, 2006.

Hofbauer et al 2008: Hofbauer,H., Schönberger,C., Jungmeier,G., Canella,L., Pucker,J., Hausberger,S.: FT-Treibstoffe aus Biomasse in Österreich - Biomassepotential, Technologien und ökonomische und ökologische Relevanz, Kapitel 6 - Ökologie, Endbericht, TU Wien, Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und technische Biowissenschaften, 2008.

Hüther und Schuchardt 1998: Hüther,L. und Schuchardt,F. Einflußfaktoren auf die Schadgasfreisetzung bei der Lagerung/Kompostierung tierischer Exkremente. Präsidialbüro und Öffentlichkeitsarbeit der FAL. 104. 1998. Braunschweig, Selbstverlag der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL). Jahresbericht 1997.

IPCC 2007: Intergovernmental Panel on Climate Change: Fourth Assessment Report "Climate Change 2007" - Working Group I Report "The Physical Science Basis", <http://www.ipcc.ch>

Jäkel und Mau 1999: Jäkel und Mau: Umweltwirkung von Biogasgülle, Abschlussbericht zum Forschungsprojekt, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden, 1999, Seite 13

Jungmeier et al 2003: Jungmeier,G., Hausberger,S., Canella,L.: Treibhausgas-Emissionen und Kosten von Transportsystemen, Endbericht, JOANNEUM RESEARCH, Graz 2003

Kaparaju et al 2003: Kaparaju,P.L.N., Rintala,J.,A.: Effects of temperature on post-methanation of digested dairy cow manure in a farm-scale biogas production system. Environmental Technology, 2003, Vol. 24. pp 1315-1321

Koch 2009: Koch, M.: Ökologische und ökonomische Bewertung von Co-Vergärungsanlagen und deren Standortwahl, Dissertation Universität für Karlsruhe, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, 2009

KTBL 2005: Faustzahlen für die Landwirtschaft, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., 13. Auflage, KTBL Darmstadt

Kuhn 1995: Kuhn, E.: Kofermentation. KTBL-Schrift 219, KTBL Darmstadt, 1995

Külling et al 2001: Külling,D., Menzi,H., Neftel,K., Sutter,P., Lischer,P., and Kreuzer,M.: Emission of ammonia, nitrous oxide and methane from different types of dairy manure during storage as affected by dietary protein content. Journal of Agricultural Science 137: 235-250, 2001.

Kyvoruchko 2004: Kryvoruchko,V. Methanbildungspotential von Wirtschaftsdüngern aus der Rinderhaltung und der Wirkung der Abdeckung und anaeroben Behandlung auf klimarelevante Emissionen bei der Lagerung von Milchviehflüssigmist. 2004. Universität für Bodenkultur, Wien, Department für Nachhaltige Agrarsysteme, Institut für Landtechnik. 2004.

Laaber et al 2007: Laaber,M., Madlener,M., Brachtl,E., Kirchmayr,R.: Aufbau eines Bewertungssystems für Biogasanlagen – „Gütesiegel Biogas“. Endbericht Energiesysteme der Zukunft, 2007.

LFL 2010: Gruber-Tabelle zur Fütterung der Milchkühe, Zuchtrinder, Schafe, Ziegen. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. 32. Auflage, 86 S

LfU 2002: Bayrisches Landesamt für Umweltschutz (LfU): Biogasanlagen - Anforderungen zur Luftreinhaltung.. 17-10-2002. Augsburg, Bayrisches Landesamt für Umweltschutz (LfU).

Öko-Institut 2009: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.5, Öko-Institut e.V., Institut für angewandte Ökologie, <http://www.oeko.de/service/gemis/de/index.htm>

Olesen et al 2004: Olesen J.E., Weiske A., Asman W. A., Weisbjerg M.R., Djurhuus J., Schelde K.: FarmGHG – A model for estimating greenhouse gas emissions from livestock farms, Documentation, 2004

Ortenblad 2000: Ortenblad,H.: The use of digested slurry within agriculture, Making energy and solving modern waste problems, Ortenblad H., Herning municipal utilities, Denmark, 2000.

Pötsch 2004: Pötsch,E.M.: Nährstoffgehalt von Gärrückständen aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen und deren Einsatz im Dauergrünland, Abschlussbericht zum Forschungsprojekt BAL 2941, 2004.

Pötsch et al 2004: Pötsch,E.M., Pfundtner,E. and P. Much: Nutrient content and hygienic properties of fermentation residues from agricultural biogas plants. 19th EGF-Meeting in Luzern, 2004, CH,

Reindl 2005: Reindl,K. Ökologische und Ökonomische Bewertung relevanter Energiepflanzen zur Biogaserzeugung. 28-4-2005. FH-Wieselburg.

Reinhold 2009: Reinhold,G.: Einfluss der Biogaserzeugung auf das Restgaspotential und Eigenschaften der Gärreste sowie die Anforderungen an Gärrestlager, Internationale Bio- und Deponiegas Fachtagung „Synergien nutzen und voneinander lernen III“, 28./29. April 2009, Weimar

Resch et al 2006: Resch,R., Guggenberg,T., Gruber,L., Ringdorfer,.F., Buchgraber, K., Wiedner,G., Kasal,A. und Wurm,K.: Futterwerttabellen für das Grundfutter im Alpenraum. Der Fortschrittliche Landwirt, Heft 24/2006, 20 S

Resch et al 2006: Resch,R., Guggenberger,T. Wiedner,G. Kasal,A. Wurm,K., Gruber,L., Ringdorfer,F. und Buchgraber,K.: Futterwerttabellen 2006 für das Grundfutter im Alpenraum, HBLFA Raumberg Gumpenstein, Futtermittellabor Rosenau, Versuchszentrum Laimburg, Landwirtschaftskammer Steiermark, 2006.

Ross et al 1999: Ross,A., Fübekker,A., Seipelt,F., Steffens,G., and Kowalwky,H. Quantifizierung der Freisetzung von klimarelevanten Gasen aus Güllebehältern mit und ohne Strohhäckselabdeckaung. 1999. Berlin. UBA Texte.

Schimpl 2001: Schimpl,M.: Die Wirkung von Flüssigmistzusätzen auf die Emission der klima- und umweltrelevanten Gase Methan, Ammoniak, Lachgas und Kohlendioxid während der Lagerung von Rinderflüssigmist. 2001. Universität für Bodenkultur.

Schulz et al 2001: Schulz H. und Eder B.: Biogas Praxis, Grundlagen-Planung-Anlagenbau-Beispiele; ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg; 2001, Deutschland; ISBN 3-922964-59-1; 165 Seiten,

Sommer 1997: Sommer,S.G. Ammonia volatilization from farm tanks containing anaerobically digested animal slurry. Atmospheric Environment 31: 863-868, 1997.

Sommer et al 2000: Sommer,S.G., Petersen,S.O., and Sogaard,H.T. Greenhouse gas emission from stored livestock slurry. J Environ Qual 29: 744-751, 2000.

Sommer und Hutchings 2001: Sommer S.G. and Hutchings N.J.: Ammonia emission from field applied manure and its reduction--invited paper. European Journal of Agronomy 15, 2001.

STATISTIK AUSTRIA 2009: Energiestatistik: Energiebilanzen aus Österreich 1970 - 2008, Stand 17.11.2008. Erstellt am: 9.12.2008 - Aufgliederung nach Struktur der Nutzenergieanalyse (NEA) 2005, www.statistik.at.

Taube und Pötsch 2001: Taube, F. and E. M. Pötsch. On-farm nutrient balance assessment to improve nutrient management on organic dairy farms. Grassland Science in Europe, 6, 225-235, 2001.

Tragner et al 2008: Tragner,F., Lins,S., Hornbacher,D., Kryvoruchko,V., Konrad,G., Bomatter,A.: Biogas Branchenmonitor - Erhebung von Wirtschaftsdaten und Trends zu Biogas in Österreich, Berichte aus Energie und Umweltforschung 41/2008, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien

UBA 2009: Österreichisches Umweltbundesamt: Austrias National Inventory Report 2009, Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change

UBA 2009a: Österreichisches Umweltbundesamt: Emissionstrends 1990–2007, Ein Überblick über die österreichischen, Verursacher von Luftschadstoffen (Datenstand 2009), Report REP 0234, Wien 2009.

UBA 2009b: Österreichisches Umweltbundesamt: Austrias Informative Inventory Report (IIR) 2009, Submission under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, Report REP-0218, Wien 2009.

UBA 2009c: Österreichisches Umweltbundesamt: GEMIS-Österreich – Globales Emissions Modell Integrierter Systeme für Österreich, Österreich Datensatz für Version 4.5., 2009.

UNECE 1999: Draft guidance documents on control techniques and economic instruments to the protocol to abate acidification, eutrophication and ground-level ozone. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). EB.AIR/1999/2, 98-102. 11-10-1999. Geneva, Switzerland, UNECE.

VDLUFA 2004: VDLUFA-Standpunkt 2004: „Humusbilanzierung“ Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (Hrsg.) 30.04.2004

Vogt 2008: Vogt,R.,. Basisdaten zu THG-Bilanzen für Biogas-Prozessketten und Erstellung neuer THG-Bilanzen, ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, 2008.

Wagner 2002: Wagner-Alt,C. CH₄-, NH₃- und N₂O-Emissionen aus der Lagerung von Milchviehflüssigmist und Reduzierungsmöglichkeiten. Universität für Bodenkultur. 2002.

Wasserrechtsgesetz – WRG (1959): idF BGBl. I Nr. 123/2006

Woess-Gallasch et al 2007: Woess-Gallasch,S., Enzinger,P., Jungmeier,G., Padinger,R.: Treibhausgasemissionen aus Biogasanlagen. JOANNEUM RESEARCH, Institut für Energieforschung, Im Auftrag des Landesenergievereins Steiermark, Graz, Juni 2007.

Wulf et al 2002a: Wulf,S., Maeting,M., and Clemens,J. Application Technique and Slurry Co-Fermentation Effects on Ammonia, Nitrous Oxide, and Methane Emissions after Spreading: I. Ammonia Volatilization. J Environ Qual 31: 1789-1794, 2002.

Wulf et al 2002b: Wulf,S., Maeting,M., and Clemens,J. Application Technique and Slurry Co-Fermentation Effects on Ammonia, Nitrous Oxide, and Methane Emissions after Spreading: II. Greenhouse Gas Emissions. J Environ Qual 31: 1795-1801, 2002.

Wulf et al 2005: Wulf,S., Jager,P., and Döhler,H.: Balancing of greenhouse gas emissions and economic efficiency for biogas-production through anaerobic co-fermentation of slurry with organic waste. Agriculture, Ecosystems & Environment 112: 178-185, 2005.

7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Phasen einer Lebenszyklusanalyse nach ISO 14040:2006.....	13
Abbildung 2: Schema zur Bewertung eines Bioenergiesystems im Vergleich zu einem fossilen Referenzsystem mittels LCA	14
Abbildung 3: Kohlenstoff- und Energieflüsse für Bioenergiesysteme und fossile Energiesysteme (Jungmeier et al 2003)	15
Abbildung 4: Biogassystem „Biogas 1: 100% Reststoffe“ im Vergleich zum fossilen Referenzsystem „Strom: Erdgas; Wärme: Heizöl“	19
Abbildung 5: Biogassystem „Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe“ im Vergleich zum fossilen Referenzsystem „Strom: Erdgas; Wärme: Heizöl“	20
Abbildung 6: Biogassystem „Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe“ im Vergleich zum fossilen Referenzsystem „Strom: Erdgas; Wärme: Heizöl“	22
Abbildung 7: Biogassystem „Biogas 4: 100% Nawaros“ im Vergleich zum fossilen Referenzsystem „Strom: Erdgas; Wärme: Heizöl“	23
Abbildung 8: Biogassystem „Biogas 5: 100% Nawaros“ im Vergleich zum fossilen Referenzsystem „Strom: Erdgas; Wärme: Heizöl“	24
Abbildung 9: Biogassystem „Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe“ im Vergleich zum fossilen Referenzsystem „Strom: Erdgas; Wärme: Heizöl“	26
Abbildung 10: Prozesskette des Biogassystems als Basis für die Datenerhebung .	31
Abbildung 11: oTS-Abbau in zweistufigen Biogasanlagen in Abhängigkeit von HRT; blau: Laaber 2007: 41 untersuchte Biogasanlagen; rot: mehrere oTS-Messungen einer Forschungsanlage Substrat, oTS-Gehalt in Haupt- und Nachfermenter sowie im offenen Endlager)	41
Abbildung 12: Beitrag zum Treibhauseffekt von „Biogas 1: 100% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen.....	64
Abbildung 13: Beitrag zum Treibhauseffekt von „Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen ...	65
Abbildung 14: Beitrag zum Treibhauseffekt von „Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen	66
Abbildung 15: Beitrag zum Treibhauseffekt von „Biogas 4: 100% Nawaros“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen.....	67
Abbildung 16: Beitrag zum Treibhauseffekt von „Biogas 5: 100% Nawaros“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen.....	68
Abbildung 17: Beitrag zum Treibhauseffekt von „Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen ...	69
Abbildung 18: Beitrag zum Treibhauseffekt von „Biogas 4: 100% Nawaros“ der einzelnen Prozessschritte.....	70
Abbildung 19: Vergleich des Beitrags zum Treibhauseffekt von 5 Biogassystemen in Abhängigkeit der Wärmenutzung	71

Abbildung 20: Beitrag zur Versauerung von „Biogas 1: 100% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen.....	72
Abbildung 21: Beitrag zur Versauerung von „Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen.....	73
Abbildung 22: Beitrag zur Versauerung von „Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen.....	74
Abbildung 23: Beitrag zur Versauerung von „Biogas 4: 100% Nawaros“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen.....	75
Abbildung 24: Beitrag zur Versauerung von „Biogas 5: 100% Nawaros“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen.....	76
Abbildung 25: Beitrag zur Versauerung von „Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe“	77
Abbildung 26: Beitrag zur Versauerung von „Biogas 4: 100% Nawaros“ aufgeteilt in einzelne Prozessschritte.....	78
Abbildung 27: Vergleich des Beitrags zur Versauerung von 5 Biogassystemen in Abhängigkeit der Wärmenutzung	79
Abbildung 28: Beitrag zur bodennahen Ozonbildung von „Biogas 1: 100% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen	80
Abbildung 29: Beitrag zur bodennahen Ozonbildung von „Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen ...	81
Abbildung 30: Beitrag zur bodennahen Ozonbildung von „Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen	82
Abbildung 31: Beitrag zur bodennahen Ozonbildung von „Biogas 4: 100% Nawaros“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen	83
Abbildung 32: Beitrag zur bodennahen Ozonbildung von „Biogas 5: 100% Nawaros“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen	84
Abbildung 33: Beitrag zur bodennahen Ozonbildung von „Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe“	85
Abbildung 34: Beitrag zur bodennahen Ozonbildung von 5 Biogassystemen in Abhängigkeit der Wärmenutzung	86
Abbildung 35: Staub-Emissionen von „Biogas 1: 100% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen	87
Abbildung 36: Staub-Emissionen von „Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen.....	88
Abbildung 37: Staub-Emissionen von „Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen.....	89
Abbildung 38: Staub-Emissionen von „Biogas 4: 100% Nawaros“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen	90
Abbildung 39: Staub-Emissionen von „Biogas 5: 100% Nawaros“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen	91
Abbildung 40: Staub-Emissionen „Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe“	92

Abbildung 41: Vergleich der Staub-Emissionen von 5 Biogassystemen in Abhängigkeit der Wärmenutzung	93
Abbildung 42: Fossiler Primärenergiebedarf von „Biogas 1: 100% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen.....	94
Abbildung 43: Fossiler Primärenergiebedarf von „Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen	95
Abbildung 44: Fossiler Primärenergiebedarf von „Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen	96
Abbildung 45: Fossiler Primärenergiebedarf von „Biogas 4: 100% Nawaros“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen.....	97
Abbildung 46: Fossiler Primärenergiebedarf von „Biogas 5: 100% Nawaros“ im Vergleich zu verschiedenen Referenzsystemen.....	98
Abbildung 47: Fossiler Primärenergiebedarf „Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe“	99
Abbildung 48: Fossiler Primärenergiebedarf von „Biogas 4: 100% Nawaros“ aufgeteilt in einzelne Prozessschritte	100
Abbildung 49: Vergleich des fossilen Primärenergiebedarfs von 5 Biogassystemen in Abhängigkeit der Wärmenutzung	100
Abbildung 50: Beitrag zum Treibhauseffekt von „Biogas 1: 100% Reststoffe“ in Abhängigkeit von den N ₂ O- und CH ₄ -Emissionen bei der Kompostierung	102
Abbildung 51: Beitrag zum Treibhauseffekt von „Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe“ in Abhängigkeit von den N ₂ O- und CH ₄ -Emissionen bei der Gärrestlagerung.....	103
Abbildung 52: Beitrag zum Treibhauseffekt für „Biogas 4: 100% Nawaros“ in Abhängigkeit der N ₂ O-Emissionen bei der Gärrestaufbringung.....	104
Abbildung 53: Beitrag zum Treibhauseffekt von „Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe“ in Abhängigkeit des CH ₄ -Schlupfs im BHKW.....	105
Abbildung 54: Beitrag zum Treibhauseffekt von „Biogas 4: 100% Nawaros“ mit offenem Endlager (reale Situation) und geschlossenem Endlager	106
Abbildung 55: Beitrag zum Treibhauseffekt von „Biogas 1: 100% Reststoffe“ in Abhängigkeit von der Transportdistanz	107
Abbildung 56: Beitrag zum Treibhauseffekt für das System „Biogas 5: 100% Nawaros“ unterteilt in den Anteil ohne Bauvorleistungen und den Anteil für Bauvorleistungen.....	108
Abbildung 57: Beitrag zum Treibhauseffekt von „Biogas 2: 25% Nawaros+31% Gülle + 44% Reststoffe“ im Vergleich zu den Referenzsystemen „Strom: Kohle; Wärme: Heizöl“ und „Strom: Windkraft; Wärme: Hackgut“	109
Abbildung 58: Beitrag zur Versauerung von „Biogas 5: 100% Nawaros“ in Abhängigkeit der NH ₃ -Emissionen bei der Gärrestaufbringung.....	110
Abbildung 59: Vergleich der Umweltauswirkungen für das Biogassystem Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe. (Bezugsbasis mit 100% bildet das Biogassystem. Für die Referenzsysteme ist die relative Abweichung zum Biogassystem dargestellt).....	117

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eckdaten der untersuchten Biogasanlagen	11
Tabelle 2: Äquivalenzfaktoren der Emissionen mit Beitrag zum Treibhauseffekt (IPCC 2007)	17
Tabelle 3: Äquivalenzfaktoren der Emissionen mit Beitrag zur Versauerung (Öko-Institut 2009).....	17
Tabelle 4: Äquivalenzfaktoren der Emissionen mit Beitrag zur Ozonbildung (Öko-Institut 2009).....	17
Tabelle 5: Grunddaten zur Sammlung von Reststoffen für „Biogas 1: 100% Reststoffe“	32
Tabelle 6: Grunddaten zum Anbau von nachwachsenden Rohstoffen für „Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe“	33
Tabelle 7: Grunddaten zur Sammlung von Reststoffen und Gülle für „Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe“	33
Tabelle 8: Grunddaten zum Anbau von nachwachsenden Rohstoffen für „Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe“	33
Tabelle 9: Grunddaten zur Sammlung von Reststoffen und Gülle für „Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe“	33
Tabelle 10: Grunddaten zum Anbau von nachwachsenden Rohstoffen für „Biogas 4 : 100% Nawaros“	33
Tabelle 11: Grunddaten zum Anbau von nachwachsenden Rohstoffen für „Biogas 5: 100% Nawaros“	34
Tabelle 12: Grunddaten zum Anbau von nachwachsenden Rohstoffen für „Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe“	34
Tabelle 13: Grunddaten zur Sammlung von Reststoffen und Gülle für „Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe“	34
Tabelle 14: Grunddaten zur Rohstofflagerung.....	34
Tabelle 15: Grunddaten zur Vorbehandlung der Rohstoffe für die Biogaserzeugung.....	35
Tabelle 16: Grunddaten zur Biogaserzeugung	35
Tabelle 17: Grunddaten zur Biogasaufbereitung	36
Tabelle 18: Grunddaten zur Strom- und Wärmeerzeugung	36
Tabelle 19: Grunddaten zur Gärrestbehandlung	36
Tabelle 20: Beton für die Errichtung der Biogasanlagen	37
Tabelle 21: Stahl für die Errichtung der Biogasanlagen.....	37
Tabelle 22: Zusammensetzung verschiedener Güllen/Gärreste (Wulf et al. 2006, Clemens et al. 2006, Amon et al. 2006, Kryvoruchko et al. 2004, Pötsch 2004, Haber et al. 2008, Sommer und Hutchings 2001, Hersener et al. 2002, Schulz und Eder 2001)	38
Tabelle 23: Einflussfaktoren auf die Ammoniakemissionen durch die Ausbringung der Gülle (nach Sommer und Hutchings 2001).....	39

Tabelle 24: Emissionsfaktoren für Ammoniakemissionen bei der Ausbringung (Mittelwerte aus Amon et al. 2005; Clemens et al. 2006; Edelmann et al. 2001; Sommer and Hutchings 2001; Wulf et al. 2002a.)	40
Tabelle 25: Einfluss der Ausbringtechnik auf die Ammoniakemissionen (Referenz = Prallteller)	40
Tabelle 26: Emissionsfaktoren der Methanemissionen bei der Lagerung (Amon et al., 2005; Clemens et al., 2006; Edelmann et al. 2001; Kryvoruchko, 2004)	42
Tabelle 27: Emissionsfaktoren für Ammoniakemissionen bei der Lagerung (Amon et al. 2002; Amon et al. 2005; Clemens et al. 2006; De Bode et al. 1991; Hüther and Schuchardt 1998; Kryvoruchko 2004; Sommer 1997; Wagner-Alt 2002; Wulf et al. 2005)	43
Tabelle 28: Korrekturfaktoren für unterschiedliche Einflüsse auf die Ammoniakemission	43
Tabelle 29: Emissionsfaktoren für Lachgasemissionen bei der Lagerung (Amon et al. 1998; Amon et al. 2002; Amon et al. 2005; Clemens et al., 2006; Hüther and Schuchardt 1998; Kryvoruchko 2004; Külling et al. 2001; Olesen et al. 2004; Ross et al. 1999; Schimpl 2001; Sommer et al. 2000)	44
Tabelle 30: Zusammenfassung der verwendeten Emissionsfaktoren (für verschiedene Arten von Dünger)	45
Tabelle 31: Zusammenfassung der Emissionsfaktoren für die untersuchten Biogasanlagen	46
Tabelle 32: Emissionsfaktoren für CH ₄ , N ₂ O und NH ₃ bei der Kompostierung (BMLFUW, 2005)	47
Tabelle 33: Rohstoffe und Nährstoffinput für die Anlage 1	52
Tabelle 34: Verfügbare Nährstoffmengen im Gärrest der Biogasanlage 1	53
Tabelle 35: Rohstoffe und Nährstoffinput für die Biogasanlage 2	54
Tabelle 36: Verfügbare Nährstoffmengen im Gärrest der Biogasanlage 2	54
Tabelle 37: Rohstoffe und Nährstoffinput für die Biogasanlage 3	55
Tabelle 38: Verfügbare Nährstoffmengen in den Gärreste der Biogasanlage 3	55
Tabelle 39: Rohstoffe und Nährstoffinput für die Biogasanlage 4	56
Tabelle 40: Verfügbare Nährstoffmengen in der Biogasgülle der Biogasanlage 4	56
Tabelle 41: Rohstoffe und Nährstoffinput für die Biogasanlage 5	57
Tabelle 42: Verfügbare Nährstoffmengen in der Biogasgülle der Biogasanlage 5	57
Tabelle 43: Rohstoffe und Nährstoffinput für die Biogasanlage 6	57
Tabelle 44: Verfügbare Nährstoffmengen im Gärrest der Biogasanlage 6	58
Tabelle 45: Landwirtschaftlicher Flächenbedarf der untersuchten Biogassysteme für den Anbau von eingesetzten Nawaros und die Ausbringung der Gärreste	101
Tabelle 46: Übersicht über die relative Veränderung der Umweltauswirkung der Referenzsysteme im Vergleich zu den untersuchten Biogassystemen	117



ANHANG A ANLAGENBESCHREIBUNG UND GRUNDDATEN

S. Siegl, A. Stuhlbacher, F.J. Ebner-Ornig

JUNI 2010

Inhaltsverzeichnis

A-1. Biogas 1: 100% Reststoffe	2
A-2. Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe	5
A-3. Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe	9
A-4. Biogas 4: 100% Nawaros	18
A-5. Biogas 5: 100% Nawaros	26
A-6. Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe	32

A-1. Biogas 1: 100% Reststoffe

In Anlage 1 werden ausschließlich Abfallstoffe vergoren. Die Anlage wurde gemäß der Gewerbeordnung (GewO 1994, i.d.g.F) mit Bedachtnahme auf das Arbeitnehmerschutzgesetz (ASchG 1994, i.d.g.F), das Abfallwirtschaftsgesetz (AWG 1990, i.d.g.F) und dem Wasserrechtsgesetz (WRG 1959, i.d.g.F) genehmigt.

Die Anlage setzt sich aus einer Vorgrube mit 78,5m³, 3 liegenden Rohrfermentern mit je einer Kapazität von 160m³, 2 stehenden Nachfermentern (in die Erde eingelassene Betonzyylinder) mit je 1000m³ und einem geschlossenen Endlager (ebenfalls eingelassener Betonzyylinder) mit einem Fassungsvermögen von 500m³ zusammen. Die Biogasanlage wird im mesophilen Bereich bei ca. 38°C betrieben, wobei die 3 Rohrfermenter sowie die 2 Nachfermenter beheizt werden. Die bei der Befüllung der Vorgrube mit Substrat verdrängte Luft wird über einen Biofilter gereinigt, um Geruchsbelästigungen vorzubeugen. Das beim Fermentationsprozess erzeugte Gas wird in einem Niederdruck – Biogasspeicher (PVC-Foliensack) mit einer Kapazität von 330m³ zwischengelagert und in weiterer Folge in 2 BHKWs (180kW_{el} und 100kW_{el}) zur Produktion von Wärme und Strom eingesetzt.

Anbau und Ernte Nachwachsender Rohstoffe

In der Biogasanlage werden keinerlei nachwachsende Rohstoffe verarbeitet.

Transport Reststoffe

Für alle Substrate wurden der durchschnittliche Transportweg zur Biogasanlage, die Art und Leistung des Transportmittels sowie dessen Transportkapazität als Parameter erhoben. Angaben zu einzelnen Fraktionen aus Abfallsammlungen basieren auf Schätzungen in Abhängigkeit der Größe des Einzugsgebietes.

Lagerung der Reststoffe

Die Vorgrube ist so dimensioniert, dass eine kontinuierliche Beschickung der 3 Rohrfermenter für mindestens 3 Tage (z.B. Wochenende) gewährleistet werden kann. Die 3 Rohrfermenter, die nach dem Pfropfenströmprinzip arbeiten und mit einem Haspelrührwerk mit integrierter Heizung ausgestattet sind, sind für eine Vergärung von ca. 4.500 – 5.000t aufbereitetem Material / Jahr ausgelegt.

Vorbehandlung Reststoffe

Die Aufbereitung des Materials findet am Standort der nahe gelegenen kommunalen Kläranlage statt. Die Mengen der angelieferten biogenen Abfälle sind über Lieferverträge mit dem Abfallverwertungsunternehmen fixiert. Küchenabfälle, welche den Hauptanteil der Materialien ausmachen, und andere Lebensmittelfraktionen wie z.B. überlagerte Lebensmittel und Biomüll, werden nach der Zerkleinerung mit einer Hammerrmühle und Entfernung von Verpackungsmaterialien und anderen Störstoffen hygienisiert. Dieser Vorgang ist laut EU-Hygieneverordnung 1774/2002 vorgeschrieben, um die Verbreitung von Seuchen und Krankheiten zu verhindern. Die Hygienisierung erfolgt bei 70°C über einen Zeitraum von 60 Minuten. Materialien, die nicht hygienisiert werden müssen, werden direkt in eine der 2 Mischgruben bzw. in die Beschickungs- oder Vorgrube eingebracht.

Biogaserzeugung

Die allgemeinen Prozesskennndaten sowie die Grunddaten wurden als Parameter erhoben.

Biogas-Kapazität [Nm³/h]: 120; Volllaststunden [h/a]: 8760; Lebensdauer [a]: 12

Substrate: Küchen- und Speiseabfälle, überlagerte Lebensmittel (5936t), Molkereiabfälle (185t), Biomüll (289t), Lederspäne (75t), Gras (6t), Flotatschlamm (10t), verdorbenes Saatgut (8t), Stärkeschlamm (44t), Rückstände Fettabscheider (104t)

Der Strombedarf für die Biogaserzeugung basiert auf Aufzeichnungen des Anlagenbetreibers.

Materialaufwand

Abschätzungen zum Materialaufwand verschiedener Anlagenteile erfolgten aufgrund von Planunterlagen sowie Abmessungen vor Ort. Die Menge an verwendetem Baustahl wurde aus der Betonmenge abgeschätzt. (0,017t Stahl/t Beton)

Output

Biogas: Angaben zur produzierten Biogasmenge beruhen auf kontinuierliche Messungen durch den Anlagenbetreiber.

Der CH₄-, CO₂ sowie der H₂S-Gehalt des Biogases basiert auf empirischen Messwerten.¹

CH ₄	%	60-70
CO ₂	%	30-40
H ₂ S	%	0,01-0,02

Gärrest: Angaben zu den produzierten Gärrestmengen basieren auf Aufzeichnungen des Anlagenbetreibers. Im Untersuchungszeitraum fielen insgesamt 6102t/a an.

Entschwefelung

Es findet eine Entschwefelung durch Lufteintrag statt.

BHKW

Für die Verwertung des Biogases stehen 2 BHKWs in unterschiedlicher Größe zur Verfügung. Die allgemeinen Prozesskennndaten wurden als Parameter erhoben.

Leistung (elektrisch)	[kW]	100	180
Leistung (thermisch)	[kW]	140	248
Nutzungsgrad elektrisch	[%]	36	36
Nutzungsgrad thermisch	[%]	51	51
Katalysator	[ja/nein]	nein	nein

Der Schmierölbedarf wurde aus der Anzahl der Ölwechsel und der Wechselmenge sowie dem Ölverbrauch berechnet.

- BHKW1: Ölverbrauch 1060 L/a
- BHKW2: Ölverbrauch 1060 L/a

Die produzierten Strom- und Wärmemengen wurden als Parameter erhoben:

¹ Thaller, A. (2007): Einfluss verschiedener Substrate und Betriebsparameter auf die Qualität von Biogas. Diplomarbeit, Joanneum Research

produzierte Strommenge	[MWh/a]	1699
Wärmemenge	[MWh/a]	3399
Wärmemenge, die genutzt wird	[MWh/a]	1384
Verwendung der Wärme für Nahwärmenetz im angeschlossenen Industriepark .		

Endlager und Gärrestbehandlung

Die allgemeinen Prozesskenndaten wurden als Parameter ermittelt bzw. basieren auf empirischen Untersuchungen.

Zur Lagerung der Biogasgülle steht ein geschlossenes Endlager mit einem Volumen von 500m³ zur Verfügung.

Durchschnittliche Zusammensetzung des Gärrestes:

Im Untersuchungszeitraum wurden 3081t des anfallenden Gärrestes mittels einer Dekanterzentrifuge unter Zusatz von Kalk und Eisen(III)chlorid behandelt. Nachfolgende Analysenergebnisse beziehen sich auf Nährstoffgehalte der unbehandelten Biogasgülle, dem Presskuchen aus der Aufbereitung sowie dem daraus resultierendem Sickerwasser, welches in die örtliche kommunale Abwasserreinigungsanlage eingebracht wurde.²

		Gärrestaufbereitung	
	Gärrest unbehandelt	Presskuchen aus Aufbereitung	Sickerwasser
Menge	3021t	925t	2156t
	Gärrest unbehandelt	Presskuchen aus Aufbereitung	Sickerwasser
	kg/t	kg/t	kg/t
N	6,3	5,7	1,5
P	2,0	6,0	0,03
Ca	2,8	10,5	0,1
K	0,7	1,0	0,5
C	24,2	105	0,3

Transport Dünger

Insgesamt wurden 3946t Gärreste produziert, die zu 100% außerhalb des Systems landwirtschaftlich verwertet wurden.

Düngung

Hinsichtlich konkreter Aufbringungsmengen verkaufter Gärrestmengen in der landwirtschaftlichen Produktion außerhalb des Systems oder sonstiger Anbaukriterien liegen keine Daten vor.

² Berghold, H.& Reinhofer M.(2007): Untersuchungsergebnisse im Rahmen von RENET 2007. Joanneum Research

A-2. Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe

Die Anlage wird von Vollerwerbslandwirten und einem Gewerbebetrieb betrieben. Es werden Wirtschaftsdünger (vorwiegend Schweinegülle) mit nachwachsenden Rohstoffen (vorwiegend Maissilage (MEX) und Corn cob mix (CCM)) sowie abfallwirtschaftliche Co-Substrate (Speiseabfälle, Flotate, Fettabscheiderinhalte) vergoren. Die Anlage hat eine thermische Nennleistung von 621 kW mit einem Bruttoenergieertrag von 11.700 MWh/a, sowie eine elektrische Nennleistung von 500 kW. Sie verfügt über zwei Fermenter für ein Substratvolumen von je rund 1.400 m³ und einen dritten Versuchs-Fermenter mit 150 m³. In den Fermentern sind je zwei Rührwerke eingebaut. Die Substrate - Speiseabfälle, Fettabscheiderinhalte und Schlachthofflotate - werden vor der Vergärung einer Hygienisierung bei 70°C über 1 Stunde unterzogen. Das hygienisierte Material wird in einer eigenen Grube gesammelt und dann zusammen mit Gülle in den Fermenter eingebracht. Die Feststoffe werden ebenfalls zusammen mit Gülle in die Fermenter eingebracht.

Anbau und Ernte Nachwachsender Rohstoffe

Neben abfallwirtschaftlichen Co-Substraten werden in der Biogasanlage Silomais (Ganzpflanzensilage), Maiskornsilage und Schweinegülle vergoren.

INPUT

Hilfsmaterial

Düngemittel

Für die Düngung der nachwachsenden Rohstoffe wird ausschließlich Gärrest verwendet (keine synthetischen Düngemittel). Die durchschnittliche Ausbringungsmenge liegt bei 23,6 m³/(ha*a). Gärrestanalysen aus dem Endlager (n=6) ergaben folgende Durchschnittswerte.

TS [%]	4,2
oTS [% TS]	71,2
TKN [kg/t]	4,6
P [kg/t]	1,8
K [kg/t]	1,6
Ca [mg/kg]	2,7

Andere

Pflanzenschutzmittel: bei den verwendeten nachwachsenden Rohstoffen werden 1,5 kg Herbizide pro ha und Jahr eingesetzt.

Hilfsenergie

Maschineneinsatz

Der durchschnittliche Treibstoffverbrauch aller eingesetzten Maschinen im gesamten Produktionsprozess wurde durch den Anwender mit 86 L/ha*a bekanntgegeben.

Für die Ausbringung der Biogasgülle stehen rund 420 ha (151 ha innerhalb des Systems, 269 ha außerhalb des Systems) zu Verfügung. Unter den Bedingungen im Untersuchungszeitraum werden ca. 20% der Biogasgülle durch Injektion und rund 80% mittels Schleppschlauch auf den zur Verfügung stehenden Flächen aufgebracht.

OUTPUT

Produkte

Rohstoff

Produktionsspezifische Angaben:

Rohstoff	Silomais (GPS)	Maiskornsilage
Hektarertrag [t/(ha*a)]	65	13
Menge [t/a]	2378	1485
Fläche [ha/a]	37	114
Wassergehalt [%]	61	36

Transport Rohstoffe

Nachwachsende Rohstoffe, Wirtschaftsdünger, Reststoffe

Für alle Substrate wurden der durchschnittliche Transportweg zur Biogasanlage, die Art und Leistung des Transportmittels sowie dessen Transportkapazität als Parameter erhoben.

Lagerung der Rohstoffe

Die Lagerung der Nachwachsenden Rohstoffe erfolgt in 3 Fahrsilos, mit einem Gesamtvolumen von 4000m³. Die Lagerung der Schweinegülle erfolgt in einer Vorgrube V=250m³. Das hygienisierte Material wird ebenfalls in einer eigenen Sammelgrube gelagert.

Abschätzungen zum Materialaufwand der einzelnen Anlagenteile erfolgten aufgrund von Planunterlagen sowie Abmessungen vor Ort. Die Menge an verwendetem Baustahl wurde aus der Betonmenge abgeschätzt. (0,017t Stahl/t Beton)

Vorbehandlung Rohstoffe

Die Substrate - Speiseabfälle, Fettabscheiderinhalte und Schlachthofflotate - werden vor der Vergärung einer Hygienisierung bei 70°C über 1 Stunde unterzogen.

Biogaserzeugung

Die allgemeinen Prozesskenndaten sowie die Grunddaten wurden als Parameter erhoben.

Biogas-Kapazität [Nm³/h]: 275; Volllaststunden [h/a]: 8760; Lebensdauer [a]: 12

Substrate: Silomais (2378t), Maiskornsilage (1485t), Schweinegülle (4800t), Rückstände Fettabscheider (510t), Flotatschlamm (2453t), Obstabfälle (725t), Speisereste (2990t).

Der Strombedarf für die Biogaserzeugung basiert auf Aufzeichnungen des Anlagenbetreibers.

Materialaufwand

Abschätzungen zum Materialaufwand verschiedener Anlagenteile erfolgten aufgrund von Planunterlagen sowie Abmessungen vor Ort. Die Menge an verwendetem Baustahl wurde aus der Betonmenge abgeschätzt. (0,017t Stahl/t Beton)

Output

Biogas: Angaben zur produzierten Biogasmenge beruhen auf kontinuierliche Messungen durch den Anlagenbetreiber.

Der CH₄- sowie der H₂S-Gehalt des Biogases basiert auf Angaben durch den Anlagenbetreiber.

CH ₄	%	60-64
H ₂ S	%	0,0015

Gärrest: Angaben zu den produzierten Gärrestmengen basieren auf Aufzeichnungen des Anlagenbetreibers. Im Untersuchungszeitraum fielen insgesamt 11.500t/a an.

Entschwefelung

Es findet eine Entschwefelung durch Lufteintrag statt.

BHKW

Die allgemeinen Prozesskenndaten wurden als Parameter erhoben, es werden 2 baugleiche BHKWs verwendet.

Leistung (elektrisch)	[kW]	500	500
Leistung (thermisch)	[kW]	620	620
Nutzungsgrad elektrisch	[%]	36	36
Nutzungsgrad thermisch	[%]	50	50
Katalysator	[ja/nein]	nein	nein
Volllaststunden	[h/a]	8700	1080
Lebensdauer	[a]	12	12

Der Schmierölbedarf wurde aus der Anzahl der Ölwechsel und der Wechselmenge sowie dem Ölverbrauch berechnet.

BHKW1: Ölverbrauch 1260 L/a

BHKW2: Ölverbrauch 660 L/a

Die produzierten Strom- und Wärmemengen wurden als Parameter erhoben:

produzierte Strommenge	[MWh/a]	5233
Wärmemenge	[MWh/a]	4532
Wärmemenge, die genutzt wird	[MWh/a]	3671

Verwendung der Wärme für Firmen, Wohnhäuser, Schweinemastbetrieb

Endlager und Gärrestbehandlung

Die allgemeinen Prozesskenndaten wurden als Parameter ermittelt bzw. basieren auf empirischen Untersuchungen.

Im Jahr fallen durchschnittlich 11.500 t an Gärresten mit einem mittleren Trockensubstanzgehalt von 4,2% an, die in einem geschlossenen Endlager mit einem Volumen von 1.500 m³ bzw. offenen Lagunen und sonstigen Güllebehältern mit einem Volumen von ca. 5.000 m³ bei den abnehmenden Bauern gespeichert werden. Derzeit wird keine Gärrestbehandlung durchgeführt.

Durchschnittliche Zusammensetzung des Gärrestes:

TS [%]	4,2
oTS [% TS]	71,2
TKN [kg/t]	4,6
P [kg/t]	1,8
K [kg/t]	1,6
Ca [mg/kg]	2,7

Transport Dünger

Insgesamt wurden im Untersuchungszeitraum 11.500 t/a Gärreste produziert. 3554 t/a wurden auf Flächen aufgebracht, auf den Rohstoffe für die Biogasanlage angebaut werden. 7946 t/a stehen als zusätzlicher Dünger anderen Flächen zur Verfügung.

Für den Transport von Gärresten außerhalb des Systems werden Güllefässer mit einer Ladekapazität von 16t herangezogen. Die Transportdistanz beträgt ca. 15 km im Umkreis der Biogasanlage.

A-3. Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe

In Anlage 3 werden nachwachsende Rohstoffe (Silomais bzw. Maiskornsilage) und Schweinegülle vergoren. Sie besteht aus zwei Fermentern, die parallel beschickt werden, einem gasdicht abgedeckten Endlager, einem Gasspeicher sowie 2 BHKWs.

Anbau und Ernte Nachwachsender Rohstoffe

In der Biogasanlage werden Silomais (Ganzpflanzensilage) und Maiskornsilage vergoren. Die Referenznutzung der Flächen wäre die Körnermaisproduktion.

INPUT

Hilfsmaterial

Düngemittel

Für die Düngung der nachwachsenden Rohstoffe wird ausschließlich Gärrest verwendet (keine synthetischen Düngemittel). Die durchschnittliche Ausbringungsmenge liegt bei 28,73 m³/(ha*a). Die Gärrestanalyse ergab folgende Werte (IFA Tulln, 2005).

TKN [kg/t]	9,422
P [kg/t]	0,656
K [kg/t]	5,890
Ca [mg/kg]	1,564

Pflanzenschutzmittel: bei den verwendeten nachwachsenden Rohstoffen werden 4,5 kg Herbizide pro ha und Jahr eingesetzt.

Samenbedarf: 35 kg/(ha*a) für Silomais, 27,5 kg/(ha*a) für Maiskornsilage

Hilfsenergie

Maschineneinsatz

Der Anbau der verwendeten nachwachsenden Rohstoffe erfolgt im Direktsaatverfahren (Minimalbodenbearbeitung). Der dafür notwendige „Treibstoffbedarf gesamt“ wurde aus der Literatur ermittelt (Handler und Rathbauer, 2005.³):

Kraftstoffbedarf für eine standardisierte Maschinenausrüstung für die Bewirtschaftung eines Feldes von 2 ha Größe und 2 km Entfernung vom Bauernhof

Unterscheidung zwischen:

- Standardverfahren: Pflug, Saatbeetkombination; Pflug, kombinierter Anbau; Grubber, kombinierter Anbau (Kraftstoffbedarf kaum unterschiedlich) und
- Direktsaat (Minimalbodenbearbeitung)

Der gesamte Kraftstoff-Bedarf für den Ackerbau kann mit folgender Tabelle berechnet werden:

³ Handler, F. und Rathbauer, J.: Kraftstoff- und Arbeitszeitbedarf in der österreichischen Landwirtschaft. 2005.

Standardverfahren								
Substrat	Treibstoff	Traktor	Traktor	Traktor	Traktor	Feldhäcksler	Mährescher	Anzahl Arbeitsgänge
	l/ha							-
Leistung [kW]		83	67	54	45	250	125	
Verbrauch [l/h]		9,7	7,8	6,3	5,3	36,3	21,8	
CCM / Maiskornsilage	65,32	3		3			1	7
Grassilage Dauergrünland	3							
Schnitte	54,93	3		4		3		10
Klee gras Bestellung	40,70	3	1	1				5
Klee grassilage 3 Schnitte	56,72	3		4		3		10
Silomais	77,97	2		3		1		6
Sonnenblumen GPS	74,81	2		3		1		6
Grünschnittgetreide GPS	60,77	2		2	1	1		6
Weizen Korn	69,71	4		4	1		1	10

Minimalbodenbearbeitung								
Substrat	Treibstoff	Direktsaatmaschine	Traktor	Traktor	Traktor	Feldhäcksler	Mährescher	Anzahl Arbeitsgänge
	l/ha							-
Leistung [kW]		102	83	67	54	250	125	
Verbrauch [l/h]		11,9	9,7	7,8	6,3	36,3	21,8	
CCM / Maiskornsilage	43,19	1	1		2		1	5
Silomais	55,84	1			2	1		4

Der „Treibstoffverbrauch Verkehr“ für die Hin- bzw. Rückfahrt der landwirtschaftl. Maschinen zum Feld wird mit Hilfe des Treibstoffverbrauches/h der jeweiligen Maschine und der Entfernung Bauernhof – Feld berechnet wobei eine Geschwindigkeit von 30 km/h angenommen wird.

Entfernung Bauernhof – Feld: 8 km

Der Treibstoffverbrauch bei der Düngung mit Gärresten setzt sich aus dem Treibstoffverbrauch für den Transport der Gärreste zum Feld sowie dem Treibstoffverbrauch für die Ausbringung selbst zusammen.

Berechnung des Treibstoffverbrauches für den Transport der Gärreste:

Güllemenge	14.363 m³/a	
Entfernung BGA-Feld	8,0 km	
Vol. Güllefass	18 m³	
Ausbringfläche	500 ha	
Ausbringmenge	28,7 m³/ha	
Anzahl Fahrten	1,60 1/ha	(„Ausbringmenge“ / „Vol. Güllefass“)
durchschn. Geschw.	30 km/h	
Fahrtdauer	0,85 h/ha	(„Anzahl Fahrten“ * 2 * „Entfernung BGA-Feld“ / „durchsch. Geschwindigkeit“)
Leistung Transportfahrzeug	110,3 kW	
Kraftstoffverbr. Transport	12,86 L/h	
Treibstoffverbrauch	10,931 [L/(ha*a)]	

Die Werte für die Gärrestausbringung wurden der KTBL-Datenbank (Frisch et al., 2005⁴) entnommen.

Leistung Ausbringfahrzeug	147 kW
Ausbringmethode	Schleppschlauch
Kraftstoffbedarf	5,75 [L/(ha*a)]

OUTPUT

Produkte

Rohstoff

Die Hektarerträge sowie der Wassergehalt der verwendeten nachwachsenden Rohstoffe wurde als Parameter erhoben. Wobei es sich beim Wassergehalt mangels genauerer Daten um den Wassergehalt der Silagen handelt.

Rohstoff	Silomais (GPS)	Maiskornsilage
Hektarertrag [t/(ha*a)]	62,73	17,30
Menge [t/a]	4324	5542
Fläche [ha/a]	69	320
Wassergehalt [%]	63,5	32

Emissionen

Gasförmig

Gasförmige Emissionen entstehen durch die Düngung mit Gärrest. Für die Berechnung wurden Emissionsfaktoren aus der Literatur herangezogen (siehe Berichtsteil Abschnitt 3.3 Emissionen von Gülle- bzw. Gärrestmanagement). Zur Berechnung werden die gesamte ausgebrachte Gärrestmenge sowie die Stickstoff- und Ammoniumkonzentration des Gärrestes benötigt. Die Ausbringfläche beträgt 500 ha wobei nur 389 ha für die Bereitstellung der nachwachsenden Rohstoffe für die Biogasanlage benötigt werden.

Menge an ausgebrachtem Gärrest: 28,85 m³/(ha*a) (Dichte Gärrest 1t/m³)

Stickstoff (TKN): 8,37 kg/t (berechnet aus Nährstoffkreislauf)

Ammonium N (TAN): 4,4 kg/t (berechnet aus Nährstoffkreislauf)

Ausbringtechnik: 100% mit Schleppschlauch

	NH ₃ kg/ha	CH ₄ kg/ha	N ₂ O kg/ha
Wert	25,548	0,094	4,674
Abweichung +/-	19,510	0,080	

Der gesamte N-Eintrag entspricht dem N-Eintrag durch den Gärrest (TKN) abzüglich der Verluste während der Lagerung und der Ausbringung und beträgt 215,02 kg/(ha*a).

⁴ Frisch, J., Fröba, N., Funk, M., and Weiershäuser, L. Kalkulationsprogramm zur KTBL-Datensammlung Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/05, Maschinen-, Arbeits- und Verfahrenskosten in der Pflanzenproduktion. 2005. Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL).

Referenznutzung

Fläche

Es wurden ca. 69 ha Silomais und ca. 320 ha Maiskornsilage angebaut. Die gesamte Fläche wird im Referenzszenario für den Anbau von Körnermais als Futtermittel verwendet. Inputdaten für die Körnermaisproduktion siehe Maiskornsilage. Außer Düngereinsatz:

Kunstdünger		
Stickstoff [kg/(ha*a)]	140	
Phosphor [kg/(ha*a)]	85	(P ₂ O ₅)
Kalzium [kg/(ha*a)]	300	(K ₂ O)
Kalium [kg/(ha*a)]	200	(CaO)

Futtermittelerzeugung auf anderen Flächen (bei Verwendung der Anbauflächen für die Biogasproduktion)

Es wird davon ausgegangen, dass 1,2% der benötigten Menge durch Ertragssteigerungen abgedeckt werden können. Für den Rest wird Körnermais aus Ungarn importiert, wobei die gleichen Inputdaten wie für die Körnermaisproduktion in der Referenznutzung Fläche unterstellt wird.

Transport Rohstoffe

Nachwachsende Rohstoffe, Wirtschaftsdünger, Reststoffe

Für alle Substrate wurden der durchschnittliche Transportweg zur Biogasanlage, die Art und Leistung des Transportmittels sowie dessen Transportkapazität als Parameter erhoben.

	Silomais	Maiskorn- silage	Schweine- gülle	Rüben- schnitte	Gemüse -abfall	Weizen
	Traktor + Anhänger	Traktor + Anhänger	Traktor 93-111 kW	Traktor 93-111 kW	Traktor 59,2 kW	LKW
Transportmittel						
Ladefähigkeit [t]	10	10	15	20	4	20
Transportdistanz [km]	8	8	3	15	2	15
Menge [t/a]	4324	5542	7300	927	611	174
Wassergehalt	63,5	32	93,9	86,5	96,5	14
Anmerkung	Rückfahrt leer	Rückfahrt leer	Rückfahrt leer	Rückfahrt leer	Rückfahrt leer	Rückfahrt leer

Referenznutzung

	Schweinegülle		Rübenschnitte	Gemüseabfall	Weizen (verd.)
Referenznutzung	Offene unverg.	Lagerung / Ausbringung	Natürl. Abbau am Feld	Kompostierung	Kompostierung
Stickstoff [t/a]		36,485	3,337	0,917	3,330
Phosphor [t/a]		8,015	0,167	0,244	0,575
Kalium [t/a]		14,585	1,483	0,061	0,757

Referenznutzung Gülle

Menge an ausgebrachter Gülle: 29,2 m³/(ha*a) (Dichte Gärrest 1t/m³), 250 ha/a

Stickstoff (TKN): 4,998 kg/t (Messwert)
 Ammonium N (TAN): 3,213 kg/t (Messwert)
 Ausbringtechnik: 100% mit Schleppschauch

	NH ₃ kg/ha	CH ₄ kg/ha	N ₂ O kg/ha
Wert	22,92	0,10	2,75
Abweichung +/-	17,05	0,08	

Lagerung der Rohstoffe

Die Lagerung der nachwachsenden Rohstoffe erfolgt in 4 Fahrsilos, die ein Gesamtvolumen von 12800 m³ sowie eine Gesamtfläche von 3200m² aufweisen. Als Hilfsmaterial wird eine Silofolie verwendet (0,125 kg/m², 10% Verlust durch Überlappung etc.). Der Bedarf an Silofolie beträgt 440 kg/a. Der Treibstoffverbrauch für das Festfahren des Substrates wird nach Handler und Rathbauer 2005 mit 0,18 L Diesel/t Substrat angenommen. (1776 l/a)

Die Lagerung der Schweinegülle erfolgt in einer Vorgrube.

Baumaterialien: Abmessungen:

Fahrsilos: ca. 2282 t Beton

Gülle Vorgrube: V=135m³; ca. 60 t Beton

Sammelgrube (2x): V=200m³; ca. 165 t Beton

Die Menge an verwendetem Baustahl wurde aus der Betonmenge abgeschätzt.

Vorbehandlung Rohstoffe

Ein Teil (2215 t) des verwendeten Maiskorns wird gequetscht. Die verwendete Mühle hat eine Leistungsaufnahme von 30 kWh_{el} sowie einen Durchsatz von 40 t/ h, woraus sich jährlich eine Laufzeit von 55 h ergibt.

Biogaserzeugung

Die allgemeinen Prozesskennndaten sowie die Grunddaten wurden als Parameter erhoben.

Biogas-Kapazität [Nm³/h]: 452; Volllaststunden [h/a]: 7150; Lebensdauer [a]: 13

Substrate: Silomais (4108t), Maiskornsilage (5265t), Schweinegülle (7300t), Rübenschnitte (927t), Gemüseverarbeitung (611t), Weizen (174t)

Der genaue Strombedarf für die Biogaserzeugung alleine konnte nicht eruiert werden, der Eigenstrombedarf der gesamten Anlage liegt bei 450 000 kWh/a.

Output

Die jährlich produzierte Biogasmenge wurde über 3 verschiedene Wege ermittelt und daraus der Mittelwert berechnet. (Mittelwert: 3589379,33 Nm³/a)

- 1. Berechnungsmethode:
 el. Wirkungsgrad des BHKW (laut Anlagenhersteller) (η_{el}): 39,8%
 Jahresarbeit elektrisch (W_{el}): 7150000 kWh
 Heizwert Biogas (H_u): 5,28 kWh/Nm³
 jährl. Biogasmenge [Nm³/a] = W_{el} [kWh/a] / H_u [kWh/Nm³] / η_{el} = 3401993 Nm³/a
- 2. Berechnungsmethode:
 gemessene und auf Nm³ umgerechnete Biogasmenge: 10488,71 Nm³/d
 → 3828379 Nm³/a

- 3. Berechnungsmethode:
 gesamte zugeführte organische Trockensubstanz pro Jahr: 5514t
 C-Ausnutzungsgrad: 81,17%
 → 4475,7 t Biogas/a
 Biogaszusammensetzung: 51,2% CH₄ (16,04 g/mol), 45,5% CO₂ (44,01 g/mol)
 → Biogas: 28,237 g/mol (44,81 mol/Nm³)⁵
 → 3537766 Nm³/a

Der CH₄-, CO₂-, O₂-, N₂- sowie der H₂S-Gehalt des Biogases wurden gemessen.

CH ₄	%	51,2
CO ₂	%	45,5
O ₂	%	0,7
N ₂	%	2,6
H ₂ S	ppm	100,0

Der Heizwert wurde mit Hilfe der originalen Gaszusammensetzung berechnet. (H_u (CH₄) = 9,97 kWh/Nm³) und beträgt 5,1 kWh/Nm³. (Berechnung der originalen Biogaszusammensetzung siehe Anhang).

Die Menge an anfallendem Gärrest wird berechnet aus der Menge an eingesetztem Substrat (plus Wasser) abzüglich der produzierten Biogasmenge (plus Wasserdampf im Biogas).

Substrat: 18385 t/a; Wasser: 1000 m³/a; Biogas: 10488,71 Nm³/d → 13,27 t/d → 4844 t/a;
 Wasser im Biogas: 46,7 g/Nm³ → 0,49 t/d → 179 t/a
 → 14362 t/a

Baumaterialien: Abmessungen der Fermenter:

F1: Durchmesser: 20m, Höhe: 6,9m

F2: Durchmesser: 20m, Höhe: 6,4m

Ca. 380 t Beton. Die Menge an verwendetem Baustahl wurde aus der Betonmenge abgeschätzt (ca. 6,5 t). Die Mengen an Edelstahl für Gasleitungen (ca. 15t) und Kunststoff für Gasleitungen/Membranspeicher etc. (ca. 15t) wurden ebenfalls abgeschätzt.

Entschwefelung

Es findet eine Entschwefelung durch Lufteintrag statt, die Leistungsaufnahme der Gebläse ist jedoch nicht genau bekannt und im gesamten Stromeigenbedarf der Anlage enthalten.

BHKW

Die allgemeinen Prozesskenndaten wurden als Parameter erhoben, es werden 2 baugleiche BHKWs verwendet.

⁵ CH₄: 22,36 L/mol; CO₂: 22,262 L/mol; O₂: 22,392 L/mol; N₂: 22,402 L/mol; Gaszusammensetzung siehe nächsten Absatz

Leistung (elektrisch)	[kW]	500	500
Leistung (thermisch)	[kW]	517	517
Nutzungsgrad elektrisch	[%]	35,3	35,3
Nutzungsgrad thermisch	[%]	10,6	10,6
Katalysator	[ja/nein]	nein	nein
Volllaststunden	[h/a]	7749,68	6550,32
Lebensdauer	[a]	13	13
Marke		GE Jenbacher X12	GE Jenbacher X12

Der Schmierölbedarf wurde aus der Anzahl der Ölwechsel und der Wechselmenge sowie dem Ölverbrauch berechnet.

BHKW1: 5,6/a Wechsel, 210 L/Wechsel, Ölverbrauch 1900 L/a

BHKW2: 2/a Wechsel, 500 L/Wechsel, Ölverbrauch 1900 L/a

Die produzierten Strom- und Wärmemengen wurden als Parameter erhoben:

produzierte Strommenge	[MWh/a]	7150
eingespeiste Strommenge	[MWh/a]	6700
Wärmemenge	[MWh/a]	7393,1
Wärmemenge, die genutzt wird	[MWh/a]	2000
Verwendung der Wärme für		Nahwärmenetz

Für die Berechnung der Emissionen ist die Abgasmenge entscheidend:

Sie setzt sich zusammen aus der Biogasmenge plus der zur Verbrennung benötigten Menge an Sauerstoff plus der Menge an Stickstoff, der durch die Verbrennungsluft mit eingetragen wird. Diese Menge wird nun um die tatsächlich im Abgas gemessene Sauerstoffkonzentration (plus dem mit der Luft eingetragenen Stickstoff) erhöht. (29860030 Nm³/a).

Die CH₄-Emissionen aus dem BHKW (Methanschlupf) wurden nach LfU 2002 berechnet (siehe Anhang).

NO_x-, CO-, NMVOC- und SO₂-Emissionen

Bei den verwendeten Werten handelt es sich um den Mittelwert aus 6 Messungen durchgeführt am 20. Und 21. 4. 2005.

	ppm	"M _i g/mol"	"Emission mg/Nm ³ "
NO _x (als NO ₂)	113	46,01	232
NMVOC	21	36,03	33
CO	229	28,01	286
H ₂ S (im Biogas)	100	64,06	286

O₂-Konzentration im Abgas: 10,35%

Der Materialaufwand wurde mit Hilfe eines Datenblattes der BHKW Module abgeschätzt. (ca. 9,4 t Stahl pro BHKW)

Referenznutzung Wärme

Vor Bestehen der Biogasanlage wurde die nun im Nahwärmenetz genutzte Wärmemenge folgendermaßen bereitgestellt:

39%	für Tierhaltung	Ölkessel
41%	für Raumwärme und Warmwasser	20% Stückholzkessel, 70% Ölkessel, 10% Gas
20%	für Prozesswärme	20% Öl, 80% Gas

Endlager

Zusammensetzung des Gärrestes

Menge [t/a]	14363
Wassergehalt [%]	90,765
Stickstoff [t/a]	120,816
Phosphor [t/a]	22,309
Kalium [t/a]	48,896

Quelle: Nährstoffkreislauf siehe 2.5.3

CH₄-Emissionen

Die Berechnung erfolgt über Abbaukurven (siehe Berichtsteil Abschnitt 3.3 Emissionen von Gülle- bzw. Gärrestmanagement).

Benötigte Daten:

Hydraulische Verweilzeiten:

F1: $V=2011\text{m}^3$, Substrat + Wasser: $9470\text{t/a}+1000\text{t/a} \rightarrow 70$ Tage

F2: $V=1822\text{m}^3$, Substrat + Oberlauf F1: $8915\text{t/a}+9158\text{t/a} \rightarrow 37$ Tage

Verweilzeit im geschlossenen Endlager:

EL: $V=2091\text{m}^3$, Substrat + Oberlauf F1: $8915\text{t/a}+9158\text{t/a} \rightarrow 42$ Tage

$\rightarrow$ theoretische Verweilzeit im offenen Endlager: $180-42=138$ da der Biogasprozess kontinuierlich läuft wird mit dem arithmetischen Mittelwert gerechnet

$\rightarrow$ Verweilzeit im offenen Endlager: 69 Tage / Lagerperiode

Abbau im offenen EL aus F1: Differenz aus Abbau nach 149 d (70+37+42) und 218 d (149+69) $\rightarrow 2,0\%$

Abbau im offenen EL aus F2: Differenz aus Abbau nach 79 d (37+42) und 148 d (79+69) $\rightarrow 3,3\%$

Durchschnittlicher oTS-Gehalt der Substrate: F1: 19,80% (9470t); F2: 40,82% (8915t)

CH₄-Emissionen: aus F1 1977 kg/a; aus F2 6334 kg/a

N₂O-, und NH₃-Emissionen

Berechnung mittels Literaturwerten (siehe Berichtsteil Abschnitt 3.3 Emissionen von Gülle- bzw. Gärrestmanagement)

Benötigte Daten:

	Volumen [m ³]	Höhe [m]	Oberfläche [m ²]	HRT [d]	Lagerdauer [d]
Menge Gärrest pro Jahr	14362				Pro Lagerperiode
geschlossenes Endlager	-	-	-	42	
Lager 1	2000	6	333	51	138 (180-42)
Lager 2	600	4	150	15	87 (180-42-51)
Lager 3	600	4	150	15	87
Lager 4	600	3	200	15	87
Lager 5	1622	3	541	41	87

2 Lagerperioden pro Jahr!

Baumaterialien

geschlossenes Endlager: Durchmesser: 22m, Höhe: 6m

Offene Endlager: 2x: V=2000m³; 3x: V=600m³;

Verwendete Betonmenge ca. 1380 t, die Menge an verwendetem Baustahl (ca. 24 t) wurde aus der Betonmenge abgeschätzt.

Referenznutzung Gülle

Berechnung mittels Literaturwerten (siehe Berichtsteil Abschnitt 3.3 Emissionen von Gülle- bzw. Gärrestmanagement)

Benötigte Daten:

	Volumen [m ³]	Höhe [m]	Oberfläche [m ²]	HRT [d]	Lagerdauer [d]
Menge Gülle pro Jahr	7300				Pro Lagerperiode
Lager 1	600	3	200	30	180
Lager 2	600	3	200	30	180
Lager 3	600	3	200	30	180
Lager 4	600	3	200	30	180
Lager 5	600	3	200	30	180

2 Lagerperioden pro Jahr!

Transport Dünger

Die für die Ausbringung des Gärrestes benötigte Fläche wurde als Parameter erhoben: 500 ha/a. Da für den Anbau der nachwachsenden Rohstoffe als Substrate nur 389 ha benötigt werden, werden 3189 t Gärrest außerhalb des Systems ausgebracht (28,85 t/ha *109 ha). Die für die Berechnung notwendigen Daten wurden bereits unter dem Punkt „Rohstoff Nawaros“ angegeben.

Düngung

Es werden 109 ha außerhalb des Systems mit Gärrest gedüngt. Die benötigten Daten wurden bereits unter dem Punkt „Rohstoff Nawaros“ angegeben.

A-4. Biogas 4: 100% Nawaros

In der Biogasanlage 4 werden ausschließlich nachwachsende Rohstoffe (Maissilage, Gras-, Kleesilagen) vergoren. Sie besteht aus 4 Fahrtilos, einer Feststoffdosierungseinrichtung, einem Hauptfermenter, einem Nachfermenter mit Gasspeicher, 2 Lagunen (Endlager), einem Gärrestseparator und einem BHKW.

Anbau und Ernte Nachwachsender Rohstoffe

In der Biogasanlage werden Maissilage, Grassilage, ein Sonnenblume-Mais-Gemisch, Kleesilage und Grünschnittgetreide vergoren.

INPUT

Hilfsmaterial

Düngemittel

Es konnte nicht im Detail erhoben werden, welche Kulturart mit welcher Gärrestfraktion und welcher Ausbringmethode gedüngt wurde. Es ist jedoch bekannt, dass der flüssige Gärrest zu ca. 70% mit Gülletruck und Scheibeninjektor ausgebracht wird und zu 30% mit Güllefass und Prallteller. Der feste Gärrest wird mit Traktor und Kompoststreuer ausgebracht.

Daher wurde die durchschnittliche Ausbringmenge für die flüssige Fraktion mit $40 \text{ m}^3/(\text{ha} \cdot \text{a})$ auf Ackerflächen und mit $6 \text{ m}^3/(\text{ha} \cdot \text{a})$ auf Naturschutzflächen angenommen. Für die feste Fraktion wurde ein Wert von $32 \text{ m}^3/(\text{ha} \cdot \text{a})$ angesetzt.

Die Gärrestanalyse ergab folgende Werte (IFA Tulln, 2007).

	Feste Fraktion	Flüssige Fraktion
TS [%]	22,73	5,97
oTS [%]	19,72	3,95
TKN [kg/t]	5,19	4,14
TAN [kg/t]	1,94	2,04
P [kg/t]	0,27	0,74
K [kg/t]	0,94	3,84
Ca [mg/kg]	2,005	1,499

Andere

Pflanzenschutzmittel: für das Sonnenblume-Mais Gemisch werden 4,5 kg Herbizide pro ha und Jahr eingesetzt, für die Maissilage 1,55 kg Herbizide pro ha und Jahr.

Hilfsenergie

Maschineneinsatz

Der Anbau der verwendeten nachwachsenden Rohstoffe erfolgt nach Standardverfahren. Der dafür notwendige „Treibstoffbedarf gesamt“ wurde aus der Literatur ermittelt (Handler und Rathbauer 2005⁶.)

⁶ Handler, F. und Rathbauer, J.: Kraftstoff- und Arbeitszeitbedarf in der österreichischen Landwirtschaft. 2005.

Kraftstoffbedarf für eine standardisierte Maschinenausrüstung für die Bewirtschaftung eines Feldes von 2 ha Größe und 2 km Entfernung vom Bauernhof

Unterscheidung zwischen:

- Standardverfahren: Pflug, Saatbeetkombination; Pflug, kombinierter Anbau; Grubber, kombinierter Anbau (Kraftstoffbedarf kaum unterschiedlich) und
- Direktsaat (Minimalbodenbearbeitung)

Der gesamte Kraftstoff-Bedarf für den Ackerbau kann mit folgender Tabelle berechnet werden:

Standardverfahren								
Substrat	Treibstoff	Traktor	Traktor	Traktor	Traktor	Feldhäcksler	Mähdrescher	Anzahl Arbeitsgänge
	l/ha							-
Leistung [kW]		83	67	54	45	250	125	
Verbrauch [l/h]		9,7	7,8	6,3	5,3	36,3	21,8	
CCM / Maiskornsilage	65,32	3		3			1	7
Grassilage Dauergrünland	3							
Schnitte	54,93	3		4		3		10
Klee gras Bestellung	40,70	3	1	1				5
Klee grassilage 3 Schnitte	56,72	3		4		3		10
Silomais	77,97	2		3		1		6
Sonnenblumen GPS	74,81	2		3		1		6
Grünschnittgetreide GPS	60,77	2		2	1	1		6
Weizen Korn	69,71	4		4	1		1	10
Minimalbodenbearbeitung								
Substrat	Treibstoff	Direktsaatmaschine	Traktor	Traktor	Traktor	Feldhäcksler	Mähdrescher	Anzahl Arbeitsgänge
	l/ha							-
Leistung [kW]		102	83	67	54	250	125	
Verbrauch [l/h]		11,9	9,7	7,8	6,3	36,3	21,8	
CCM / Maiskornsilage	43,19	1	1		2		1	5
Silomais	55,84	1			2	1		4

Der „Treibstoffverbrauch Verkehr“ für die Hin- bzw. Rückfahrt der landwirtschaftl. Maschinen zum Feld wird mit Hilfe des Treibstoffverbrauches/h der jeweiligen Maschine und der Entfernung Bauernhof – Feld berechnet wobei eine Geschwindigkeit von 30 km/h angenommen wird.

Entfernung Bauernhof – Feld: 4 km

Der Treibstoffverbrauch bei der Düngung mit Gärresten setzt sich aus dem Treibstoffverbrauch für den Transport der Gärreste zum Feld sowie dem Treibstoffverbrauch für die Ausbringung selbst zusammen.

Berechnung des Treibstoffverbrauches für den Transport der Gärreste:

		Güllefass, Naturschutzfl. Prallteller	Güllefass, Ackerfl., Prallteller	Gülletruck, Ackerfl., Injektion	Traktor, Ackerfl., Kompoststr.
Gülmengende	m ³ /a	192	2.280	5.275	1045
Entfernung BGA-Feld	km	4,0	4,0	4,0	4,0
Vol. Güllefass	m ³	8	8	15	4,3
Ausbringmenge	m ³ /ha	6,0	40,0	40,0	32
Ausbringfläche	ha	32	57	132	33
Anzahl Fahrten durchschn.	1/ha km/h	0,75	5,00	2,67	7,44
Geschwindigkeit		30	30	30	30
Fahrtdauer	h/ha	0,20	1,33	0,71	1,98
Leistung Transportfahrzeug	kW	66,2	66,2	88,3	66,2
Kraftstoffverbr. Transport	l/h	7,73	7,73	10,30	7,73
Treibstoffverbrauch	l/(ha*a)	1,55	10,31	7,32	15,35

Die Werte für die Gärrestausringung wurden der KTBL-Datenbank (Frisch et al., 2005⁷) entnommen.

		Güllefass, Naturschutzfl. Prallteller	Güllefass, Ackerfl., Prallteller	Gülletruck, Ackerfl., Injektion	Traktor, Ackerfl., Kompoststr.
Leistung Ausbringfahrzeug	kW	66,2	66,2	103,0	
Ausbringmethode	km	Prallteller	Prallteller	Scheiben- injektor	Kompost- streuer
Kraftstoffbedarf	l/(ha*a)	12,50	12,50	15,42	10,28

OUTPUT

Die Hektarerträge sowie der Wassergehalt der verwendeten nachwachsenden Rohstoffe wurde als Parameter erhoben. Wobei es sich beim Wassergehalt mangels genauerer Daten um den Wassergehalt der Silagen handelt.

Rohstoff	Mais- silage	Gras- silage	Sonnenblume- Mais-Gemisch	Klee- silage	Grünschnitt- getreide
Hektarertrag [t/(ha*a)]	47,5	25,7	40	30,9	30
Menge [t/a]	8573	983	164	768	15
Fläche [ha/a]	180,5	38,3	4,1	24,9	0,5
Wassergehalt [%]	72	68	79,83	55	78,68

Emissionen

Gasförmig

Gasförmige Emissionen entstehen durch die Düngung mit Gärrest. Für die Berechnung wurden Emissionsfaktoren aus der Literatur herangezogen (siehe Berichtsteil Abschnitt 3.3 Emissionen von Gülle- bzw. Gärrestmanagement). Für die Berechnung werden die gesamte ausgebrachte Gärrestmenge, die Ausbringtechnik sowie die Stickstoff- und Ammoniumkonzentration des Gärrestes benötigt.

⁷ Frisch, J., Fröba, N., Funk, M., and Weiershäuser, L. Kalkulationsprogramm zur KTBL-Datensammlung Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/05, Maschinen-, Arbeits- und Verfahrenskosten in der Pflanzenproduktion. 2005. Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL).

		Naturschutzfl. Prallteller	Ackerfläche Prallteller	Ackerfläche Injektion	Ackerfläche Kompoststr.
Menge Gärrest	t/a	192	2280	5275	1045
TKN aus Nährstoffbilanz	kg/t	5,57	5,57	5,57	6,96
TAN aus Nährstoffbilanz	kg/t	2,75	2,75	2,75	2,60
Fläche	ha	32,00	56,99	131,88	32,66
Ausbringmenge	t/ha	6,00	40,00	40,00	32,00
N-Eintrag*	kg/ha	21,21	183,98	200,46	189,16

	NH ₃ kg/a	CH ₄ kg/a	N ₂ O kg/a
Wert	3733,73	28,65	2600,85
Abweichung +/-	2967,51	24,35	

* Der gesamte N-Eintrag entspricht dem N-Eintrag durch den Gärrest (TKN) abzüglich der Verluste während der Lagerung und der Ausbringung.

Referenznutzung

Fläche

Insgesamt wurden ca. 250 ha Fläche bewirtschaftet. 25% der Fläche (die Naturschutzflächen) würden im Referenzszenario nicht bewirtschaftet werden. 75% der Fläche wird im Referenzszenario für den Anbau von Körnermais als Futtermittel verwendet. Inputdaten für die Körnermaisproduktion siehe Maiskornsilage Anlage 3.

Futtermittelerzeugung auf anderen Flächen (bei Verwendung der Anbauflächen für die Biogasproduktion)

Es wird davon ausgegangen, dass 1,2% der benötigten Menge durch Ertragssteigerungen abgedeckt werden können. Für den Rest wird Körnermais aus Ungarn importiert, wobei die gleichen Inputdaten wie für die Körnermaisproduktion in der Referenznutzung Fläche unterstellt wird.

Transport Rohstoffe

Für alle Substrate wurden der durchschnittliche Transportweg zur Biogasanlage, die Art und Leistung des Transportmittels sowie dessen Transportkapazität als Parameter erhoben.

	Maissilage	Grassilage	Sonnenblume Mais-Gemisch	Kleesilage	Grünschnitt -getreide
Transportmittel	Traktor mit Abschiebewagen				
Ladekapazität [t]	16,0	6,5	6,5	6,5	6,5
Transportdistanz [km]	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Menge Transport 1 [t/a]	8144,0	934,0	156,0	730,0	14,0
Anmerkung	Rückfahrt leer	Rückfahrt leer	Rückfahrt leer	Rückfahrt leer	Rückfahrt leer

Lagerung der Rohstoffe

Die Lagerung der nachwachsenden Rohstoffe erfolgt in 4 Fahrsilos, die ein Gesamtvolumen von 10875 m³ sowie eine Gesamtfläche von 4350m² aufweisen. Als Hilfsmaterial wird eine Silofolie verwendet (0,125 kg/m², 10% Verlust durch Überlappung etc.). Der Bedarf an Silofolie beträgt 275 kg. Der Treibstoffverbrauch für das Festfahren des Substrates wird nach Handler und Rathbauer 2005 mit 0,18 L Diesel/ t Substrat angenommen. (1891 l/a)

Baumaterialien: ca. 2500 t Beton.

Die Menge an verwendetem Baustahl wurde aus der Betonmenge abgeschätzt.

Biogasproduktion

Die allgemeinen Prozesskennzahlen sowie die Grunddaten wurden als Parameter erhoben.

Biogas-Kapazität [Nm³/h]: 230; Volllaststunden [h/a]: 8185; Lebensdauer [a]: 13

Substrate: Maissilage (8144t), Grassilage (934t), Sonnenblume-Mais-Gemisch (156t), Kleesilage (730t), Grünschnittgetreide (14t)

Strombedarf:

Einbringung flüssiger Substrate mit Exzenterpumpen (Leistung 8kW, Laufzeit: 7h/d → 56 kWh/d)

Einbringung fester Substrate mit Schubboden und Eintragsschnecke (Leistung 12,5 kW, Laufzeit 8 h/d → 100 kWh/d)

Fermenter 1 wird mit 2 Paddelrührwerken (Leistung je 7,5 kW, Laufzeit 8h/d → 120 kWh/d) durchmischt.

Fermenter 2 wird mit einem Paddel- (Leistung 7,5 kW, Laufzeit 4h/d → 30 kWh/d) und einem Propellerrührwerk (Leistung 15 kW, Laufzeit 0,083 h/d → 1,25 kWh/d) durchmischt.

Der thermische Eigenbedarf der Anlage wurde als Parameter erhoben (700000kWh/a).

Output

Die jährlich produzierte Biogasmenge wurde über 3 verschiedene Wege ermittelt und daraus der Mittelwert berechnet, dieser beträgt 1981807 Nm³/a.

- 1. Berechnungsmethode:
el. Wirkungsgrad des BHKW (laut Anlagenhersteller) (η_{el}): 39,8%
Jahresarbeit elektrisch (W_{el}): 4305420 kWh
Heizwert Biogas (H_u): 5,28 kWh/Nm³
jährl. Biogasmenge [Nm³/a] = W_{el} [kWh/a] / H_u [kWh/Nm³] / η_{el} = 2048795 Nm³/a
- 2. Berechnungsmethode:
gemessene und auf Nm³ umgerechnete Biogasmenge: 5441,65 Nm³/d
→ 1986202 Nm³/a
- 3. Berechnungsmethode:
gesamte zugeführte organische Trockensubstanz pro Jahr: 2796t
C-Ausnutzungsgrad: 88,08%
→ 2462,7 t Biogas/a
Biogaszusammensetzung: 50,4% CH₄ (16,04 g/mol), 44,8% CO₂ (44,01 g/mol)

→ Biogas: 27,8 g/mol (46,37 mol/Nm³)⁸
 → 1910423 Nm³/a

Der CH₄-, CO₂-, O₂-, N₂- sowie der H₂S-Gehalt des Biogases wurden gemessen.

CH ₄	%	50,4
CO ₂	%	44,8
O ₂	%	0,3
N ₂	%	1,1
H ₂ S	ppm	60,0

Der Heizwert wurde mit Hilfe der originalen Gaszusammensetzung berechnet ($H_u(\text{CH}_4) = 9,97 \text{ kWh/Nm}^3$) und beträgt $5,28 \text{ kWh/Nm}^3$. (Berechnung der originalen Biogaszusammensetzung siehe Anhang).

Die Menge an anfallendem Gärrest wird berechnet aus der Menge an eingesetztem Substrat (plus Wasser) abzüglich der produzierten Biogasmenge (plus Wasserdampf im Biogas).

Substrat: 9977 t/a; Wasser: 1500 m³/a; Biogas: 5441,65 Nm³/d → 7,02 t/d → 2592 t/a;
 Wasser im Biogas: 46,7 g/Nm³ → 0,25 t/d → 92,75 t/a

→ 8792 t/a

Baumaterialien: Abmessungen der Fermenter: Durchmesser: 15m, Höhe: 8m, ca. 340 t Beton.

Die Menge an verwendetem Baustahl wurde aus der Betonmenge abgeschätzt (ca. 6t).
 Edelstahl für Gasleitungen: ca. 15t, Kunststoff für Gasleitungen, etc. ca. 15t.

Entschwefelung

Es findet eine Entschwefelung durch Lufteintrag im Nachfermenter gegenüber der Gasentnahmestelle statt. Leistungsaufnahme der Gebläse: 0,4 kW, Laufzeit: 24 h/d.

BHKW

Die allgemeinen Prozesskennndaten wurden als Parameter erhoben, es werden 2 baugleiche BHKWs verwendet.

Leistung (elektrisch)	[kW]	526	526
Leistung (thermisch)	[kW]	563	563
Nutzungsgrad elektrisch	[%]	37,9	37,9
Nutzungsgrad thermisch	[%]	15,3	15,3
Katalysator	[ja/nein]	nein	nein
Volllaststunden	[h/a]	3394,1	4791,2
Lebensdauer	[a]	13	13
Marke		GE Jenbacher 312	GE Jenbacher 312

Der Schmierölbedarf wurde aus der Anzahl der Ölwechsel und der Wechselmenge sowie dem Ölverbrauch berechnet.

BHKW1: 1,2/a Wechsel, 235 L/Wechsel, Ölverbrauch 600 L/a

BHKW2: 1,7/a Wechsel, 235 L/Wechsel, Ölverbrauch 600 L/a

⁸ CH₄: 22,36 L/mol; CO₂: 22,262 L/mol; O₂: 22,392 L/mol; N₂: 22,402 L/mol; Gaszusammensetzung siehe nächsten Absatz

Der Eigenstrombedarf des BHKWs beträgt 203 kWh/d für die Umlaufpumpen der Motorkühlung sowie 27 kWh/d für die Anlagentechnik (Steuerungs- und Regelungstechnik, Licht, ...).

Die produzierten Strom- und Wärmemengen wurden als Parameter erhoben:

Produzierte Strommenge	[MWh/a]	4305,4
eingespeiste Strommenge	[MWh/a]	4099,8
Wärmemenge	[MWh/a]	4606,8
Wärmemenge, die genutzt wird	[MWh/a]	1632
Verwendung der Wärme für		Nahwärmenetz mit Warmwasserbereitung im Sommer

CH₄-, NO_x-, CO-, NMVOC- und SO₂-Emissionen

Für die Berechnung der Emissionen ist die Abgasmenge entscheidend:

Sie setzt sich zusammen aus der Biogasmenge plus der zur Verbrennung benötigten Menge an Sauerstoff plus der Menge an Stickstoff, der durch die Verbrennungsluft mit eingetragen wird. Diese Menge wird nun um die tatsächlich im Abgas gemessene Sauerstoffkonzentration (plus dem mit der Luft eingetragenen Stickstoff) erhöht. (15855572 Nm³/a)

Bei den verwendeten Emissionswerten handelt es sich um den Mittelwert aus 2 Messungen.

	Emission mg/Nm ³
NO _x (als NO ₂)	546
NMVOC	38
CO	806
CH ₄	283
H ₂ S (im Biogas)	69
O ₂ -Konzentration im Abgas: 6,5%	

Der Materialaufwand wurde mit Hilfe eines Datenblattes der BHKW Module abgeschätzt. (ca. 9,4 t Stahl pro BHKW)

Referenznutzung Wärme

Vor Bestehen der Biogasanlage wurde die nun im Nahwärmenetz genutzte Wärmemenge folgendermaßen bereitgestellt: Zentralheizungen in Einfamilienhäusern, 55% Ölheizungen, 40% Holz und 5% Strom.

Endlager

CH₄-Emissionen

Die Berechnung erfolgt über Abbaukurven (siehe Berichtsteil Abschnitt 3.3 Emissionen von Gülle- bzw. Gärrestmanagement).

Benötigte Daten:

Hydraulische Verweilzeit:

2 Fermenter (in Serie): $V=2 \times 1325\text{m}^3$, Substrat + Wasser: 9978t/a+750t/a → 90 Tage
theoretische Verweilzeit im offenen Endlager: 180 Tage, da es ein kontinuierlicher Prozess ist wird mit dem arithmetischen Mittel gerechnet:

→ Verweilzeit im offenen Endlager: 90 Tage / Lagerperiode (2 Lagerperioden pro Jahr)

Abbau im offenen EL: Differenz aus Abbau nach 90 d und Abbau nach 180 d → 3,64%

Durchschnittlicher oTS-Gehalt der Substrate: 28,02% (9978t/a)
CH₄-Emissionen: 7047 kg/a

N₂O-, und NH₃-Emissionen

Berechnung mittels Literaturwerten (siehe Berichtsteil Abschnitt 3.3 Emissionen von Gülle- bzw. Gärrestmanagement)

Benötigte Daten:

	Volumen [m ³]	Höhe [m]	Oberfläche [m ²]	HRT [d]	Lagerdauer [d]
Menge Gärrest	8075				
geschlossenes Endlager	0	0	0	0	
Lager 1	2000	3	667	90	180
Lager 2	2000	3	667	90	90

Gärrestbehandlung

Zusammensetzung des Gärrestes

	Feste Fraktion	Flüssige Fraktion
Menge [t/a]	1045,00	7747,00
Wassergehalt [%]	77,27	94,03
Stickstoff [t/a]	7,29	43,13
Phosphor [t/a]	0,38	7,67
Kalium [t/a]	1,61	48,89
Kohlenstoff [t/a]	93,14	181,32

Quelle: Nährstoffbilanz

Der anfallende Gärrest wird durch Separation aufgearbeitet. Die Leistungsaufnahme des Gerätes beträgt 4 kW und die tägliche Laufzeit liegt bei 4 h. (5840 kWh/a)
Die gasförmigen Emissionen der Gärrestbehandlung wurden nicht bestimmt.

A-5. Biogas 5: 100% Nawaros

In Anlage 5 wird im Erhebungsjahr 2009 fast ausschließlich Grassilage vergoren. Die Anlage besteht aus zwei Fermentern, die parallel beschickt werden, einem gasdicht abgedeckten Endlager mit darüber liegendem Gasspeicher. Das Biogas wird für das Erdgasnetz aufbereitet und mit dem anfallenden Schwachgas eine Gasturbine betrieben.

Die bei der Verstromung anfallende Abwärme wird weiterhin in ein Fernwärmenetz eingespeist und damit die Grundlast vieler Haushalte abgedeckt. Die Abdeckung der Spitzenlast übernimmt ein Hackgutmessel. Das dazu eingesetzte Hackgut wiederum wird mit der anfallenden Abwärme des BHKW's großteils in den Sommermonaten getrocknet

Anbau und Ernte Nachwachsender Rohstoffe

In der Biogasanlage wird im Erhebungsjahr fast ausschließlich Grassilage eingesetzt. Der verwendete Maissilageanteil von weniger als 10% der Inputsubstrate wird vernachlässigt. Die Referenznutzung der Flächen wäre die Verfütterung an Rinder oder andere Wiederkäuer.

INPUT

Hilfsmaterial

Düngemittel

Für die Düngung der nachwachsenden Rohstoffe wird ausschließlich Gärrest verwendet (keine synthetischen Düngemittel). Die durchschnittliche Ausbringungsmenge liegt bei 27 m³/(ha*a).

Die Gärrestanalyse ergab folgende Werte:

TS [%]	7
oTS [%]	4,94
TKN [kg/t]	6,3
P [kg/t]	1,4
K [kg/t]	6,7

Andere

Samen: Um eine optimale Qualität der Grünlandaufwüchse sicherzustellen werden gezielte Nachsaatmaßnahmen mit einem Saatgutaufwand von rund 2kg/ha *a durchgeführt.

Pflanzenschutzmittel: es werden keine Herbizide eingesetzt.

Hilfsenergie

Maschineneinsatz

Die durchschnittliche Feld – Hof Transportdistanz der Anlage beträgt 4,7km. Der Treibstoffbedarf wurde von den Anlagenbetreibern, in Zusammenarbeit mit der Energiewerkstatt°, vor Ort ermittelt. (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Die erhobenen Daten wurden nochmals überprüft und mit Hilfe der Angaben in

den ÖKL Richtwerten 2009 (ÖKL - Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung) modifiziert und für das Projekt aufbereitet.

ENERGIEEINSATZ BEWIRTSCHAFTUNG

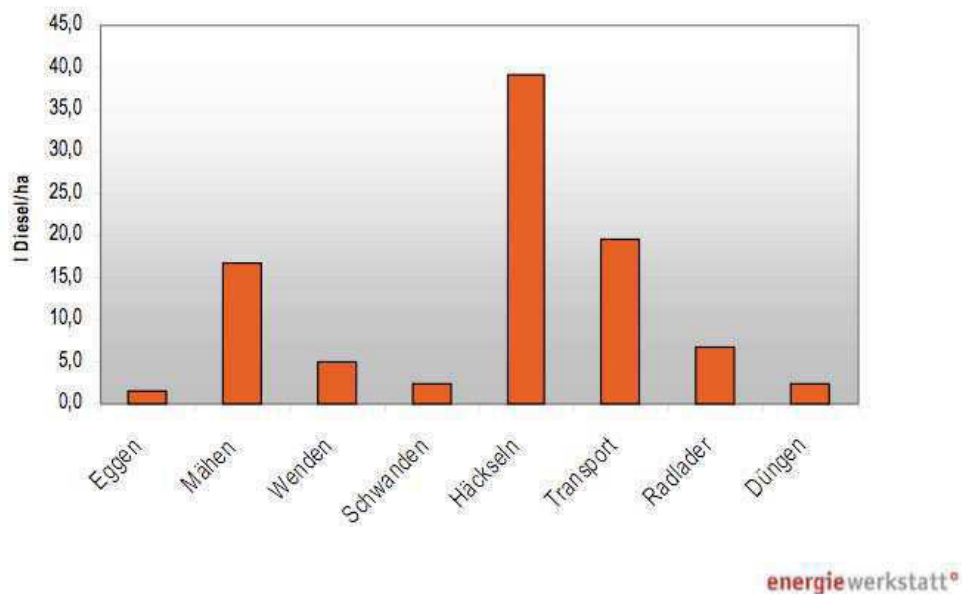


Abbildung 1: Energieeinsatz Bewirtschaftung Anlage 5

OUTPUT

Produkte

Rohstoff

Die Hektarerträge sowie der Wassergehalt der verwendeten nachwachsenden Rohstoffe wurde als Parameter erhoben.

Rohstoff	Grassilage
Hektarertrag [t/(ha*a)]	26
Menge [t/a]	5300
Fläche [ha/a]	204
Wassergehalt [%]	35
Heizwert [kWh/kg TM]	5,0

Nebenprodukt

Emissionen

Der gesamte N-Eintrag entspricht dem N-Eintrag durch den Gärrest (TKN) abzüglich der Verluste während der Lagerung und der Ausbringung.

Gasförmig

Gasförmige Emissionen entstehen durch die Düngung mit Gärrest. Für die Berechnung wurden Emissionsfaktoren aus der Literatur herangezogen (siehe Berichtsteil Abschnitt 3.3 Emissionen von Gülle- bzw. Gärrestmanagement). Zur Berechnung wird weiters die gesamte ausgebrachte Gärrestmenge sowie die Ammoniumkonzentration des Gärrestes benötigt.

Menge an ausgebrachtem Gärrest: $27 \text{ m}^3/(\text{ha} \cdot \text{a})$ (Dichte Gärrest 1 t/m^3)

Ammonium N: $1,59 \text{ g/kg}$

Ausbringtechnik: 100% mit einem Möscha Exakt Gülleverteiler

Transport Rohstoffe

Nachwachsende Rohstoffe, Wirtschaftsdünger, Reststoffe

Für alle Substrate wurden der durchschnittliche Transportweg zur Biogasanlage, die Art und Leistung des Transportmittels sowie dessen Transportkapazität als Parameter erhoben.

	Grassilage
Transportmittel	Traktor + Anhänger
Ladekapazität [t]	10
Transportdistanz [km]	4,7
Menge [t/a]	5300
Wassergehalt	65
Anmerkung	Rückfahrt leer

Lagerung der Rohstoffe

Die Lagerung der nachwachsenden Rohstoffe erfolgt in 3 Fahrsilos, die ein Gesamtvolumen von 4000 m^3 sowie eine Gesamtfläche von 1500 m^2 aufweisen. Als Hilfsmaterial wird eine Silofolie verwendet ($0,125 \text{ kg/m}^2$, 10% Verlust durch Überlappung etc.). Der Bedarf an Silofolie lässt sich daraus berechnen. Der Treibstoffverbrauch für das Festfahren des Substrates wurde von den Anlagenbetreibern, in Zusammenarbeit mit der Energiewerkstatt°, vor Ort ermittelt. (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Fahrsilos: Baumaterial Stahlbeton (400t)

Die Menge an verwendetem Baustahl wurde aus der Betonmenge abgeschätzt. ($0,017 \text{ t Stahl/t Beton}$).

Vorbehandlung Rohstoffe

Die Rohstoffe werden über eine mit Strommotoren betriebene stationären Aufgabevorrichtung eingebracht (Strombedarf 13.100 kWh/a).

Die Aufgabevorrichtung wird mit Hilfe eines Traktors befüllt (rund 920 Stunden mit einem Treibstoffverbrauch von rund 10 l/h).

Biogaserzeugung

Die allgemeinen Prozesskenndaten sowie die Grunddaten wurden als Parameter erhoben.

Biogas-Kapazität [Nm^3/h]: 128; Volllaststunden [h/a]: 8000; Lebensdauer [a]: k.A.

Substrate: Grassilage (5300t)

Der Strombedarf für die Biogaserzeugung, Rührwerke, Pumpen beträgt rund 69.000 kWh/a

Der Wärmebedarf der Anlage beträgt rund 440.000 kWh/a

Output

Die jährlich produzierte Biogasmenge im Erhebungsjahr beträgt rund 1.024.000 Nm³

Der CH₄-sowie der H₂S-Gehalt des Biogases wurde gemessen.

CH ₄	%	58
CO ₂	%	k.A.
O ₂	%	k.A.
N ₂	%	k.A.
H ₂ S	ppm	<10

Der Heizwert beträgt 5,8 kWh/Nm³

Die Menge an anfallendem Gärrest beträgt rund 5850 t/a, diese errechnet sich aus den Aufzeichnungen der als Dünger ausgebrachten Mengen Biogasgülle.

Baumaterialien: Abmessungen der Fermenter:

F1: Durchmesser: 14m, Höhe: 5m, Beton: 100 t

F2: Durchmesser: 14m, Höhe: 5m, Beton: 100 t

Die Menge an verwendetem Baustahl wurde aus der Betonmenge abgeschätzt. (0,017t Stahl/t Beton)

Entschwefelung

Es findet eine Entschwefelung durch eine Biokatalytische Entschwefelung mit vor Ort erzeugtem Reinsauerstoff statt.

Biogaskapazität: 128 Nm³ / h

Lebensdauer: 3 Jahre

Strombedarf: 4.000kwh/a

Gasturbine

Die allgemeinen Prozesskenndaten wurden als Parameter erhoben. Verwendet wird eine Gasturbine in welchem die Restgasmenge der Gasaufbereitung (52,5 Nm³ /h) mit weiteren 23 Nm³ Biogas pro Stunde verschnitten wird, um daraus Strom und Wärme zu gewinnen. Die Gasturbine hat den entscheidenden Vorteil, dass sie auch noch mit einem geringeren Methangehalt von rund 30 % CH₄ betrieben werden kann.

Leistung (elektrisch)	[kW]	65
Leistung (thermisch)	[kW]	118
Nutzungsgrad elektrisch	[%]	29,9
Nutzungsgrad thermisch	[%]	55,5
Katalysator	[ja/nein]	nein
Volllaststunden	[h/a]	8000
Lebensdauer	[a]	10
Marke		copstone

Die produzierten Strom- und Wärmemengen wurden als Parameter erhoben:

Biomethan	[MWh/a]	4.187
produzierte Strommenge	[MWh/a]	502
eingespeiste Strommenge	[MWh/a]	380

Wärmemenge	[MWh/a]	955
Wärmemenge, die genutzt wird	[MWh/a]	515
Verwendung der Wärme für		Nahwärmenetz, Hackguttrocknung

Für die Berechnung der Emissionen ist die Abgasmenge entscheidend: Sie setzt sich zusammen aus der Biogasmenge plus der zur Verbrennung benötigten Menge an Sauerstoff plus der Menge an Stickstoff, der durch die Verbrennungsluft mit eingetragen wird. Diese Menge wird nun um die tatsächlich im Abgas gemessene Sauerstoffkonzentration (plus dem mit der Luft eingetragenen Stickstoff) erhöht.

Der Materialaufwand wurde mit Hilfe eines Datenblattes der Turbine abgeschätzt.

1.1. Gaseinspeisung ins Erdgasnetz

Die allgemeinen Prozesskenndaten wurden als Parameter erhoben. Verwendet wird ein Gasaufbereitungsanlage mit Hilfe von Druckwechseladsorption. Rund 105 Nm³ Biogas werden im Rahmen der Gaspermeation zu 52,5 Nm³ Biomethan mit einem CH₄ Gehalt von > 98% ins Erdgasnetz eingespeist. Die Restgasmenge (52,5 Nm³/h) mit einem CH₄ Gehalt von <18% mit weiteren 23 Nm³ Biogas verschnitten um daraus im BHKW Strom und Wärme zu gewinnen.

Hauptprodukt	Biomethan
CH ₄ -Gehalt	> 98%
Menge Nm ³ / a	420.000
Heizwert kWh/ Nm ³	10,8
Druck bar	4,5

Strombedarf: 132.000 kWh/a

Lebensdauer: 10 Jahre

Der Materialaufwand wurde mit Hilfe eines Datenblattes des Gasaufbereitungsmodul abgeschätzt.

Endlager

Die allgemeinen Prozesskenndaten wurden als Parameter ermittelt bzw. bereits für vorhergehende Prozesse berechnet.

Biogas-Kapazität [Nm³/h]: 128; Volllaststunden [h/a]: 8000; Lebensdauer [a]: k.A.

CH₄-Emissionen

Die Berechnung erfolgt über Abbaukurven, siehe Berichtsteil Abschnitt 3.3 Emissionen von Gülle- bzw. Gärrestmanagement.

N₂O-, und NH₃-Emissionen

Berechnung mittels Literaturwerten, siehe Berichtsteil Abschnitt 3.3 Emissionen von Gülle- bzw. Gärrestmanagement.

Baumaterialien

geschlossenes Endlager: Beton: 250 t

Die Menge an verwendetem Baustahl wurde aus der Betonmenge abgeschätzt.

Transport Dünger

Die für die Ausbringung des Gärrestes erfolgt auf jenen Flächen von welchen auch Substrat in die Anlage eingebracht wird.

Düngung

Es werden keine Flächen außerhalb des Systems mit Gärrest gedüngt.

A-6. Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe

In Anlage 6 werden nachwachsende Rohstoffe wie Silomais , Grassilage und Co-Substrate wie Flotate, Altspeiseöle und Molkereiausschussware vergoren. Weiters dient die am Milchviehbetrieb anfallende Rindergülle als Substrat.

Die Anlage besteht aus zwei Fermentern, die in Serie beschickt werden, einem offenem Endlager, einem Gasspeicher sowie drei BHKW's mit einer Engpassleistung von 180kW (durchschnittlich 120 kW) (siehe Abbildung 2).

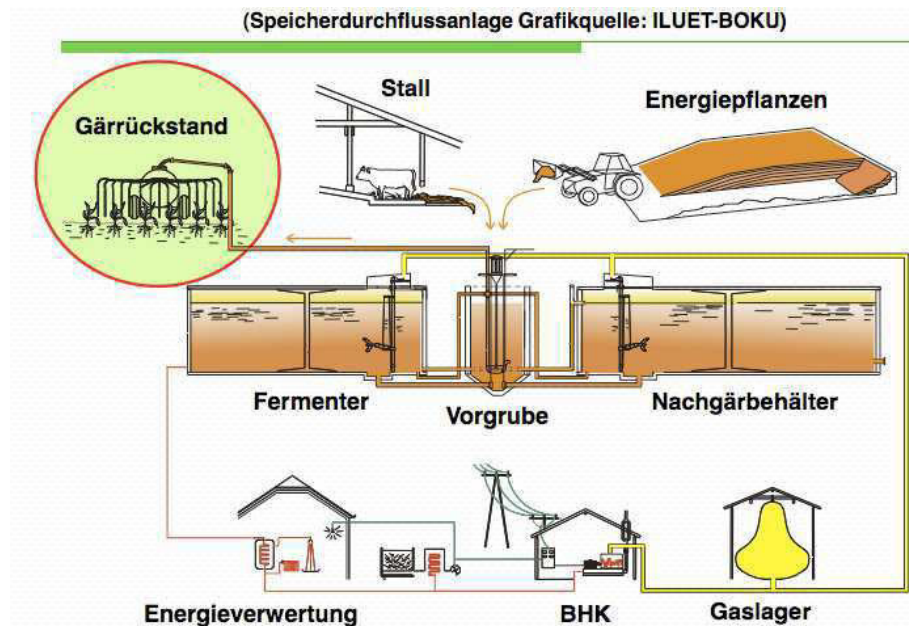


Abbildung 2: Fließschema Anlage 6

Anbau und Ernte Nachwachsender Rohstoffe

In der Biogasanlage werden Silomais (Ganzpflanzensilage), Grassilage, Rindergülle, Flotate, Altspeiseöle und Molkerei Ausschussware vergoren. Die Referenznutzung der Fläche entspricht der Produktion von Gras- und Maissilage zur Rinderfütterung. Als Referenznutzung für die Altspeiseöle und die Flotate kommt die Produktion von Biodiesel, für die Molkereiausschussware die Verwendung als Schweinefutter in Frage.

INPUT

Hilfsmaterial

Düngemittel

Für die Düngung der nachwachsenden Rohstoffe wird ausschließlich Gärrest verwendet (keine synthetischen Düngemittel). Die Ausbringung des Gärrestes erfolgt auf die gesamten Flächen des Betriebes einschließlich jener Flächen die über den Umweg der Rinder in Form von Rindergülle als Substrat wieder in die Biogasanlage eingehen.

Die durchschnittliche Ausbringmenge liegt bei 48 m³/(ha*a) im Grünland, und bei 54 m³/(ha*a) auf den Silomaisflächen.

Die Gärrestanalyse ergab folgende Werte (LFZ Raumberg Gumpenstein, 2005-2008).

TS [%]	3,65
oTS [%]	k.A.
TKN [kg/t]	2,62
P [kg/t]	0,42
K [kg/t]	2,52
Ca [mg/kg]	0,87

Andere

Pflanzenschutzmittel: Im Silomaisanbau werden 1,3 kg Herbizide pro ha und Jahr eingesetzt.

Hilfsenergie

Maschineneinsatz

Der Maschineneinsatz am Betrieb wurde mit Hilfe des Betriebsleiters anhand des Zeitbedarfs für die einzelnen Arbeitsgänge am Betrieb und dem durchschnittlichen Treibstoffverbrauches der unterschiedlich stark Motorisierten Traktoren erhoben. Die ermittelten Werte wurden mit Hilfe der ÖKL Richtwerte 2009 ergänzt und abgeglichen.

Tabelle 1: Treibstoffbedarf für Silomais Anlage 6

Silomais	Akh T 90kW (14l)	Akh T 60kW (7l)	l/ha T 90	l/ha T 60
Pflügen	1,5		21	
Eggen	0,5		7	
Sähen		0,75		10,5
Spritzen		0,2		2,8
Düngen - Anbau 10.000 Fass	0,5		7	
Düngen -15cm 4.200l Fass		1		14
Düngen - 30cm 4.200l Fass		1		14
Häckseln	1,6		30,4	
Summe	4,1	2,95	65,4	41,3

Abtransport	1,6	1,6	22,4	11,2
-------------	-----	-----	------	------

Tabelle 2: Treibstoffbedarf für Grassilage Anlage 6

Grünland	Akh T 90kW (14l)	Akh T 60kW (7l)	l/ha T 90	l/ha T 60
Abschleppen		0,33		2,31
Düngen 10000	1,33		18,62	
Mähen	2		28	
Kreiseln		2		14
Schwaden		2		14
Pressen	1,8		25,2	
Summe	5,13	4,33	71,82	30,31

Abtransport	1,44		20,16	
-------------	------	--	-------	--

Entfernung Bauernhof – Feld: 1 km

OUTPUT

Produkte

Rohstoff

Die Hektarerträge sowie der Wassergehalt der verwendeten nachwachsenden Rohstoffe wurde als Parameter erhoben. Wobei es sich beim Wassergehalt, mangels genauerer Daten, um den Wassergehalt der Silagen handelt.

Rohstoff	Silomais (GPS)	Grassilage
Hektarertrag [t/(ha*a)]	60	20,8
Menge [t/a]	510	312
Fläche [ha/a]	8,5	15
Wassergehalt [%]	70	65
Heizwert [kWh/kg]	5,1	5,0

Nebenprodukte

Emissionen

Der gesamte N-Eintrag entspricht dem N-Eintrag durch den Gärrest (TKN) abzüglich der Verluste während der Lagerung und der Ausbringung.

Gasförmig

Gasförmige Emissionen entstehen durch die Düngung mit Gärrest. Für die Berechnung wurden Emissionsfaktoren aus der Literatur herangezogen (siehe Anhang). Zur Berechnung wird weiters die gesamte ausgebrachte Gärrestmenge sowie die Ammoniumkonzentration des Gärrestes benötigt.

Menge an ausgebrachtem Gärrest: 48-54 m³/(ha*a) (Dichte Gärrest 1t/m³)

Ammonium-N: 1,37 g/L

Ausbringtechnik: 100% mit Prallteller

Transport Rohstoffe

Nachwachsende Rohstoffe, Reststoffe

Für alle Substrate wurden der durchschnittliche Transportweg zur Biogasanlage, die Art und Leistung des Transportmittels sowie dessen Transportkapazität als Parameter erhoben.

	Silomais	Grassilage	Stroh	Fettabsch eider	Speiseöl	Molkerei Ausschuss
	Traktor + Anhängers	Traktor + Anhängers	LKW	LKW	PKW + Anhängers	Traktor + Anhängers
Transportmittel						
Ladekapazität [t]	8	10	17	8	1	4
Transportdistanz [km]	1	1	150	23	38	6
Menge [t/a]	510	320	34	500	55	500
Wassergehalt	70	65	14	k.A.	k.A.	k.A.
Anmerkung	Rückfahrt leer	Rückfahrt leer	Rückfahrt leer	Rückfahrt leer	Rückfahr t leer	Rückfahrt leer

Wirtschaftsdünger

Der Wirtschaftsdüngeranfall wurde mit Hilfe der Richtlinien zur Sachgerechten Düngung (6.Auflage, Herausgeber Bundesministeriums für Land und Forstwirtschaft sowie Umwelt und Wasserwirtschaft) errechnet. Zusätzlich wird die Beweidung der Tiere in den Sommermonaten berücksichtigt.

Tabelle 3: Wirtschaftsdüngeranfall Anlage 6

	Stk.	m ³	Summe m ³	Abschlag Weide	
Jungvieh < 1J.	40	4,7	188	-50%	94
Jungvieh >1J	40	11,3	452	-50%	226
Kühe 8000l	46	24	1104	-10%	994
			1744		1314

Lagerung der Rohstoffe

Die Lagerung der Grassilage erfolgt im Erhebungsjahr in Siloballen. Der dadurch entstehende Plastikbedarf wurde als Parameter erhoben.

Die Lagerung der Maissilage erfolgt in einem Fahrsilo sowie auch in einem Rundsilo mit einem Gesamtvolumen von 1350 m³ wobei der bauliche Aufwand anteilig jeweils der Rinderfütterung oder der Biogasnutzung zugeteilt wurde. Der anteilige Treibstoffaufwand für das Walzfahrzeug entspricht 140l (14h/a je 10l/h)

Die Lagerung der eingebrachten Reststoffe sowie der Rindergülle erfolgt in der Vorgrube.

Baumaterialien: Abmessungen:

Fahrsilos: Beton: 83 t

Vorgrube: V=40m³; Beton: 11,5 t

Die Menge an verwendetem Baustahl wurde aus der Betonmenge abgeschätzt. (0,017t Stahl/t Beton).

Vorbehandlung Rohstoffe

Die Rohstoffe werden über eine mit Strommotoren (25kW) betriebene stationären Mischanlage eingebracht (Strombedarf 4.600 kWh/a).

Die Aufgabevorrichtung wird mit Hilfe eines kleinen Radladers befüllt (rund 90 Stunden pro Jahr mit einem Treibstoffverbrauch von rund 5l/h).

Biogaserzeugung

Die allgemeinen Prozesskenndaten sowie die Grunddaten wurden als Parameter erhoben.

Biogas-Kapazität [Nm³/h]: 46; Volllaststunden [h/a]: 8600; Lebensdauer [a]: 20

Substrate: Silomais (510t), Grassilage (312t), Rindergülle (1320t), Weizenstroh (34t), Rückstände Fettabscheider (500t), Speiseöle (55t), Molkerei Ausschussware (500t)

Der genaue Strombedarf für die Biogaserzeugung alleine konnte nicht eruiert werden, daher wird unter dem Punkt Hilfsenergie, Strom der Eigenstrombedarf der gesamten Anlage angegeben.

Output

Auf Grund fehlender Messinstrumente wurde die jährlich produzierte Biogasmenge anhand folgender Methode ermittelt:

el. Wirkungsgrad des BHKW (laut Anlagenhersteller) (η_{el}): rund 35 %

Jahresarbeit elektrisch (W_{el}): 975000 kWh

Heizwert Biogas (H_u): 6,42 kWh/Nm³)

jährl. Biogasmenge [Nm³/a] = W_{el} [kWh/a] / H_u [kWh/Nm³] / η_{el} = 410.000 Nm³/a

Weder der CH₄-, CO₂-, O₂-, N₂- noch der H₂S-Gehalt des Biogases wurden gemessen.

CH ₄	%	k.A.
CO ₂	%	k.A.
O ₂	%	k.A.
N ₂	%	k.A.
H ₂ S	ppm	k.A.

Der Heizwert wurde ähnlich der Anlage 5 angenommen.

Die Menge an anfallendem Gärrest beträgt rund 3010 t/a, diese errechnet sich aus den Aufzeichnungen der als Dünger ausgebrachten Mengen Biogasgülle.

Baumaterialien: Abmessungen der Fermenter:

F1: Durchmesser: 10m, Höhe: 5m, Beton: 68 t

F2: Durchmesser: 16m, Höhe: 5m, Beton: 125 t

Die Menge an verwendetem Baustahl wurde aus der Betonmenge abgeschätzt. (0,017t Stahl/t Beton)

Entschwefelung

Es findet eine Entschwefelung durch Lufteintrag statt, die Leistungsaufnahme der Gebläse liegt bei 0,2kW (1740kWh). Der Betreiber schätzt die Lebensdauer des Gebläses auf 10 Jahre.

BHKW

Die allgemeinen Prozesskenndaten wurden als Parameter erhoben, es werden 3 BHKWs mit einer Engpassleistung von 180 kW und einer durchschnittlichen Leistung von 130 kW verwendet.

Leistung (elektrisch)	[kW]	130
Leistung (thermisch)	[kW]	260
Nutzungsgrad elektrisch	[%]	35
Nutzungsgrad thermisch	[%]	10
Katalysator	[ja/nein]	nein
Volllaststunden	[h/a]	7500
Lebensdauer	[a]	3
Marke		Volvo
Type		Gas Otto Motoren

Der Schmierölbedarf wurde aus der Anzahl der Ölwechsel (alle drei Wochen 350-400h) und dem Ölbedarf (20l / Wechsel) berechnet. = 440l / Jahr

Die produzierten Strom- und Wärmemengen wurden als Parameter erhoben:

produzierte Strommenge	[MWh/a]	975
eingespeiste Strommenge	[MWh/a]	894
Wärmemenge	[MWh/a]	2000
Wärmemenge, die genutzt wird	[MWh/a]	80
Verwendung der Wärme für		Nahwärmenetz

Für die Berechnung der Emissionen ist die Abgasmenge entscheidend: Sie setzt sich zusammen aus der Biogasmenge plus der zur Verbrennung benötigten Menge an Sauerstoff plus der Menge an Stickstoff, der durch die Verbrennungsluft mit eingetragen wird. Diese Menge wird nun um die tatsächlich im Abgas gemessene Sauerstoffkonzentration (plus dem mit der Luft eingetragenen Stickstoff) erhöht.

Die CH₄-Emissionen aus dem BHKW (Methanschlupf) wurden nach LfU 2002 berechnet (siehe Anhang).

NO_x-, CO-, NMVOC- und SO₂-Emissionen

Es gibt keine Abgasmessungen zu den BHKW Modulen.

	ppm	"M _i g/mol"	"Emission mg/Nm ³ "
NO _x (als NO ₂)	k.A.		
NMVOC	k.A.		
CO	k.A.		
H ₂ S (im Biogas)	k.A.		

O₂-Konzentration im Abgas: k.A.

Der Materialaufwand wurde mit Hilfe eines Datenblattes der BHKW Module abgeschätzt.

Endlager

Die allgemeinen Prozesskenndaten wurden als Parameter ermittelt bzw. bereits für vorhergehende Prozesse berechnet.

Biogas-Kapazität [Nm³/h]: 46; Volllaststunden [h/a]: 8600; Lebensdauer [a]: 20

CH₄-Emissionen

Die Berechnung erfolgt über Abbaukurven, siehe Berichtsteil Abschnitt 3.3 Emissionen von Gülle- bzw. Gärrestmanagement.

N₂O-, und NH₃-Emissionen

Berechnung mittels Literaturwerten, siehe Berichtsteil Abschnitt 3.3 Emissionen von Gülle- bzw. Gärrestmanagement

Baumaterialien

Offenes Endlager: Beton: 189 t

Offene Endlager: 2x: V=2000m³; 3x: V=600m³; Beton: 90 t

Die Menge an verwendetem Baustahl wurde aus der Betonmenge abgeschätzt.

Transport Dünger

Die Flächen für die Ausbringung des Gärrestes befinden sich am Betrieb.

Die benötigten Daten wurden bereits unter dem Punkt „Rohstoff Nawaros“ angegeben.

Düngung

Es werden keine Flächen außerhalb des Systems mit Gärrest gedüngt.



ANHANG B

Gemis Parameter

J. Pucker, S. Siegl, A. Stuhlbacher, F.J. Ebner-Ornig
Juni 2010

Daten zur Erstellung von Lebenszyklusanalysen die im Rahmen des Projektes "Ökobilanz Biogas - Erfolgsfaktoren zur nachhaltigen Biogastechnologie am Beispiel ausgewählter Biogasanlagen" erhoben wurden.

Übersicht

Rohstoff

Daten zur Rohstoffbereitstellung und Transport

Vorbehandlung

Daten zur Rohstoffaufbereitung und Lagerung

Biogas

Daten zur Biogaserzeugung, BHKW und Biogasaufbereitung

Behandlung Gärreste

Daten zur Gärrestbehandlung

Material

Materialaufwand für Komponenten der Biogasanlage

Rohstoffbereitstellung und Transport

Biogas 1

Sammlung Reststoffe	Wasser-gehalt [%]	Menge [t FM/a]	Transport-distanz [km]
Speiseabfälle ^{A B}	85%	4.421	200
Molkereiabfälle ^B	25%	165	10
Biomüll ^B	70%	257	60
Lederspäne ^B	40%	67	120
Gras ^B	61%	5	10
Flotat ^B	93%	9	200
verdorbenes Saatgut ^B	60%	9	10
Stärkeschlamm	80%	44	230
Fettabscheiderrückstände	90%	104	70
aufbereitete Speiseabfälle	85%	971	200

^A inkludiert 18 [t FM/a] "Sonstiges", die nicht eindeutig zugewiesen werden konnten

^B Diese Rohstoffe werden bei einer nahegelegenen Kläranlage angeliefert und aufbereitet. 85% der aufbereiteten Rohstoffmenge wird im System Biogas 1 eingesetzt. Für die Zuordnung zum System Biogas 1 wurden die Mengen der einzelnen Rohstofffraktionen deshalb auf 85% reduziert.

Biogas 2

Anbau und Ernte Energiepflanzen	Wasser-gehalt [%]	Ertrag [t FM/(ha*a)]	Fläche [ha]	Menge [t FM/a]	Diesel-verbrauch am Feld [l/(ha*a)]	Pflanzen-schutzmittel [kg/(ha*a)]	Saatgut [kg/(ha*a)]	Transport-distanz [km]
Mais (GPS)	61%	65	37	2.378	86	1,5	18	6
Mais (CCM)	36%	13	114	1.485	86	1,5	18	16

Sammlung Reststoffe und Gülle	Wasser-gehalt [%]	Menge [t FM/a]	Transport-distanz [km]
Schweinegülle	96%	4.800	5,4 ^A
Fettabscheiderrückstand	80%	510	400
Flotat	91%	91	100
Speisereste	85%	2.990	180
Obstabfälle	85%	725	24

^A 3.200 t werden mittels Güllefass transportiert. 1.600 t/a werden gepumpt.
Aufwand dafür ist beim Strombedarf für die Biogaserzeugung berücksichtigt.

Biogas 3

Anbau und Ernte Energiepflanzen	Wasser- gehalt [%]	Ertrag [t FM/(ha*a)]	Fläche [ha]	Menge [t FM/a]	Diesel- verbrauch am Feld [l/(ha*a)]	Pflanzen- schutzmittel [kg/(ha*a)]	Saatgut [kg/(ha*a)]	Transport- distanz [km]
Mais (GPS)	64%	63	69	4.324	105	4,5	35	16
Maiskörner	32%	17	320	5.542	91	4,5	28	16

Sammlung Reststoffe und Gülle	Wasser- gehalt [%]	Menge [t FM/a]	Transport- distanz [km]
Schweinegülle	94%	7.300	6
Rübenschnitt	87%	927	30
Gemüseabfall	97%	611	4
Weizen (verdorben)	14%	174	30

Biogas 4

Anbau und Ernte Energiepflanzen	Wasser- gehalt [%]	Ertrag [t FM/(ha*a)]	Fläche [ha]	Menge [t FM/a]	Diesel- verbrauch am Feld [l/(ha*a)]	Pflanzen- schutzmittel [kg/(ha*a)]	Saatgut [kg/(ha*a)]	Transport- distanz [km]
Mais (GPS)	72%	48	181	8573	139	1,6	35	10
Grassilage	68%	26	38	983	119	-	2	10
Sonnenblumen-Mais Gemisch	80%	40	4	164	115	4,5	15	10
Kleesilage	55%	31	25	768	173	-	2	10
Grünschnittgetreide	79%	30	0,5	15	101	-	150	10

Biogas 5

Anbau und Ernte Energiepflanzen	Wasser- gehalt [%]	Ertrag [t FM/(ha*a)]	Fläche [ha]	Menge [t FM/a]	Diesel- verbrauch am Feld [l/(ha*a)]	Pflanzen- schutzmittel [kg/(ha*a)]	Saatgut [kg/(ha*a)]	Transport- distanz [km]
Grassilage	61%	26	204	5300	77	-	2	9,4

Biogas 6

Anbau und Ernte Energiepflanzen	Wasser- gehalt [%]	Ertrag [t FM/(ha*a)]	Fläche [ha]	Menge [t FM/a]	Diesel- verbrauch am Feld [l/(ha*a)]	Pflanzen- schutzmittel [kg/(ha*a)]	Saatgut [kg/(ha*a)]	Transport- distanz [km]
Mais (GPS)	70%	70	9	650	106	1,3	14	2
Grassilage	65%	21	15	320	102	-	2	2

Sammlung Reststoffe und Gülle	Wasser- gehalt [%]	Menge [t FM/a]	Transport- distanz [km]
Rindergülle	88%	1575	0
Fettabscheiderrückstände	95%	500	46
Speiseöl	5%	55	76
Molkereiabfall	22%	500	12
Weizenstroh	25%	34	0

Rohstoffaufbereitung und -lagerung

Vorbehandlung	Rohstoff	Art d. Vorbehandlung	Diesel- verbrauch [l/a]	Elektrische Hilfsenergie [kWh/a]
Biogas 1	Rohstoffmix	zerkleinern, hygenisieren	-	132.395
Biogas 2	Rohstoffmix	zerkleinern, hygenisieren	-	39.800
Biogas 3	Maiskörner	quetschen	-	1.661
Biogas 5	Grassilage	zerkleinern, mischen	9.200	13.100
Biogas 6	Mais (GPS)	zerkleinern, mischen	450	1.500
Biogas 6	Grassilage	zerkleinern, mischen	450	3.100

Lagerung	Rohstoff	Lagerverluste [%]	Diesel- verbrauch [l/a]	Kunststoff- folie [kg/a]
Biogas 3	Maissilage	5	1.687	440
Biogas 4	Rohstoffmix	5	1.891	275
Biogas 5	Grassilage	0	1.260	550
Biogas 6	Mais (GPS)	0	140	0
Biogas 6	Grassilage	0	0	600

Biogaserzeugung, BHKW, Biogasaufbereitung

Biogaserzeugung	Rohstoff-Input	CH ₄ -Gehalt Biogas	Biogas Output		Gärreste	elektr. Hilfsenergie	therm. Hilfsenergie
	[t FM/a]	[%]	[Nm³/a]	[MWh/a]	[t FM/a]	[kWh/a]	[kWh/a]
Biogas 1	6.051	65%	732.996	4.750	6.102	308.162	306.609
Biogas 2	12.979	62%	2.413.800	14.918	12.331	256.938	861.000
Biogas 3	18.385	51%	3.589.379	18.318	14.363	450.000	nicht bekannt
Biogas 4	9.978	50%	1.981.807	9.958	8.074	205.600	700.000
Biogas 5	5.300	58%	1.024.000	5.920	5.850	69.000	440.000
Biogas 6	3.634	62%	410.000	2.539	3.010	4.475	180.000

Strom u. Wärme- erzeugung	Leistung elektrisch	Leistung thermisch	Nutzungs- grad elektrisch	Elektrizität eingespeist	Wärme genutzt ^A	CH ₄ ^B	SO ₂ ^C	NOx ^D	CO ^D	NMVOC ^E	Partikel ^E
	[kW]	[kW]	[%]	[MWh/a]	[MWh/a]	[mg/Nm³ Abgas]	[mg/Nm³ Abgas]	[mg/Nm³ Abgas]	[mg/Nm³ Abgas]	[mg/Nm³ Abgas]	[mg/Nm³ Abgas]
Biogas 1: BHKW	280	398	36%	1.699	1.077	607	37	341	504	50	5
Biogas 2: BHKW	1.000	1.240	35%	5.233	3.671	602	6	400	650	50	5
Biogas 3: BHKW	1.000	1.034	35%	6.700	2.000	580	30	349	430	50	5
Biogas 4: BHKW	526	563	38%	4.100	1.632	283	18	400	650	50	5
Biogas 5: Mikrogasturbine	63	110	29%	248	515	548	4	7,9	12	<5 ^F	nicht bekannt
Biogas 6: BHKW	130	260	38%	966	80	602	23	400	650	50	5

Bezugssauerstoffgehalt: 5 Vol%

^A Eigenbedarf der Anlage nicht inkludiert

^B Berechnet mit Methanschluß von 1% (ausgenommen Anlage 4: Messwert)

^C Berechnet aus Schwefelgehalt im Biogas

^D Messwerte für Anlage 1, 3, 5; Grenzwertempfehlung lt. "Technische Grundlage für die Beurteilung von Emissionen aus Stationärmotoren" für Anlage 2, 4, 6

^E Grenzwertempfehlung lt. "Technischen Grundlage für die Beurteilung von Emissionen aus Stationärmotoren" (ausgenommen Anlage 5)

^F Messwert an einer mit Biogas betriebenen 65 kW Mikrogasturbine Type "Capstone" (TÜV Bericht)

Biogasaufbereitung	Verfahren	Biogas		Biomethan		CO ₂ [*]	CH ₄ [*]
		[Nm³/a]	[MWh/a]	[Nm³/a]	[MWh/a]	[kg/a]	[kg/a]
Biogas 5	Druckwechsel- adsorption	840.000	4.856	420.000	4.103	0	0

Anmerkung: Hilfsenergie bei Biogaserzeugung bereits berücksichtigt

*Restgas wird Mikrogasturbine zugeführt

Gärrestbehandlung

Gärrest- behandlung	Art	Rohstoff- Input [t FM/a]	Rohstoff- Output [t FM/a]	elektrische Hilfsenergie [kWh/a]	Hilfs- material Kalk [kg/a]	Hilfs- material Eisen(III)- chlorid [kg/a]
Biogas 1	Abpressen von Wasser	3.081	925	24.648	96.250	20.000

Materialaufwand für Komponenten der Biogasanlagen

Beton	Rohstofflager, - aufbereitung [t]	Biogas- erzeugung [t]	Biogas- aufbereitung [t]	Gesamt [t]
Biogas 1	30	207	-	237
Biogas 2	420	790	-	1.210
Biogas 3	2.282	1.762	-	4.044
Biogas 4	2.499	342	-	2.841
Biogas 5	410	315	15	740
Biogas 6	95	308	-	403

*Fermenter, Gasspeicher, Entschwefelung, Endlager

Stahl	Rohstofflager, - aufbereitung [t]	Biogas- erzeugung* [t]	BHKW [t]	Biogas- aufbereitung [t]	Gesamt Stahl [t]
Biogas 1	2	70	5	-	77
Biogas 2	4	45	19	-	67
Biogas 3	226	46	19	-	290
Biogas 4	43	21	19	-	83
Biogas 5	11	5	1	2	22
Biogas 6	2	4	1	-	6

*Fermenter, Gasspeicher, Entschwefelung, Endlager

Fragen an den Expertenbeirat

Ausgefüllt von: _____

am: _____

1. Sind die im Projekt ausgewählten Anlagen insgesamt repräsentativ für die österreichische Biogasbranche?

☐ JA ☐ NEIN

Wenn NEIN, Begründung:

2. Entsprechen die im Projekt ausgewählten Anlagen dem Stand der Technik?

☐ JA ☐ NEIN

Wenn NEIN, Begründung:

3. Sind die im Projekt untersuchten Rohstoffe repräsentativ für die österreichische Biogasbranche?

☐ JA ☐ NEIN

Wenn NEIN, Begründung:

4. In welchen Bereichen erwarten Sie zukünftig technische Weiterentwicklungen?

5. Sonstige Anmerkungen:

Ökobilanz Biogas
Expertenbeirat

Fragebogenauswertung

13 Fragebogen mit 4 Fragen zur Repräsentativität der im Projekt ausgewählten Biogasanlagen wurden zwischen Juli und September 2009 an Mitglieder des Expertenbeirats ausgeschickt. 12 Rückmeldungen sind eingelangt, in Form von:

- 10 ausgefüllten Fragebogen
- 1 Telefonanruf
- 1 Email mit Text

In der Folge sind die eingelangten Antworten für jede Frage dargestellt:

1. Sind die im Projekt ausgewählten Anlagen insgesamt repräsentativ für die österreichische Biogasbranche?

Ja: 8

Nein: 2

Begründungen für „Nein“ und Anmerkungen:

- In der Zeit 2003 – 2006 wurden durchaus mehrere kleine Anlagen (bis 100 kW) errichtet
- Mindestens 1 Anlage die Bioabfall aus der kommunalen Sammlung bzw. Küchen- u. Speiseabfälle vergärt, müsste betrachtet werden. Für diese Abfälle existieren bereits Behandlungsanlagen und diese Abfälle dürften in Zukunft noch bedeutender werden für die Biogasgewinnung.
- Für die Repräsentativität sollte der Fermentertyp mit in Betrachtung gezogen werden. Für Gaseinspeisung Konzentration auf Anlagen mit entsprechenden Erfahrungswerten bzw. Anlagengrößen (z.B. Bruck a. d. Leitha)
- Ein Großteil (>50%) der Anlagen kleiner 100 kW. Davon ist keine in ihrer Aufstellung

2. Entsprechen die im Projekt ausgewählten Anlagen dem Stand der Technik?

Ja: 10

Nein: 0

Anmerkungen:

- Mit den vorliegenden Angaben schwer nachvollziehbar
- Kann aus den Unterlagen nur bedingt beurteilt werden
- Grundsätzlich sollten Anlagen neueren Baujahres betrachtet werden (1996 ist meiner Ansicht nach bereits zu alt). Weiters sollte bei der Auswahl auf die technische Ausführung (z.B.:

Gasanalytik, Substrataufbereitung, Abluftreinigung etc.) Wert gelegt werden.

3. Sind die im Projekt untersuchten Rohstoffe repräsentativ für die österreichische Biogasbranche?

Ja: 9

Nein: 1

Begründungen für „Nein“ und Anmerkungen:

- Mindestens 1 Anlage die Bioabfall aus der kommunalen Sammlung bzw. Küchen- u. Speiseabfälle vergärt, müsste betrachtet werden.
- Anlage 1 und 5 ist im Vergleich zur Anzahl von landwirtschaftlichen Anlagen eher untergeordnet.

4. In welchen Bereichen erwarten Sie zukünftig technische Weiterentwicklungen?

- Rohstoffe:
 - Substrataufbereitung: Hydrolyse u. Aufbereitung von biogenen Abfällen
 - Nutzung von agrarischen und industriellen Reststoffen
 - Transport und Logistik (z.B. neue Bergeverfahren für agrarische Reststoffe)
 - Reduktion der Rohstoffkosten (z.B. Einsatz von Zwischenfrucht)
- Gasaufbereitung und Gaseinspeisung
 - Aufbereitung zu Biomethan
 - Konzepte zur wirtschaftlichen Einspeisung ins Erdgasnetz
 - Treibstoffersatz
- Anlagentechnik:
 - Fementertechnik (ohne bewegte Innenteile)
 - Einbringungstechnik
 - Lagerung (z.B. Zwischenfrüchte und Restpflanzen mit sub-optimalen TS-Gehalten)
 - Installation von größeren Anlagen: professioneller Anlagentechnik (Rühreinheiten, Lagerung und Biogasgüllemaangement)
 - Biogasanlagen kleinere Leistungen auf Basis von Gülle u. Stallmist
 - Reduktion der Investitionskosten (z.B. Standardisierung)
- Gärrestverwertung
- Thema Bioraffinerie: Nutzung von Koppelprodukten, kaskadische Nutzung der Biomasse

5. Sonstige Anmerkungen:

- Beschreibung des Gärrestes bzw. dessen Behandlung und weitere Verwendung sollten enthalten sein. Für eine Ökobilanz ist interessant ob ein Gärrest flüssig auf den Acker gebracht wird oder ein entwässerter Gärrest direkt oder nach Kompostierung verwertet wird.
- Beurteilung des Standes der Technik ist aufgrund fehlender Definition dessen etwas schwierig
- Biogasmengen für Bewertung der Repräsentativität wäre hilfreich
- Methodikvorschlag: nicht direkt mit Biogasbranchenmonitor vergleichen, sondern Emissionen der Anlagen laut Aufteilung im Biogasbranchenmonitor aufteilen für einen österreichischen Durchschnitt

Ergebnisprotokoll

Ökobilanz von Biogasanlagen - Erfolgsfaktoren zur nachhaltigen Nutzung der Biogastechnologie am Beispiel ausgewählter Biogasanlagen

Treffen des Expertenbeirats
Irdning, 28.1.2010

**J. Pucker, G. Jungmeier, A. Stuhlbacher, S. Siegl,
R. Kirchmayr, F.J. Ebner-Ornig, E.M. Pötsch,
G. Bochmann**

Das Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms
„ENERGIE DER ZUKUNFT“ durchgeführt (www.energiedierzukunft.at).

16 angefragte Personen für Expertenbeirat

- Biogasbranche (Anlagenbetreiber, Planer)
 - **Reinhard Fink**
 - **Johann Luttenberger**
 - **Karl Pfiel**
 - **Siegfried Legath**
 - **Erich Giselbrecht jun**
 - **Peter Stiegler**
- Energiewirtschaft
 - **Kurt Pollak** (InnovationCoaches, ehemals OMV)
 - **Tomas Müller** (VEÖ - Verband der Elektrizitätsunternehmen Österreichs)
 - **Norbert Machan** (Energie Steiermark, Gas und Wärme)
- Landwirtschaft
 - **Horst Jauschnegg** (Landwirtschaftskammer Steiermark)
 - **Franz Kirchmeyr** (ARGE Kompost und Biogas)
- Abfallwirtschaft
 - **Hannes Köck** (Saubermacher)
 - **Horst Müller** (Technisches Büro f. Umwelttechnik Müller Abfallprojekte GmbH)
- Forschung
 - **Werner Pölz** (Umweltbundesamt)
 - **Christian Leonhartsberger** (Universität für Bodenkultur Wien, Departement für Nachhaltige Agrarsysteme, Institut für Landtechnik)
 - **Jan Bleyl** (Grazer Energieagentur)

Teilnehmer beim Treffen des Expertenbeirats am 28.1.2010

Projektkonsortium:

- Erich M. Pötsch, Franz-Josef Ebner-Ornig, Sonja Siegl, Günter Bochmann, Arnold Stuhlbacher, Gerfried Jungmeier, Johanna Pucker

Expertenbeirat:

- Johann Luttenberger (Biogasbranche)
- Engelbert Uller (Biogasbranche)
- Kurt Pollak (InnovationCoaches, ehemals OMV)
- Norbert Machan (Energie Steiermark, Gas und Wärme)
- Thomas Loibnegger (Landwirtschaftskammer Steiermark)
- Franz Kirchmeyr (ARGE Kompost und Biogas)
- Christian Leonhartsberger (Universität für Bodenkultur Wien, Departement für Nachhaltige Agrarsysteme, Institut für Landtechnik)

Tagesordnung

10:00 – 12:30

- Begrüßung
- Vorstellung des Projektkonsortiums und des Expertenbeirats
- Projektvorstellung (Pucker)
- Methodischer Hintergrund
 - Lebenszyklusanalyse und vorläufige Ergebnisse im Überblick (Jungmeier)
 - Datenerhebung (Ebner-Ornig)
 - Emissionsfaktoren: N_2O , NH_3 , CH_4 (Siegl)

12:30 – 13:30

- Mittagessen

Tagesordnung

13:30 – 15:30

- Vorläufige Endergebnisse (Pucker)
- Diskussion und Statements der Mitglieder des Expertenbeirats
- Zusammenfassung und Ausblick (Jungmeier, Stuhlbacher)

15:30 – 17:00

- Besichtigung Biogasanlage Prieler

Zusammenfassung Expertenbeirat

Erfolgte Klarstellungen zum Untersuchungsrahmens:

- Umweltwirkungen der Errichtung und Entsorgung berücksichtigt
- Stand der Technik ist für alle Systeme vergleichbar; z.B. CNG Fahrzeug für Erdgas und Biomethan ist das selbe
- Betrachtungsraum: Österreich
- Annahme: Phosphor, Kali, Kalzium und Spurenelement passieren den Biogasprozess verlustfrei
- Datenbasis für Projekt sind vorhandene Daten; neue Messungen waren nicht Teil des Projektes, d.h. Ableitung von zukünftigem F&E-Bedarf
- Ausbringtechnik wie derzeit tatsächlich im Einsatz
- Ausbringtechnik ist ein Erfolgsfaktor
- Biogasanlagen waren im stationären Betrieb
- Direkte N₂O-Emissionen in Anlehnung an die Bandbreite des IPCC und eigene Literaturlauswertungen

Zusammenfassung Expertenbeirat

Anmerkungen und Ergänzungen I

- auch Strom aus Kohle in fossilem Energiesystem berücksichtigen, Vergleich mit österreichischem Strommix, UTCE Strommix und BHKW mit Erdgas ergänzen
- Referenzsystem Wärmeerzeugung: nur Öl oder auch andere Energieträger (wurde für die 6 Anlagen bisher nicht erhoben, Nacherhebung wird geprüft)? Es werden auch andere Energieträger berücksichtigt werden
- Biomethan als Treibstoff auch im Vergleich zu Bioethanol und Biodiesel
- Aufsuchen von Erdöl, Erdgas und Kohle ist nicht berücksichtigt, bei der Biogasanlage ist die Planung auch nicht inkludiert
- Berücksichtigung von Nebenprodukten der fossilen Energieträger, z.B. Asche aus Kohleverbrennung, Bitumen wird geprüft
- Nährstoffbilanz ausgehend von Gasanalyse dann Rückrechnung zu Inputsubstraten für Biogasanlage; wo sind N- und andere Verluste
- Gasanalysen von Harasek (Bruck/L, Magarethen /M) als Unterstützung für Nährstoff-Bilanzen

Zusammenfassung Expertenbeirat

Anmerkungen und Ergänzungen II

- Mais kann nur mit Gärresten gedüngt und angebaut werden, z.B. Aufbringung durch „Verschlauchung“, max. 210 kg N/(ha*a) gesetzl. möglich
- In der Praxis N- und P-Gehalt wesentlich für die Ausbringung, d.h. notwendigen Flächen
- Nährstoffbilanz Anbau NAWAROS: Was liefert der Boden?
- Sensitivitätsanalyse zu Endlager offen und abgedeckt notwendig
- Begründung/Mechanismen woher CH₄-Emissionen bei der Ausbringung von Gärresten herkommen, z.B. ist es im Gärrest gelöstes CH₄?
- Prozesskettenbild auch mit Referenzsystem mit erneuerbarer Energie
- Staub: Prüfung der vorläufigen Ergebnisse sowie Darstellung, aus welchen Prozessen die Staub-Emissionen bei Biogas stammen (Anmerkung: Öl und Gas haben geringe Staub-Emissionen)
- Spinnendiagramme auch durch absolute Werte ergänzen
- Erfolgsfaktoren zur nachhaltigen Biogasnutzung, d.h. Maßnahmen zur Optimierung der Biogas-Technologien

Zusammenfassung Expertenbeirat

Anmerkungen und Ergänzungen III

- Thermische Verwertung der Reststoffe in Müllverbrennung ist von europäischem Interesse, wird im Projekt nicht betrachtet
- Humus- bzw. Kohlenstoffbilanz den landwirtschaftlichen Böden durch Gärreste: Humusgehalt wird eher nicht erhöht bzw. nicht gesenkt, eine Erhöhung des Bodenleben ist möglich. Klima und Bodenbearbeitung wesentlich für die Humusbilanz, d.h. keine Änderung der Kohlenstoffmengen in landwirtschaftlichen Böden kann angenommen werden
- „Datenunschärfen“ und Datenbereiche werden durch Sensitivitätsanalysen in Ökobilanz berücksichtigt

Wie geht es weiter?

- Geplanter Projektabschluss 31.03.2010



ANHANG D

NÄHRSTOFFBILANZEN BIOGASSYSTEME IM VERGLEICH ZUR REFERENZNUTZUNG VON RESTSTOFFEN UND UNVERGORENER GÜLLE

J. Pucker, G. Jungmeier

JUNI 2010

Inhaltsverzeichnis

D-1. Biogas 1: 100% Reststoffe	2
D-2. Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe	3
D-3. Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe	4
D-4. Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe	5

D-1. Biogas 1: 100% Reststoffe

Gegenüberstellung der Nährstoffbilanz für das Biogassystem „Biogas 1: 100% Reststoffe“ und die Referenznutzung von Reststoffen und Gülle zur Abschätzung des mineralischen Düngerbedarfs oder -überschusses für das Biogassystem.

Tabelle 1: Nährstoffbilanz des Biogassystems „Biogas 1: 100% Reststoffe“ im Vergleich zur Referenznutzung

Nährstoffbilanz					
Biogasanlage 1			Referenznutzung		
Substrate + Nährstoffinput			Kompostierung		
53 t/a die in Kläranlage gehen und 18 t/a Fraktion "Sonstiges" werden vernachlässigt, es wird der gleiche Nährstoff-Input bei gerinfüg kl. Substratmenge angenommen)			Substrate + Nährstoffinput		
Substrat [t FM/a]	6.677		Substrat [t FM/a]	6.606	
Stickstoff [t/a]	29,38		Stickstoff [t/a]	29,38	
Phosphor [t/a]	12,02		Phosphor [t/a]	12,02	
Kalium [t/a]	4,01		Kalium [t/a]	4,01	
Verluste bei der Biogaserzeugung			Verluste bei Kompostierung		
N2O, NH3 Verluste - Abschnitt "Emissionen für Gärrest Lagerung"			Durchschnitt	Min	Max
			N2O [g/t FM]	100	20
			NH3 [g/t FM]	550	500
			N2O [kg/a]	661	132
			NH3 [kg/a]	3.633	3.303
			Anteil N in N2O	63,64%	
			Anteil N in NH3	82,35%	
			N Verlust durch N2O [kg]	420	84
			N Verlust durch NH3 [kg]	2.992	2.720
			N Verlust gesamt [kg]	3.413	2.804
Ex Lager			Ex Lager		
Stickstoff [t/a]	24,20	Ausbringfläche [ha]: 120	Stickstoff [t/a]	25,97	26,57
Phosphor [t/a]	6,56	Stickstoff [kg/(ha*a)] 201,7	Phosphor [t/a]	12,02	12,02
Kalium [t/a]	2,20	Phosphor [kg/(ha*a)] 54,7	Kalium [t/a]	4,01	4,01
Feldfallend (-8,6% N Ausbringverluste)			Feldfallend (-8,6% N Ausbringverluste)*		
Stickstoff [t/a]	22,12		Stickstoff [t/a]	23,73	24,29
Phosphor [t/a]	6,56		Phosphor [t/a]	12,02	12,02
Kalium [t/a]	2,20		Kalium [t/a]	4,01	4,01
Nährstoffbedarf Biogasanlage im Vergleich zu Referenzsystem (bezogen auf feldfallend)					
Stickstoff [t/a]	1,61				
Phosphor [t/a]	5,46				
Kalium [t/a]	1,81				
Jahreswirksam (-26% N Verluste)			Jahreswirksam (-90% N Verluste)**		
Stickstoff [t/a]	16,37		Stickstoff [t/a]	2,37	2,43
Phosphor [t/a]	6,56		Phosphor [t/a]	12,02	12,02
Kalium [t/a]	2,20		Kalium [t/a]	4,01	4,01
Mineralischer Düngerbedarf Biogasanlage (N Verluste jahreswirksam berücksichtigt)					
Stickstoff [t/a]	1,2				
Phosphor [t/a]	5,5				
Kalium [t/a]	1,8				

* Annahme: Verluste bei der Ausbringung gleich wie beim Biogassystem

** 10% des feldfallenden N werden bei Kompost als jahreswirksam angerechnet

D-2. Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe

Gegenüberstellung der Nährstoffbilanz für das Biogassystem „Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe“ und die Referenznutzung von Reststoffen und Gülle zur Abschätzung des mineralischen Düngerbedarfs oder -überschusses für das Biogassystem.

Tabelle 2: Nährstoffbilanz des Biogassystems „Biogas 2: 25% Nawaros + 31% Gülle + 44% Reststoffe“ im Vergleich zur Referenznutzung

Nährstoffbilanz															
Biogasanlage 2				Referenznutzung											
Substrate + Nährstoffinput				Kompostierung		Lagerung + Ausbringung Gülle		Kläranlage (anaerobe Faulung)							
				Substrate + Nährstoffinput											
Substrat [t FM/a]		15,327		Substrat [t FM/a]		4,800		Substrat [t FM/a]		2,963					
Stickstoff [t/a]		70,35		Stickstoff [t/a]		23,99		Stickstoff [t/a]		13,74					
Phosphor [t/a]		17,05		Phosphor [t/a]		5,27		Phosphor [t/a]		4,46					
Kalium [t/a]		30,43		Kalium [t/a]		9,59		Kalium [t/a]		0,08					
Verluste bei der Biogaserzeugung				Verluste bei Kompostierung: Durchschnitt Verluste bei Lagerung				Verluste Kläranlage****							
N2O, NH3 Verluste - Abschnitt "Emissionen für Gärrest Lagerung"				N2O [g/t FM]		100									
				NH3 [g/t FM]		550									
				N2O [kg/a]		372		N2O [kg/a]		161		N2O [kg/a]		32	
				NH3 [kg/a]		2.043		NH3 [kg/a]		2.053		NH3 [kg/a]		322	
				Anteil N in N2O		63,64%		Anteil N in N2O		63,64%		Anteil N in N2O		63,64%	
				Anteil N in NH3		82,35%		Anteil N in NH3		82,35%		Anteil N in NH3		82,35%	
				N Verlust durch N2O [kg]		236		N Verlust durch N2O [kg]		102		N Verlust durch N2O [kg]		20	
				N Verlust durch NH3 [kg]		1.683		N Verlust durch NH3 [kg]		1.691		N Verlust durch NH3 [kg]		265	
				N Verlust gesamt [kg]		1.919		N Verlust gesamt [kg]		1.793		N Verlust gesamt [kg]		286	
Ex Lager				Ex Lager		Ex Lager		Ex Lager							
Ausbringfläche insgesamt [ha]: 423				Stickstoff [t/a]		13,06		Stickstoff [t/a]		22		Stickstoff [t/a]		13,46	
Stickstoff [t/a]		68,86		Stickstoff [kg/(ha*a)]		162,8		Phosphor [t/a]		5,27		Phosphor [t/a]		4,46	
Phosphor [t/a]		17,05		Phosphor [kg/(ha*a)]		40,3		Phosphor [t/a]		9,59		Phosphor [t/a]		0,08	
Kalium [t/a]		30,41		Kalium [kg/(ha*a)]		71,90		Kalium [t/a]		8,83		Kalium [t/a]		0,08	
Feldfallend (-14,4% N Ausbringverluste)				Feldfallend (-14,4% N Ausbringverluste)*		Feldfallend (N Ausbringverluste)		Feldfallend (-14,4% N-Ausbringverluste)*							
						N2O [kg/a]		541							
						NH3 [kg/a]		2.734							
						N Verlust durch N2O [kg]		344							
						N Verlust durch NH3 [kg]		2.252							
						N Verlust gesamt [kg]		2.596							
Stickstoff [t/a]		58,95		Stickstoff [kg/(ha*a)]		139,36		Stickstoff [t/a]		19,60		Stickstoff [t/a]		11,52	
Phosphor [t/a]		17,05		Phosphor [kg/(ha*a)]		40,30		Phosphor [t/a]		5,27		Phosphor [t/a]		4,46	
Kalium [t/a]		30,41		Kalium [kg/(ha*a)]		71,90		Kalium [t/a]		9,59		Kalium [t/a]		0,08	
Dünger für Nawaros (feldfallend)															
Ausbringfläche [ha]: 167															
Stickstoff [t/a] 23,27															
Phosphor [t/a] 6,73															
Kalium [t/a] 12,01															
Dünger für andere Flächen (Vergleich mit Referenzsystem)				Gesamt feldfallend		Stickstoff [t/a] 42,30									
						Phosphor [t/a] 14,07									
						Kalium [t/a] 18,50									
Nährstoffbedarf Biogasanlage im Vergleich zu Referenzsystem (bezogen auf feldfallend)															
Stickstoff [t/a] 6,63															
Phosphor [t/a] 3,75															
Kalium [t/a] 0,09															
				Jahreswirksam (-90% N Verluste)**		Jahreswirksam (-20% N Verluste)***		Jahreswirksam							
				Stickstoff [t/a] 1,12		Stickstoff [t/a] 15,68		Stickstoff [t/a]		11,52					
				Phosphor [t/a] 4,34		Phosphor [t/a] 5,27		Phosphor [t/a]		4,46					
				Kalium [t/a] 8,83		Kalium [t/a] 9,59		Kalium [t/a]		0,08					
Jahreswirksam (-20% N Verluste)				Gesamt Jahreswirksam		Stickstoff [t/a] 28,32									
						Phosphor [t/a] 14,07									
						Kalium [t/a] 18,50									
Mineralischer Düngerbedarf Biogasanlage (N Verluste jahreswirksam berücksichtigt)															
Stickstoff [t/a] 5,3															
Phosphor [t/a] 3,8															
Kalium [t/a] 0,1															

* Annahme: Verluste bei der Ausbringung gleich wie beim Biogassystem

** 10% des feldfallenden N werden bei Kompost als jahreswirksam angerechnet

*** 80% des feldfallenden N werden bei Gülle als jahreswirksam angerechnet

**** Annahme: gleich wie Verluste der Biogasanlage, da anaerobe Faulung auch Vergärungsprozess ist

D-3. Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe

Gegenüberstellung der Nährstoffbilanz für das Biogassystem „Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe“ und die Referenznutzung von Reststoffen und Gülle zur Abschätzung des mineralischen Düngerbedarfs oder -überschusses für das Biogassystem.

Tabelle 3: Nährstoffbilanz des Biogassystems „Biogas 3: 52% Nawaros + 39% Gülle + 9% Reststoffe“ im Vergleich zur Referenznutzung

Nährstoffbilanz							
Biogasanlage 3				Referenznutzung			
Substrate + Nährstoffinput				Kompostierung		Lagerung/Ausbringung unvergorene Gülle	
Substrat [t FM/a]	18,371			Substrate + Nährstoffinput		Substrat [t FM/a]	7,300
Stickstoff [t/a]	120,82			Substrat [t FM/a]	1,712	Stickstoff [t/a]	36,49
Phosphor [t/a]	22,31			Stickstoff [t/a]	7,58	Phosphor [t/a]	8,02
Kalium [t/a]	48,90			Phosphor [t/a]	0,99	Kalium [t/a]	14,59
				Kalium [t/a]	2,30		
Verluste bei der Biogaserzeugung				Verluste bei Kompostierung		Verluste bei Lagerung	
N ₂ O, NH ₃ Verluste - Abschnitt "Emissionen für Gärrest Lagerung"				Durchschnitt			
				N ₂ O [g/t FM]	100		
				NH ₃ [g/t FM]	550		
						N ₂ O [kg/a]	131
				N ₂ O [kg/a]	171	NH ₃ [kg/a]	1.675
				NH ₃ [kg/a]	942		
				Anteil N in N ₂ O	63,64%	Anteil N in N ₂ O	63,64%
				Anteil N in NH ₃	82,35%	Anteil N in NH ₃	82,35%
				N Verlust durch N ₂ O [kg]	109	N Verlust durch N ₂ O [kg]	84
				N Verlust durch NH ₃ [kg]	775	N Verlust durch NH ₃ [kg]	1.379
				N Verlust gesamt [kg]	884	N Verlust gesamt [kg]	1.463
Ex Lager				Ex Lager		Ex Lager	
Ausbringfläche insgesamt [ha]:	500			Stickstoff [t/a]	6,70	Stickstoff [t/a]	35
Stickstoff [t/a]	119,50	Stickstoff [kg/(ha*a)]	239	Phosphor [t/a]	0,99	Phosphor [t/a]	8,015
Phosphor [t/a]	22,30	Phosphor [kg/(ha*a)]	44,6	Kalium [t/a]	2,30	Kalium [t/a]	14,585
Kalium [t/a]	48,90	Kalium [kg/(ha*a)]	97,80				
Feldfallend (-10% N Ausbringverluste)				Feldfallend (-10% N Ausbringverluste)*		Feldfallend (Ausbringverluste)	
						N ₂ O [kg/a]	688
						NH ₃ [kg/a]	5.729
						N Verlust durch N ₂ O [kg]	438
						N Verlust durch NH ₃ [kg]	4.718
						N Verlust gesamt [kg]	5.156
Stickstoff [t/a]	107,55	Stickstoff [kg/(ha*a)]	215,10	Stickstoff [t/a]	6,12	Stickstoff [t/a]	29,87
Phosphor [t/a]	22,30	Phosphor [kg/(ha*a)]	44,60	Phosphor [t/a]	0,99	Phosphor [t/a]	8,02
Kalium [t/a]	48,90	Kalium [kg/(ha*a)]	97,80	Kalium [t/a]	2,30	Kalium [t/a]	14,59
Dünger für Nawaros (feldfallend)							
Ausbringfläche [ha]:	389						
Stickstoff [t/a]	83,67						
Phosphor [t/a]	17,35						
Kalium [t/a]	38,04						
Dünger für andere Flächen (Vergleich mit Referenzsystem)				Gesamt feldfallend			
Stickstoff [t/a]	23,88			Stickstoff [t/a]	35,99		
Phosphor [t/a]	4,95			Phosphor [t/a]	9,00		
Kalium [t/a]	10,86			Kalium [t/a]	16,89		
Nährstoffbedarf Biogasanlage im Vergleich zu Referenzsystem (bezogen auf feldfallend)							
Stickstoff [t/a]	12,11						
Phosphor [t/a]	4,05						
Kalium [t/a]	6,03						
				Jahreswirksam (-90% N Verluste)**		Jahreswirksam (-20% N Verluste)***	
				Stickstoff [t/a]	0,61	Stickstoff [t/a]	23,89
				Phosphor [t/a]	0,99	Phosphor [t/a]	8,015
				Kalium [t/a]	2,30	Kalium [t/a]	14,585
Jahreswirksam (-20% N Verluste)				Gesamt Jahreswirksam			
Stickstoff [t/a]	86,04	Stickstoff [kg/(ha*a)]	172,08	Stickstoff [t/a]	24,51		
Phosphor [t/a]	22,30	Phosphor [kg/(ha*a)]	44,60	Phosphor [t/a]	9,00		
Kalium [t/a]	48,90	Kalium [kg/(ha*a)]	97,80	Kalium [t/a]	16,89		
Mineralischer Düngerbedarf Biogasanlage (N Verluste jahreswirksam berücksichtigt)							
Stickstoff [t/a]	9,7						
Phosphor [t/a]	4,1						
Kalium [t/a]	6,0						

* Annahme: Verluste bei der Ausbringung gleich wie beim Biogassystem

** 10% des feldfallenden N werden bei Kompost als jahreswirksam angerechnet

*** 80% des feldfallenden N werden bei Gülle als jahreswirksam angerechnet

D-4. Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe

Gegenüberstellung der Nährstoffbilanz für das Biogassystem „Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe“ und die Referenznutzung von Reststoffen und Gülle zur Abschätzung des mineralischen Düngerbedarfs oder -überschusses für das Biogassystem.

Tabelle 4: Nährstoffbilanz des Biogassystems „Biogas 6: 27% Nawaros + 43% Gülle + 30% Reststoffe“ im Vergleich zur Referenznutzung

Nährstoffbilanz													
Biogasanlage 6				Referenznutzung									
Substrate + Nährstoffinput				Kompostierung		Lagerung + Ausbringung Gülle		Kläranlage (anaerobe Faulung)					
				Substrat [t FM/a]	500	Substrat [t FM/a]	1.320	Substrat [t FM/a]	510				
				Stickstoff [t/a]	2,85	Stickstoff [t/a]	5,702	Stickstoff [t/a]	0,49				
				Phosphor [t/a]	0,47	Phosphor [t/a]	1,267	Phosphor [t/a]	0,04				
				Kalium [t/a]	0,75	Kalium [t/a]	4,847	Kalium [t/a]	0,08				
Verluste bei der Biogaserzeugung				Verluste bei Kompostieru Durchschnitt		Verluste bei Lagerung		Verluste Kläranlage ****					
N2O, NH3 Verluste - Abschnitt "Emissionen für Gärrest Lagerung"				N2O [g/t FM]	100								
				NH3 [g/t FM]	550								
				N2O [kg/a]	50	N2O [kg/a]	23	N2O [kg/a]	4,43				
				NH3 [kg/a]	275	NH3 [kg/a]	207	NH3 [kg/a]	44,87				
				Anteil N in N2O	63,64%	Anteil N in N2O	63,64%	Anteil N in N2O	63,64%				
				Anteil N in NH3	82,35%	Anteil N in NH3	82,35%	Anteil N in NH3	82,35%				
				N Verlust durch N2O [kg]	32	N Verlust durch N2O [kg]	14	N Verlust durch N2O [kg]	3				
				N Verlust durch NH3 [kg]	226	N Verlust durch NH3 [kg]	171	N Verlust durch NH3 [kg]	37				
				N Verlust gesamt [kg]	258	N Verlust gesamt [kg]	185	N Verlust gesamt [kg]	40				
				Ex Lager				Ex Lager		Ex Lager		Ex Lager	
Ausbringfläche insgesamt [ha]: 65				Stickstoff [t/a]	2,59	Stickstoff [t/a]	6	Stickstoff [t/a]	0,45				
Stickstoff [t/a]	14,58	Stickstoff [kg/(ha*a)]	224,3	Phosphor [t/a]	0,47	Phosphor [t/a]	1,27	Phosphor [t/a]	0,04				
Phosphor [t/a]	2,65	Phosphor [kg/(ha*a)]	40,8	Kalium [t/a]	0,75	Kalium [t/a]	4,85	Kalium [t/a]	0,08				
Kalium [t/a]	11,49	Kalium [kg/(ha*a)]	176,70										
Feldfallend (-15,7% N Ausbringverluste)				Feldfallend (-15,7 % N Ausbringverluste)*		Feldfallend (Ausbringverluste)		Feldfallend (-15,7 % N Ausbringverluste)*					
Stickstoff [t/a] 12,29 Phosphor [t/a] 2,65 Kalium [t/a] 11,49 Stickstoff [kg/(ha*a)] 189,08 Phosphor [kg/(ha*a)] 40,80 Kalium [kg/(ha*a)] 176,70						N2O [kg/a]	106						
						NH3 [kg/a]	538						
						N Verlust durch N2O [kg]	68						
						N Verlust durch NH3 [kg]	443						
						N Verlust gesamt [kg]	511						
				Stickstoff [t/a]	2,18	Stickstoff [t/a]	5,01	Stickstoff [t/a]	0,38				
				Phosphor [t/a]	0,47	Phosphor [t/a]	1,27	Phosphor [t/a]	0,04				
				Kalium [t/a]	0,75	Kalium [t/a]	4,85	Kalium [t/a]	0,08				
				Dünger für Nawaros (feldfallend)									
				Ausbringfläche [ha]: 24,7									
Stickstoff [t/a] 4,67													
Phosphor [t/a] 1,01													
Kalium [t/a] 4,36													
Dünger für andere Flächen (Vergleich mit Referenzsystem)				Gesamt feldfallend									
Stickstoff [t/a] 7,62				Stickstoff [t/a] 7,57									
Phosphor [t/a] 1,64				Phosphor [t/a] 1,78									
Kalium [t/a] 7,12				Kalium [t/a] 5,68									
Nährstoffbedarf Biogasanlage (bezogen auf feldfallend)				Nährstoffbedarf Referenznutzung (bezogen auf feldfallend)									
Stickstoff [t/a] -				Stickstoff [t/a] 0,05									
Phosphor [t/a] 0,14				Phosphor [t/a] -									
Kalium [t/a] -				Kalium [t/a] 1,44									
				Jahreswirksam (-90% N Verluste)**		Jahreswirksam (-20% N Verluste)***		Jahreswirksam					
				Stickstoff [t/a]	0,22	Stickstoff [t/a]	4,01	Stickstoff [t/a]	0,38				
				Phosphor [t/a]	0,47	Phosphor [t/a]	1,267	Phosphor [t/a]	0,04				
				Kalium [t/a]	0,75	Kalium [t/a]	4,847	Kalium [t/a]	0,08				
Jahreswirksam (-20% N Verluste)				Gesamt Jahreswirksam									
Stickstoff [t/a] 9,83				Stickstoff [t/a] 4,60									
Phosphor [t/a] 2,65				Phosphor [t/a] 1,78									
Kalium [t/a] 11,49				Kalium [t/a] 5,68									
Mineralischer Düngerbedarf Biogasanlage (N Verluste jahreswirksam berücksichtigt)				Mineralischer Düngerbedarf Referenznutzung (N Verluste									
Stickstoff [t/a] -				Stickstoff [t/a] 0,05		wird in der LCA nicht berücksichtigt, da sich kein klarer Nährstoffmangel oder -überschuss für das Biogassystem bzw. das Referenzsystem ergibt							
Phosphor [t/a] 0,14				Phosphor [t/a] -									
Kalium [t/a] -				Kalium [t/a] 1,44									

* Annahme: Verluste bei der Ausbringung gleich wie beim Biogassystem

** 10% des feldfallenden N werden bei Kompost als jahreswirksam angerechnet

*** 80% des feldfallenden N werden bei Gülle als jahreswirksam angerechnet

**** Annahme: gleich wie Verluste der Biogasanlage, da anaerobe Faulung auch Vergärungsprozess ist

ANHANG E
ERGEBNISSE DER LEBENSZYKLUSANALYSE
FÜR REFERENZSYSTEME

J. Pucker, G. Jungmeier

JUNI 2010

Inhaltsverzeichnis

E-1. Beitrag zum Treibhauseffekt.....	2
E-2. Beitrag zur Versauerung.....	3
E-3. Beitrag zur bodennahen Ozonbildung	4
E-4. Staub-Emissionen	5
E-5. Fossiler Primärenergiebedarf	6

E-1. Beitrag zum Treibhauseffekt

Tabelle 1: Beitrag zum Treibhauseffekt für Referenzsysteme zur Stromerzeugung

Beitrag zum Treibhauseffekt	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Summe
	[kg CO ₂ -Äq./MWh]			[kg CO ₂ -Äq./MWh]
Erdgas GuD	423	63	1	488
Kohlekraftwerk	952	89	3	1043
Wasserkraft	20	0	0	20
PV	59	2	1	61
Windkraft	17	1	0	19
Erneuerbarer Mix *	22	0	3	26
Österreichischer Strommix **	200	19	2	221
UCTE Mix	458	19	6	483

* Zubauszenario bis 2020: 49% Wasserkraft, 30% Windkraft, 20% Biomasse, 1% PV

** Bruttostromerzeugung in Österreich 2007

Tabelle 2: Beitrag zum Treibhauseffekt für Referenzsysteme zur Wärmeerzeugung

Beitrag zum Treibhauseffekt	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Summe
	[kg CO ₂ -Äq./MWh]			[kg CO ₂ -Äq./MWh]
Hackgutkessel	28	1	3	32
Pelletkessel	32	4	10	45
Stückholzkessel	34	5	8	47
Ölkessel	399	3	2	404
Gaskessel	268	40	2	310
Stromeinzelheizung *	355	31	4	390
Wärmemix Österreich **	248	18	4	270

* mit Österreichischer Bruttostromerzeugung in den Wintermonaten

** Wärmemix: 30% Öl + 30% Gas + 10% Pellet + 10% Hackgut + 10% Stückholz

Tabelle 3: Beitrag zum Treibhauseffekt für Referenzsysteme zur Bereitstellung von Transportdienstleistungen

Beitrag zum Treibhauseffekt	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Summe
	[kg CO ₂ -Äq./PKW-km]			[kg CO ₂ -Äq./PKW-km]
Erdgas-PKW	0,191	0,028	0,001	0,22
Diesel-PKW	0,198	0,003	0,002	0,20
Benzin-PKW	0,245	0,004	0,001	0,25
Biodiesel-PKW (aus Rapsöl)	0,063	0,001	0,069	0,13
Bioethanol-PKW (aus Weizen)	0,133	0,017	0,059	0,21

E-2. Beitrag zur Versauerung

Tabelle 4: Beitrag zur Versauerung für Referenzsysteme zur Stromerzeugung

Beitrag zur Versauerung	SO ₂ [kg SO ₂ -Äq. /MWh]	NO _x	NH ₃	Summe [kg SO ₂ -Äq. /MWh]
Erdgas GuD	0,02	0,58	0,00	0,60
Kohlekraftwerk	0,60	0,35	0,00	0,95
Wasserkraft	0,01	0,03	0,00	0,04
PV	0,09	0,10	0,00	0,19
Windkraft	0,03	0,03	0,00	0,06
Erneuerbarer Strommix*	0,05	0,26	0,00	0,31
Österreichischer Strommix**	0,10	0,26	0,00	0,35
UCTE Mix	0,63	0,65	0,01	1,28

* Zubauszenario bis 2020: 49% Wasserkraft, 30% Windkraft, 20% Biomasse, 1% PV

** Bruttostromerzeugung in Österreich 2007

Tabelle 5: Beitrag zur Versauerung für Referenzsysteme zur Wärmeerzeugung

Beitrag zur Versauerung	SO ₂ [kg SO ₂ -Äq. /MWh]	NO _x	NH ₃	Summe [kg SO ₂ -Äq. /MWh]
Hackgutkessel	0,11	0,43	0,00	0,54
Pelletkessel	0,12	0,38	0,00	0,50
Stückholzkessel	0,10	0,42	0,00	0,52
Ölkessel	0,38	0,24	0,00	0,63
Gaskessel	0,03	0,21	0,00	0,24
Stromeinzelheizung *	0,15	0,53	0,00	0,68
Wärmemix Österreich **	0,20	0,39	0,00	0,59

* mit Österreichischer Bruttostromerzeugung in den Wintermonaten

** Wärmemix: 30% Öl + 30% Gas + 10% Pellet + 10% Hackgut + 10% Stückholz

Tabelle 6: Beitrag zur Versauerung für Referenzsysteme zur Bereitstellung einer Transportdienstleistung

Beitrag zur Versauerung	SO ₂ [g SO ₂ -Äq./PKW-km]	NO _x	NH ₃	Summe [g SO ₂ -Äq. /PKW-km]
Erdgas-PKW	0,067	0,158	0,000	0,224
Diesel-PKW	0,171	0,488	0,000	0,659
Benzin-PKW	0,222	0,162	0,000	0,384
Biodiesel-PKW (aus Rapsöl)	0,170	0,634	0,006	0,811
Bioethanol-PKW (aus Weizen)	0,170	0,203	0,005	0,379

E-3. Beitrag zur bodennahen Ozonbildung

Tabelle 7: Beitrag zur bodennahen Ozonbildung für Referenzsysteme zur Stromerzeugung

Beitrag zur bodennahen Ozonbildung	CO	CH ₄ [kg C ₂ H ₄ -Äq./MWh]	NO _x	NMVOC	Summe [kg C ₂ H ₄ -Äq./MWh]
Erdgas GuD	0,081	0,036	1,022	0,049	1,19
Kohlekraftwerk	0,025	0,050	0,612	0,022	0,71
Wasserkraft	0,007	0,000	0,049	0,000	0,06
PV	0,011	0,001	0,177	0,026	0,22
Windkraft	0,018	0,001	0,054	0,003	0,08
Erneuerbarer Strommix *	0,028	0,000	0,461	0,002	0,49
Österreichischer Strommix **	0,030	0,011	0,449	0,029	0,52
UCTE Mix	0,031	0,010	1,138	0,027	1,21

* Zubauszenario bis 2020: 49% Wasserkraft, 30% Windkraft, 20% Biomasse, 1% PV

** Bruttostromerzeugung in Österreich 2007

Tabelle 8: Beitrag zur bodennahen Ozonbildung für Referenzsysteme zur Wärmeerzeugung

Beitrag zur bodennahen Ozonbildung	CO	CH ₄ [kg C ₂ H ₄ -Äq./MWh]	NO _x	NMVOC	Summe [kg C ₂ H ₄ -Äq./MWh]
Hackgutkessel	0,008	0,001	0,747	0,077	0,83
Pelletkessel	0,006	0,002	0,661	0,313	0,98
Stückholzkessel	0,039	0,003	0,736	0,543	1,32
Ölkessel	0,018	0,002	0,429	0,067	0,51
Gaskessel	0,022	0,022	0,375	0,032	0,45
Stromeinzelheizung	0,061	0,017	0,932	0,168	1,18
Wärmemix Österreich **	0,040	0,010	0,688	0,207	0,95

* mit Österreichischer Bruttostromerzeugung in den Wintermonaten

** Wärmemix: 30% Öl + 30% Gas + 10% Pellet + 10% Hackgut + 10% Stückholz

Tabelle 9: Beitrag zur bodennahen Ozonbildung für Referenzsysteme zur Bereitstellung einer Transportdienstleistung

Beitrag zur bodennahen Ozonbildung	CO	CH ₄ [g C ₂ H ₄ -Äq./PKW-km]	NO _x	NMVOC	Summe [g C ₂ H ₄ -Äq./PKW-km]
Erdgas-PKW	0,135	0,016	0,276	0,074	0,50
Diesel-PKW	0,030	0,001	0,856	0,041	0,93
Benzin-PKW	0,094	0,002	0,284	0,068	0,45
Biodiesel-PKW (aus Rapsöl)	0,071	0,001	1,112	0,025	1,21
Bioethanol-PKW (aus Weizen)	0,059	0,009	0,357	0,085	0,51

E-4. Staub-Emissionen

Tabelle 10: Staub-Emissionen von Referenzsystemen zur Stromerzeugung

Staub-Emissionen	Summe [g/MWh]
Erdgas GuD	16
Kohlekraftwerk	96
Wasserkraft	1
PV	17
Windkraft	19
Erneuerbarer Strommix *	133
Österreichischer Strommix **	57
UCTE Mix	47

* Zubauszenario bis 2020: 49% Wasserkraft, 30% Windkraft, 20% Biomasse, 1% PV

** Bruttostromerzeugung in Österreich 2007

Tabelle 11: Staub-Emissionen von Referenzsystemen zur Wärmeerzeugung

Staub-Emissionen	Summe [g/MWh]
Hackgutkessel	2.131
Pelletkessel	1.745
Stückholzkessel	2.030
Ölkessel	23
Gaskessel	11
Stromeinzelheizung	39
Wärmemix Österreich **	570

* mit Österr. Strommix für Wintermonate

** Wärmemix: 30% Öl + 30% Gas + 10% Pellet + 10% Hackgut + 10% Stückholz

Tabelle 12: Staub-Emissionen von Referenzsystemen zur Bereitstellung einer Transportdienstleistung

Staub-Emissionen	Summe [g/PKW-km]
Erdgas-PKW	0,036
Diesel-PKW	0,041
Benzin-PKW	0,034
Biodiesel-PKW (aus Rapsöl)	0,052
Bioethanol-PKW (aus Weizen)	0,046

E-5. Fossiler Primärenergiebedarf

Tabelle 13: Fossiler Primärenergiebedarf von Referenzsystemen zur Stromerzeugung

Primärenergiebedarf	Fossil [MWh/MWh]
Erdgas GuD	2,21
Kohlekraftwerk	2,86
Wasserkraft	0,00
PV	0,12
Windkraft	0,05
Erneuerbarer Strommix	0,04
Österreichischer Strommix	0,72
UCTE Mix	1,41

Tabelle 14: Fossiler Primärenergiebedarf von Referenzsystemen zur Wärmeerzeugung

Primärenergiebedarf	Fossil [MWh/MWh]
Hackgutkessel	0,08
Pelletkessel	0,09
Stückholzkessel	0,11
Ölkessel	1,47
Gaskessel	1,39
Stromeinzelheizung	1,24
Wärmemix Österreich **	1,04

* mit Österr. Strommix für Wintermonate

** Wärmemix: 30% Öl + 30% Gas + 10% Pellet + 10%
Hackgut + 10% Stückholz

Tabelle 15: Fossiler Primärenergiebedarf von Referenzsystemen zur Bereitstellung einer Transportdienstleistung

Primärenergiebedarf	Fossil [kWh/km]
Erdgas-PKW	0,95
Diesel-PKW	0,72
Benzin-PKW	0,90
Biodiesel-PKW (aus Rapsöl)	0,18
Bioethanol-PKW (aus Weizen)	0,56

ANHANG F
RECHTLICHE ASPEKTE DER
GÄRRESTNUTZUNG: SCHWERMETALLE,
ORGANISCHE SCHADSTOFFE, HYGIENE

A. Stuhlbacher

JUNI 2010

Inhaltsverzeichnis

F-1. Rechtliche und normative Rahmenbedingungen der Gärrestnutzung	2
1.1. Schwermetalle.....	2
1.2. Organische Schadstoffe	5
1.3. Hygiene	6

F-1. Rechtliche und normative Rahmenbedingungen der Gärrestnutzung

Hier werden die wesentlichen relevanten rechtlichen und normativen Rahmenbedingungen und Richtlinien in Bezug auf Schwermetalle, organische Schadstoffe und Hygiene bei der Aufbringung von Gärresten auf landwirtschaftliche Flächen dargestellt. In jenen Bereichen in denen es bundesländerspezifisch unterschiedliche Regelungen gibt, wurden nur die für das Bundesland Steiermark relevanten Grundlagen berücksichtigt.

1.1. Schwermetalle

Bei der Verbringung der Gärreste in die Landwirtschaft sind in jedem Fall die Schwermetall Grenzwerte der Düngemittelverordnung (DMVO 2004), sowie die länderspezifischen Bodenschutzgesetze zu beachten. Bei der Ausbringung auf Flächen des biologischen Landbaus müssen die Schwermetallgrenzwerte der „EU-Verordnung 2092/91 über den ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel“ eingehalten werden. In der Richtlinie des Fachbeirates für Bodenschutz (2007) für die Verwertung von Gärrückständen, sind Grenzwerte für Schwermetallkonzentrationen festgelegt, welche bei einer landwirtschaftlichen Verwertung Berücksichtigung finden sollten. Werden Gärreste einer Kompostierung unterzogen, so kommen hier die Grenzwerte der Österreichischen Kompostverordnung (BGBl Nr. 292/2001) zum tragen.

Nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über derzeit gültige Schwermetallgrenzwerte.

Tabelle 1: Grenzwerte für Schwermetallkonzentrationen für Biogasgülle/Gärrückstand in mg/kg-TM (gemäß Düngemittelverordnung 2004 BGBl. 100 für DüngemittelVO und EU-VO 2092/91) sowie die Beschränkung der Schwermetallfrachten in g/ha in 2 Jahren gem. Richtlinie f. sachgerechten Einsatz von Biogasgülle und Gärrückständen (Fachbeirat f. Bodenschutz 2007) und Grenzwerte für die Qualitätsklassen der österreichischen Kompostverordnung

	DMVO (2004)	EU-VO 2092/91	Frachten g/ha in 2 Jahren	Österr. Kompostverordnung Qualitätsklasse		
				A+	A	B
Blei	150	45	600	45	120	200
Cadmium	1	0,7	10	0,7	1	3,0
Chrom gesamt	100	70	600	70	70	250
Kupfer	-	70	700	70	150	500
Nickel	60	25	400	25	60	100
Quecksilber	1	0,4	10	0,4	0,7	3
Zink	-	200	3000	200	500	1800

Im Rahmen des Projektes waren keine eigenen Analysen zur Schwermetallbelastung der Gärreste in den untersuchten Anlagen vorgesehen. Eine Auswertung von Literaturdaten zu durchschnittlichen Schwermetallkonzentrationen in Gärresten ergab im Vergleich zu den Emissionsbegrenzungen, dass die mittleren Konzentrationen für Kupfer und Zink in den Gärresten über den Grenzwerten der EU Verordnung f. biologischen Landbau sowie des Grenzwertes für die Qualitätsklasse A+ der österreichischen Kompostverordnung liegen. Weiters ist ersichtlich, dass in Anlagen in denen Wirtschaftsdünger mitvergoren werden, die Metalle Kupfer und Zink durchwegs höher sind, als in Anlagen ohne Wirtschaftdünger. Ergebnisse aus Studien von beispielsweise Zessner 1999, Zethner 2002, Pötsch 2004 sowie Stuhlbacher et al. 1996 untermauern die Vermutung, dass Wirtschaftsdünger, wie z.B. Schweinegülle oder Rindermist sehr hohe Kupfer und Zinkgehalte aufweisen können, die betriebsbedingt anfallen. Der mittlere Quecksilberwert der ausgewerteten Gärreste liegt ebenfalls über den Grenzwerten der EU Verordnung sowie der österreichischen Kompostverordnung. Augenscheinlich erhöhte Quecksilberkonzentrationen wurden in Speiseresten bzw. Biomüll gefunden. Eine zusätzliche Übernahme von Reststoffen kann, je nach übernommenem Material zu einer weiteren Aufkonzentrierung von Metallen führen, aber auch zu einer Verringerung der Schwermetallkonzentrationen im Vergleich zu Gülle oder Stallmist führen.

Tabelle 2: Literaturdaten - Schwermetallgehalt von Gärresten

Gärrest	Kupfer mg/kg TM	Zink mg/kg TM	Blei mg/kg TM	Cadmium mg/kg TM	Chrom mg/kg TM	Nickel mg/kg TM	Queck- silber mg/kg TM
1 Zethner & al. 2002 (Wirtschaftsdünger + Fettabfälle)	264	1177	18	0,4	20	17	--
2 Zethner & al. 2002 (Wirtschaftsdünger + Fettabfälle + Speisereste)	49,5	349,3	8,2	0,3	12,8	13,3	--
3 Zethner & al. 2002 (Wirtschaftsdünger + Speisereste)	44	292,9	7,3	0,3	9,2	5,8	--
Braun & al. 2002 1 (Batch-Versuch Speisereste) (zentrifugiert TS~11 %)	139	691	11,7	0,63	113	56,7	2,4
Braun & al. 2002 2 (Batch-Versuch Marktabfälle) (zentrifugiert TS ~11,3%)	197	834	57	--	71,91	136	--
Braun & al. 2002 (Großanlage Speisereste Mittelwert n=7)	97,3	193	5	<0,1	14,38	8,1	<0,01
Pötsch 2004 (Wirtschaftsdünger - Rindergülle)	72	282	6,7	0,56	7,6	8,1	--
Pötsch 2004 (Wirtschaftsdünger - Schweine)	136	621	6,3	0,6	14,8	14,9	--
Pötsch 2004 (Wirtschaftsdünger - Schweine+Rind)	109	438	6,7	1,12	10,9	10,9	--
Roschke 2003 (Ausgangrohstoff Biomüll)	288	627	63	1,1	25	24	0,4
Roschke 2003 (Ausgangrohstoff Rindergülle)	370	830	13	0,25	40	32	0,7
Braun 2004 (Durchschnitt von 55 Gärrestproben aus kommunalen Anlagen in Deutschland, Österreich und Schweiz)	61,4	159,6	43,4	0,3	24,8	14,2	0,16

Schwermetalle unterliegen grundsätzlich während des Fermentationsprozesses keiner Veränderung - erhöhte Schwermetallbelastungen der Rohstoffe spiegeln sich daher in jedem Fall im Gärrest wieder. Da Schwermetalle keinem biologischen Abbau unterliegen, kommt es durch die Verminderung des Trockensubstanzgehaltes während des Fermentationsprozesses, zu einer Aufkonzentrierung der Metallgehalte.

1.2. Organische Schadstoffe

Gemäß der Richtlinie für den sachgerechten Einsatz von Biogasgülle (Fachbeirat f. Bodenschutz 2007) hat sich auf Grund zahlreicher Untersuchungen herausgestellt, dass von den umweltrelevanten organischen Schadstoffen insbesondere die nachfolgenden Stoffgruppen Umweltrelevanz besitzen:

- AOX: Summenparameter für den Gehalt an adsorbierbaren halogenierten organischen Chlorverbindungen; sind in der Regel anthropogenen Ursprungs
- Tenside: Hauptbestandteile in Reinigungs- und Waschmittel zur Absenkung der Oberflächenspannung und Reduktion der Schaumbildung - insbesondere lineare Alkylbenzosulfonate (LAS), Nonylphenole (NP) und Nonylphenoethoxylate (NPEO)
- PAK: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, deren Hauptquelle unvollständige Verbrennungsvorgänge sind (Eintrag über Abschwemmung, Verbrennungsvorgänge etc.)

Auf Grund der nachgewiesenen Konzentrationen und Frachten ist keine unmittelbare Gefährdung abzuleiten. Das Auftreten maximaler Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK-Werte) einiger Stoffe ist jedoch nicht ausgeschlossen. Die Richtlinie für den sachgerechten Einsatz von Biogasgülle sind Richtwerte für den Gehalt anorganischen Schadstoffen in Gärresten angegeben, welche auf dem Entwurf der EU Klärschlammrichtlinie basieren.

Hohe Konzentrationen organischer Schadstoffe im Ausgangsmaterial können den Biogasprozess selbst stören. Untersuchungen dazu liegen bis dato nicht vor - eigene Untersuchungen zum Gehalt an organischen Schadstoffen in Gärresten wurden im Rahmen dieser Studie nicht durchgeführt. Nachfolgende Tabelle zeigt die Richtwerte für anorganische Schadstoffe sowie Untersuchungsergebnisse aus der Literatur.

Tabelle 3: Richtwerte gem. Richtlinie für sachgerechten Einsatz von Biogasgülle (Fachbeirat f. Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz 2006) und Literaturdaten zum Gehalt an organischen Schadstoffen in Gärresten

Gärrest	PAK ¹	AOX [mg/kg TM]	Tenside [LAS mg/kg TM]	NPE ² [mg/kg]	PCB [µg/kg TM]	HCB (Hexa- chlorbenzol) [µg/kg TM]	Benzo(a)- pyren [µg/kg]	Dioxine [ng TEQ/kg TN]
Richtwerte gem. Richtlinie für Einsatz von Biogasgülle (2006)	6	500	2600	50				
¹ Zethner & al. 2002 (Wirtschaftsdünger + Fettabfälle)		112	427,4		33,1	5,1	303	2,8
² Zethner & al. 2002 (Wirtschaftsdünger + Fettabfälle + Speisereste)		91,6	59,6		7,4	21	19,5	0,3
³ Zethner & al. 2002 (Wirtschaftsdünger + Speisereste)		38,5	27,8		3,1	n.n.	24,5	0,2

¹ Σ aus folgenden PAKs: Acenaphten, Phenanthren, Fluoren, Fluoranthen, Pyren, Benzo(b+j+k)fluoranthen, Benzo(a)pyren, Benzo(ghi)perylene, Indeno(1,2,3-c,d)pyren, ² Σ Nonylphenol & Nonylphenoethoxylate (1,2) Ethoxygruppen

1.3. Hygiene

Hygienische Unbedenklichkeit der Gärreste ist insbesondere für deren Verwertung im landwirtschaftlichen Bereich Voraussetzung. Grund dafür ist die Möglichkeit der Übertragung von Seuchen- und Krankheitserregern an Tier, Pflanze und Mensch über unterschiedlichste Transferpfade. In welchem Ausmaß potentielle Krankheitserreger im Gärrest vorhanden sind, ist immer von der Ausgangsmaterialzusammensetzung und dessen unmittelbarer Belastung mit Krankheitskeimen abhängig.

Gesetzliche Grundlage zur Beurteilung der hygienischen Unbedenklichkeit von Gärresten bildet die TNP Verordnung:

TNP- Verordnung (Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 des europäischen Parlamentes und des Rates, Amtsblatt L 273, 03/10/2002) (Synonym „Hygieneverordnung“ oder „TNP- Verordnung“)

Diese Verordnung enthält Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte. Sie regelt generell Verwendungsmöglichkeiten und Verarbeitungs-vorschriften für tierische Nebenprodukte. Im Hinblick auf Biogasanlagen sind darin Zulassungsvoraussetzungen für Biogasanlagen selbst, für deren Betrieb (z.B. Überwachung, etc.) sowie für die Vergärung zugelassene tierischer Nebenprodukte und mikrobiologische Endproduktkriterien für die Gärreste und Ausbringungsregeln geregelt.

Des Weiteren legt die TNP Verordnung Kriterien für die Ausbringung auf Weideland und Böden fest. Mit der Verordnung (EG) Nr. 181/2006, welche mit 1. April 2006 in Kraft getreten ist, sind nähere Durchführungsbestimmungen für die Anwendung von organischen Dünge- und Bodenverbesserungsmitteln aus TNP, erlassen worden.

Gemäß Art. 22 der TNP-VO, ist das Ausbringen tierischer Nebenprodukte auf Weideland nur für Gülle (Wirtschaftsdünger) erlaubt. Sinngemäß gilt dies nach Scherzer 2006 auch für Kompost und Biogasrückstände, wenn in den betreffenden Anlagen keine anderen tierischen Nebenprodukte als Gülle verwendet wurden.

Alle anderen tierischen Nebenprodukte oder daraus gewonnenen Erzeugnissen (z.B. Kompost) dürfen gemäß der TNP-VO daher grundsätzlich nicht auf Weideland ausgebracht werden. Die nähere Durchführungsbestimmungen umfassen folgende Punkte:

- Als mikrobiologisches Kriterium ist für den Gärrest festgelegt, dass keine Salmonellen in 5 Proben á 25g nachweisbar sein dürfen.
- Zugangsverbot für Nutztiere für mindestens 21 Tage nach der letzten Ausbringung
- Verbot von Abernten der behandelten Flächen für mindestens 21 Tage nach der Ausbringung
- Sachgerechte Lagerung und Verpackung bzw. Transport der Produkte, mit dem deutlichen Hinweis auf der Verpackung oder dem Begleitschein, dass der Zugang für Nutztiere zu den behandelten Flächen für mindestens 21 Tage nach der letzten Ausbringung verboten ist
- Aufzeichnungspflicht des Landwirtes bzw. des für die Flächen Verantwortlichen über Mengen, Datum der Ausbringung und Zeiten der Beweidung bzw. der Futterernte

Im Rahmen des Projektes waren keine eigenen Analysen zur Beurteilung des Hygienestatus der Gärreste in den untersuchten Biogasanlagen vorgesehen.

IMPRESSUM

Verfasser

Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH

Gerfried Jungmeier

Johanna Pucker

Arnold Stuhlbacher

Steyrergasse 17

8010 Graz

Tel. +43/316/876-1433

Fax +43/316/8769-1313

Email: gerfried.jungmeier@joanneum.at

Web: www.joanneum.at

Universität für Bodenkultur Wien

Interuniversitäres Department für

Agrarbiotechnologie,

IFA Tulln

Sonja Siegl

Roland Kirchmayr

Günter Bochman

Konrad Lorenz Str. 20

3430 Tulln

Tel. +43/2272/66280-536

Fax. +43/2272/66280-503

Email: guenther.bochmann@boku.ac.at

www.ifa-tulln.ac.at

Raumberg Gumpenstein

Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt

für Landwirtschaft

Erich M. Pötsch

Franz-Josef Ebner-Ornig

Raumberg 38

8952 Irdning

Tel. +43/3682/22451-315

Email: erich.poetsch@raumberg-gumpenstein.at

www.raumberg-gumpenstein.at

Eigentümer, Herausgeber und

Medieninhaber

Klima- und Energiefonds

Gumpendorfer Straße 5/22

1060 Wien

office@klimafonds.gv.at

www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige

Verantwortung für den Inhalt dieses

Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise

die Meinung des Klima- und Energiefonds

wider.

Der Klima- und Energiefonds ist nicht für die

Weiternutzung der hier enthaltenen

Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH