

Hausarbeit im Fach „Energie- und Stoffbilanzen“  
des Studiengangs „Nachwachsende Rohstoffe und erneuerbare Energien“  
an der Fakultät Ressourcenmanagement  
der Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst in Göttingen

## **Berechnung des kumulierten Energieaufwands bei der Gewinnung von Biogas aus nachwachsenden Rohstoffen**

vorgelegt von

Michael Völklein

bei

Prof. Dr.-Ing. Achim Loewen

Göttingen, 30.5.2008

## **Gliederung**

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Biogaserzeugung.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Kumulierter Energieaufwand und Bilanzierung.....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Die Biogasanlage der Völklein Bioenergie GmbH &amp; Co. KG.....</b>	<b>5</b>
4.1	Anlagenbeschreibung.....	5
4.2	Betriebsdaten 2007.....	6
<b>5</b>	<b>Bilanzierung der Biogaserzeugung.....</b>	<b>7</b>
5.1	Bilanzraum.....	7
5.2	Bau der Biogasanlage.....	7
5.3	Bereitstellung der nachwachsende Rohstoffe.....	8
5.4	Anlagenbetrieb.....	10
5.5	Rückbau.....	10
5.6	Ergebnisse der Bilanzierung mit GEMIS.....	11
<b>6</b>	<b>Schluss.....</b>	<b>15</b>
<b>7</b>	<b>Quellenverzeichnis.....</b>	<b>16</b>
<b>8</b>	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>17</b>

## **Anhang**

## 1 Einleitung

Der stetig steigende Ölpreis und die andauernde Berichterstattung über den Klimawandel haben dafür gesorgt, dass die Diskussion über die zukünftige Energieversorgung in breiten Teilen der Bevölkerung angelangt ist. Nun kommen noch die stark gestiegenen Nahrungsmittelpreise und die sich dramatisch verschlechternde Situation bei der Nahrungsmittelversorgung in den Ländern der dritten Welt hinzu. Vor diesem Hintergrund wird dann allzu oft allein die gestiegene Produktion von nachwachsenden Rohstoffen für die Probleme verantwortlich gemacht. Die in letzter Zeit vermehrt veröffentlichten Studien zu der schlechten Ökobilanz der Biotreibstoffe tun ein Übriges um die Bioenergiebranche in Verruf zu bringen. Dabei werden auch in Hinblick auf die in diesem Jahr geplante Verabschiedung der Novelle des Erneuerbare Energien Gesetzes allzu oft klassische Biokraftstoffe und andere erneuerbare Energiequellen über einen Kamm geschoren. Es muss aber berücksichtigt werden, dass der Energieertrag pro Fläche für die verschiedenen biogenen Energieträger stark schwankt. Auch die Möglichkeiten der Nährstoffrückführung auf die Felder variieren in Abhängigkeit von der Nutzungsform.

Die Erzeugung von Biogas hat hierbei große Vorteile, da sie im Gegensatz zur Biodiesel- oder Bioethanolproduktion die ganze Pflanze zur Energiegewinnung nutzen kann, und eine vollständige Rückführung der dem Boden durch das Pflanzenwachstum entzogenen Nährstoffe erlaubt. Der Einsatz von Düngemitteln kann auf diese Weise stark reduziert werden, und auch die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln ist sehr viel seltener nötig, da sowohl Unkräuter, als auch andere Schädlinge in weit höherem Maße toleriert werden können.

Um nun belastbare Zahlen für die Energiebereitstellung durch Biogas zu erhalten, wurde für die Biogasanlage der Völklein Bioenergie GmbH & Co. KG anhand der Planungs- und Betriebsdaten, sowie der Einsatzstofftagebücher eine Bilanz für den kumulierten Energieeinsatz und den CO<sub>2</sub>-Ausstoß erstellt.

## 2 Biogaserzeugung

In einer Biogasanlage wird durch die anaerobe Vergärung von Biomasse ein energiereiches Biogas erzeugt. Dieses besteht zu etwa 50 – 75% aus Methan, 25 – 50% aus Kohlendioxid und geringen Anteilen aus Wasserdampf, Schwefelwasserstoff und anderen Spurengasen. Als Einsatzstoffe eignen sich sowohl Bioabfälle, als auch nachwachsende Rohstoffe mit geringem Ligninanteil, da dieses anaerob während der üblichen Verweilzeiten nicht abgebaut werden kann. Durch die Vergütungsstruktur des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) hat sich eine relativ scharfe Abgrenzung zwischen Biogasanlagen, die Bioabfälle verarbeiten und Anlagen zur Vergärung von nachwachsenden Rohstoffen ergeben. In Bezug auf den kumulierten Energieaufwand und die CO<sub>2</sub>-Bilanz muss hierbei berücksichtigt werden, dass für die Bereitstellung von nachwachsenden Rohstoffen auf landwirtschaftlicher Nutzfläche Energie, größtenteils aus fossilen Quellen, eingesetzt werden muss. Für Biomüll oder Abfälle aus der Landschaftspflege ist dagegen meist kein zusätzlicher Energieeinsatz nötig.

Die hier betrachteten Biogasanlagen zur Verarbeitung nachwachsender Rohstoffe bestehen in der Regel aus einer Fahrhilfsanlage zur Lagerung und Konservierung der Einsatzstoffe durch Silage, da diese nicht kontinuierlich zur Verfügung stehen, sondern während der Ernte kulturabhängig im Zeitraum von Mai bis Oktober anfallen. In einer Sammelgrube werden anfallende energiereiche Sickerwässer und in der Fahrhilfsanlage anfallendes Regenwasser aufgefangen und dosiert dem Biogasprozess zugegeben. Über einen Vorratsbehälter, der ein- bis mehrmals täglich befüllt wird, wird dem Fermenter in kurzen Zeitintervallen Substrat zugeführt. Der Fermenter ist ein luftdichter, isolierter und beheizter Stahl- oder Betonbehälter, in dem die Gärtemperatur in Abhängigkeit von der Betriebsweise im mesophilen Bereich um 39°C oder im thermophilen Bereich um 55°C konstant gehalten wird. In ihm findet ein mehrstufiger bakterieller Abbau der Biomasse zu Biogas und Gärrest statt. Die einzelnen Abbaustufen Hydrolyse, Acidogenese, Acetogenese und Methanogenese laufen üblicherweise parallel im gleichen Behälter ab, wobei die Prozessparameter auf die am langsamsten verlaufende Methanogenese hin optimiert werden. Mittels eingebauter Rührwerke wird das Gärsubstrat homogenisiert, und das entstehende Biogas ausgetrieben. In vielen Fällen durchläuft das durch kontinuierliche Beschickung aus dem Fermenter verdrängte Substrat einen dem Fermenter ähnlich gestalteten Nachgärbehälter, um Kurzschlussströme zu minimieren, und einen besseren Abbau zu ermöglichen. Die typische hydraulische Verweilzeit liegt in Abhängigkeit von der Betriebsweise bei 80 bis 100 Tagen, wobei sich in der Praxis eine sehr große Streuung findet. Das ausgegorene Substrat wird in einem Gärrestlager gesammelt, auch dieses kann anlagenspezifisch durchmischt, isoliert, beheizt und gasdicht ausgeführt sein, um vorhandene Restgaspotentiale zu nutzen. Nach der Vergärung erhält man einen Reststoff mit verringertem Kohlenstoffanteil und niedrigerem Trockensubstanzgehalt, der als Dünger in der Landwirtschaft eingesetzt werden kann. Die Nährstoffe und Spurenelemente der Ausgangsstoffe bleiben im

Endsubstrat erhalten, weshalb beim Einsatz nachwachsender Rohstoffe eine vollständige Rückführung des eingesetzten Düngers auf die Nutzfläche möglich ist. Es müssen dann nur noch Ausbring- und Auswaschungsverluste mittels Mineraldünger ausgeglichen werden.

Das während des Prozesses entstandene Biogas wird nach einer ebenfalls anlagenspezifischen Aufbereitung, die aus Entschwefelung, Kühlung, Trocknung und Reinigung bestehen kann, meist kontinuierlich weiterverwertet, da eine Speicherung über längere Zeiträume sehr energieaufwendig ist. Dafür kommt die Verstromung mittels Blockheizkraftwerk oder Gasturbine, oder die Aufbereitung auf Erdgasqualität und anschließende Einspeisung ins Ergasnetz oder der Einsatz als Kraftstoff in Frage.<sup>1</sup>

### **3 Bilanzierung und Kumulierter Energieaufwand**

Wie in der Buchhaltung werden auch bei der Bilanzierung der Energieflüsse in einem System die ein- und ausgebrachten Energiemengen einander gegenüber gestellt. Wichtig ist dabei eine klare Definition der Bilanzgrenzen, um einerseits nicht jeden unerheblichen Einfluss betrachten zu müssen, und andererseits die Fehler der berechneten Ergebnisse möglichst klein zu halten. Über kurze Abschätzungen können die Bilanzgrenzen sinnvoll gesetzt werden.

Ist der Bilanzraum definiert können alle Einflussfaktoren zusammengestellt werden und es kann der kumulierte Energieaufwand (KEA) berechnet werden. Dieser berücksichtigt den gesamten primärenergetischen Aufwand, der in Zusammenhang mit Herstellung, Nutzung und Beseitigung eines Produktes oder einer Dienstleistung steht. Für die Bereitstellung von elektrischer Energie müssen hier die Bereitstellung des Brennstoffes, der Bau und der Betrieb des Kraftwerks, sowie die Entsorgung von anfallenden Abfallstoffen einbezogen werden.

Der kumulierte Energieaufwand für die Erzeugung von Strom aus regenerativen Quellen setzt sich aus einem Anteil an erneuerbarer Energie und einem nicht erneuerbaren Teil zusammen. Im Bereich der Biomasse liegt der erneuerbare Anteil im von den Pflanzen aufgenommenen Sonnenlicht, der nicht Erneuerbare z.B. im Einsatz von Diesel bei Anbau und Ernte oder im Stahl, der in der Biogasanlage eingebaut wurde. Da Sonnenlicht ohne weiteren Aufwand zur Verfügung steht, und die Energiepflanzen CO<sub>2</sub>-neutral verwertet werden können, wird beim Vergleich von erneuerbaren mit nicht erneuerbaren Energieträgern in Bezug auf die Nutzung fossiler Ressourcen nur der nicht regenerative kumulierte Energieaufwand berücksichtigt.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe: Biogas – eine Einführung*

<sup>2</sup> *Loewen Achim: Skriptum zur Vorlesung Energie- und Stoffbilanzen*

*Forschungsstelle für Energiewirtschaft: Ganzheitliche energetische Bilanzierung der Energiebereitstellung*

## 4 Die Biogasanlage der Völklein Bioenergie GmbH & Co. KG

### 4.1 Anlagenbeschreibung

Die Biogasanlage der Völklein Bioenergie GmbH & Co. KG hatte im Jahr 2007 eine installierte elektrische Leistung von 380KW. Sie besteht aus einer Fahrsiloanlage, einem Fermenter, dem Nachgärbehälter und einem Endlagerbehälter. Weiterhin sind ein Technikgebäude, das die Blockheizkraftwerke und die Anlagensteuerung beinhaltet, ein Pumpenhaus, sowie ein Gebäude mit Büro, Werkstatt und Lagerräumen vorhanden. Zuletzt sind noch eine Überfahrwaage, und verschiedene befestigte Freiflächen, unter anderem der Abtankplatz für den Gärrest und ein Lagerplatz für Pressreste vorhanden.

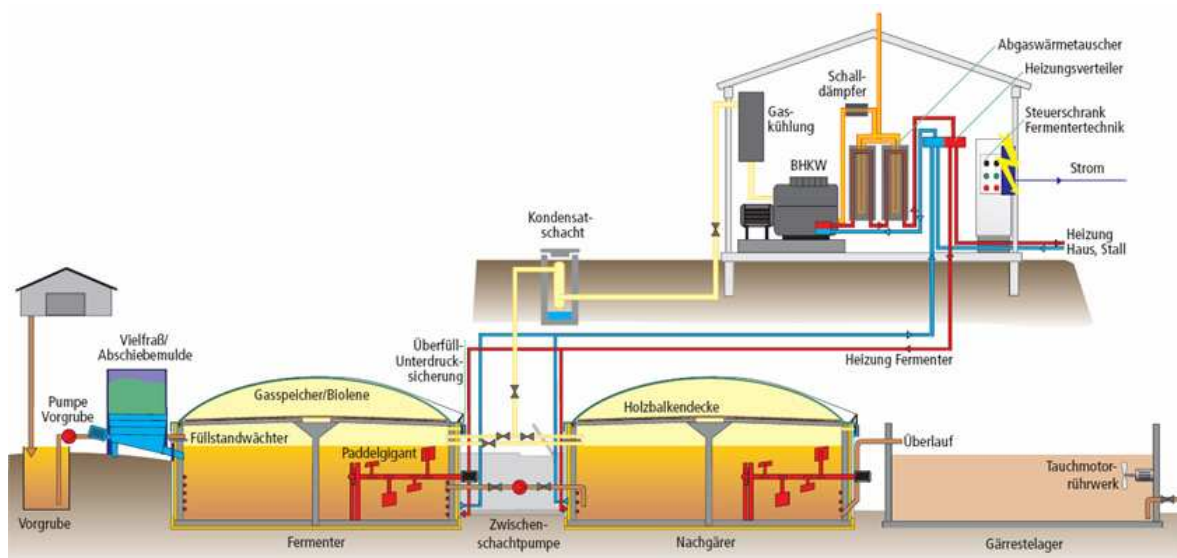


Abb. 1: Anlagenschema der Biogasanlage der Völklein Bioenergie GmbH & Co. KG

Die Fahrsiloanlage dient zur ganzjährigen Lagerung der Input-Stoffe. Die fünf Fahrsilos bestehen aus Stahlbetonwänden und einem Boden aus Asphalt. Sie haben ein Gesamtvolumen von etwa 11.000m<sup>3</sup>. Eine Vorgrube aus Stahlbeton mit 200m<sup>3</sup> Fassungsvermögen dient zur Speicherung von in der Siloanlage anfallendem energiehaltigem Sicker- und Regenwasser. Der 1000m<sup>3</sup> fassende Fermenter und der 1200m<sup>3</sup> große Nachgärbehälter bestehen aus Stahlbeton. Sie sind mittels Polyurethanplatten isoliert, und werden über jeweils 16 Heizkreise aus PE-Rohr à 100m Länge auf einer Temperatur von 53°C gehalten. Das Endlager aus Stahlbeton mit 2300m<sup>3</sup> Speichervolumen ist nicht isoliert, kann aber bei vorhandenem Wärmeüberschuss über 12 Heizkreise à 150m Länge beheizt werden.

Der Fermenter wird über einen Vorlagebunker mit 50m<sup>3</sup> Fassungsvermögen, der täglich mittels eines Radladers aus den Silos befüllt wird, und eine Einbringschnecke stündlich beschickt. Das

Substrat im Fermenter wird mittels eines langsam laufenden horizontalen Paddelrührwerks und zweier schnell laufender Propellerrührwerke durchmischt. Im Nachgärer und im Endlager arbeitet jeweils ein Tauchpropellerrührwerk. Alle Behälter sind durch PE-Rohre mit der zentralen Pumpstation verbunden.

Die gasdichte Abdeckung der drei Gärbehälter erfolgt durch eine flexible EPDM-Membrane. Sie dient als Gaszwischenpeicher und kann sich einige Meter nach oben wölben. Wenn kein Gas gespeichert wird liegt sie auf einer Holzunterkonstruktion. Diese dient gleichzeitig auch als Besiedlungsfläche für aerobe Bakterien, die mithilfe von eindosiertem Sauerstoff den im Biogas enthaltenen Schwefelwasserstoff zu elementarem Schwefel oxidieren. Das entstehende Biogas durchläuft im Boden eine 400m lange Kühlstrecke aus sechs parallel verlegten PE-Rohren. Mittels eines stationären Messgerätes werden stündlich der Methangehalt, sowie die Anteile von Schwefelwasserstoff, Sauerstoff und Wasserstoff im Biogas gemessen. Dann wird es ohne weitere Behandlung in den beiden Blockheizkraftwerken verbrannt. Die elektrische Energie wird, abzüglich des Eigenstromverbrauchs der Anlage über eine Trafostation in das öffentliche Netz eingespeist. Ein Teil der ausgekoppelten Wärme wird für die Beheizung der Gärbehälter und der Betriebsräume verwendet. Ein Nahwärmenetz zur Versorgung der Häuser im Ort und eine Anlage zur Trocknung von Holzhackschnitzeln, respektive zur Herstellung von Pellets sind in Planung.<sup>3</sup>

#### **4.2 Betriebsdaten 2007**

Im Jahr 2007 wurden mit den beiden Blockheizkraftwerken mit jeweils 190KW elektrischer Leistung 3328,64MWh elektrische Energie erzeugt, was einer Auslastung von 95,0% entspricht. Dafür wurden 1.875.851 m<sup>3</sup> Normbiogas mit einem Methangehalt von durchschnittlich 52,3% verbrannt. Bei einem Heizwert von 9,97KWh/m<sup>3</sup> Methan ergibt sich für die gesamte Biogasmenge ein Energiegehalt von 9781,27MWh, die Spurenanteile von Schwefelwasserstoff und Wasserstoff wurden energetisch nicht berücksichtigt. Zur Erzeugung dieser Gasmenge wurden 2750t Trockenmasse eingesetzt, wobei die Rohstoffe Mais-, Gras- und Roggenganzpflanzensilage während der Ernte verworfen wurden, die Menge des eingesetzten Mistes nur volumetrisch abgeschätzt wurde.<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> Völklein Bioenergie GmbH & Co. KG: „Planungs- und Bauunterlagen“

<sup>4</sup> Völklein Bioenergie GmbH & Co. KG: „Betriebstagebücher“

## **5 Bilanzierung der Biogaserzeugung**

### **5.1. Bilanzraum**

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Errichtung und der Betrieb der Biogasanlage sowie die Bereitstellung der nachwachsenden Rohstoffe bilanziert. Dazu wurden der kumulierte Energieaufwand für die Herstellung der relevanten Bau- und Betriebsstoffe, nicht aber ihr Transport zur Biogasanlage und die dafür nötige Infrastruktur berücksichtigt, da sie nach einer Abschätzung nur mit etwa einem Promille zum gesamten kumulierten Energieaufwand beitragen.

Die Einsatzstoffe stammen mit Ausnahme des Rindermistes von landwirtschaftlichen Nutzflächen, für sie wurden sowohl die Herstellung der eingesetzten Dünge- und Pflanzenschutzmittel, als auch der Energieeinsatz für Anbau, Ernte, Transport und Einlagerung der Biomasse berücksichtigt. Nicht eingerechnet wurde der Energieeinsatz zur Herstellung der landwirtschaftlichen Maschinen und der Infrastruktur, da diese größtenteils nicht nur für die Energiepflanzenbereitstellung eingesetzt werden, und der Energieeinsatz dafür nach einer Abschätzung nur etwa ein Prozent des gesamten kumulierten Energieaufwands der Biogaserzeugung ausmacht.

### **5.2 Bau der Biogasanlage**

Für die Zusammenstellung der Masse der verwendeten Baustoffe und Bauteile wurden die vorhandenen Daten aus Planungsunterlagen, Lieferscheinen und Messungen vor Ort ausgewertet. Im Anhang finden sich die Tabellen mit den ausführlichen Aufstellungen. Die massenbezogen größten Anteile liegen im Bereich des Erdaushubes und des Unterbaumaterials. Im Bereich der Bausubstanz spielen Beton, Stahl und Asphalt die größte Rolle. Weiterhin mit in die Bilanz aufgenommen wurden aufgrund der energieintensiven Herstellung die übrigen Stahlkomponenten, Kupfer, sowie Isoliermaterial und Kunststoffe, trotz deren verhältnismäßig kleine Massenanteile. EPDM und Holz als nachwachsender Rohstoff wurden als wichtige Anlagenkomponenten ebenfalls mit einbezogen.

Für die Lebensdauer der Biogasanlage wurde in Anlehnung an die Festlegung der Vergütungsdauer im EEG ein Zeitraum von 20 Jahren gewählt. Allerdings wird für einen Teil der eingesetzten Produkte nur eine kürzere Lebensdauer angenommen. Da in GEMIS nur die Lebensdauer der gesamten Anlage einbezogen wird, muss die kürzere Haltbarkeit einiger Bauteile über den Lebensdauerfaktor eingerechnet werden.



	Masse in to	Lebensdauer	Lebensdauerfaktor	Masse in kg/KW <sub>el</sub> inst.
Erdaushub	21337,50	20,00	1,00	53343,75
Unterbau	4477,32	20,00	1,00	11193,30
Beton Bodenflächen	1102,70	20,00	1,00	2756,75
Beton Wände	935,36	20,00	1,00	2338,40
Beton Mittelstützen	54,84	20,00	1,00	137,10
Asphalt Bodenflächen	1663,59	20,00	1,00	4158,98
Mauerwerk	91,08	20,00	1,00	227,70
Baustahl	78,38	20,00	1,00	195,95
Blechdächer	3,45	20,00	1,00	8,63
Stahlbauteile	17,60	10,00	2,00	88,00
Styrodur-Isoliermaterial	6,79	20,00	1,00	16,98
Bauholz	40,61	20,00	1,00	101,53
EPDM-Behälterabdeckungen	1,63	10,00	2,00	8,15
PE-Leckerkennungsfolien	1,33	20,00	1,00	3,33
PE-Rohrleitungen	2,97	20,00	1,00	7,43
Kupfer	0,85	20,00	1,00	2,14

**Tab. 1: Aufstellung der bilanzierten Bauarbeiten, Baustoffe und Bauteile**

Nicht mit in die Bilanz aufgenommen wurden sämtliche Bauhilfsmaterialien wie z.B. Schalzeug, da diese sehr oft wieder verwendet werden, und deshalb nur einen vernachlässigbaren Einfluss haben. Auch Baustrom und Bauwasser, sowie die Entsorgung von Bauabfällen fließen nicht mit ein. Weiterhin wurden Baustoffe und Materialien, wie Türen, Fenster oder Farben, die nur in kleinen Mengen eingesetzt wurden nicht berücksichtigt.<sup>5,6</sup>

### 5.3 Bereitstellung der nachwachsenden Rohstoffe

Im Jahr 2007 wurden in der Biogasanlage Mais-, Gras- und Roggenganzpflanzensilage, sowie Rindermist aus einem benachbarten Betrieb eingesetzt. Für die eingesetzten Substrate wurden die durchschnittliche Feldentfernung, der durchschnittliche Trockenmasseertrag sowie der Biogasertrag aus den Ernteunterlagen und den Betriebstagebüchern ermittelt.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Völklein Bioenergie GmbH & Co. KG: „Planungs- und Bauunterlagen, Lieferscheine und Abrechnungen“

<sup>6</sup> Agrikomp GmbH: „Datenblätter zu Paddelgigant, Vielfraß und Biolene“

	Anbaufläche in ha	Ertrag in to TM	Ertrag in to TM/ha	Transportweg in km	Energieertrag in MWh	Energieertrag in MWh/ha
Mais	112,03	1658,00	14,80	4,60	6035,12	53,87
Roggen-GPS	65,00	728,00	11,20	4,20	2649,92	40,77
Gras	25,92	254,00	9,80	3,50	924,56	35,67
Rinderfestmist		110,00		1,50	171,67	
<b>Summe</b>	<b>202,95</b>	<b>2750,00</b>			<b>9781,27</b>	

**Tab. 2: Anteile und Ertrag der eingesetzten Rohstoffe**

Als Basis für die Berechnung des Energieeinsatzes in Form von Diesel für den Anbau, die Ernte und Einlagerung, sowie den Rücktransport des Gärrests auf die Felder wurde die Betriebsstundenzahl und der Kraftstoffverbrauch der eingesetzten landwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen verwendet.

	Diesel l/to TM	KWh/to TM	KWh/MWh
Mais	10,64	104,29	28,65
Roggen-GPS	11,61	113,75	31,25
Gras	7,04	69,00	18,96
Mist	2,00	19,60	12,56

**Tab. 3: Spezifischer Kraftstoffeinsatz für die Bereitstellung der Substrate**

Weiterhin wurde der Einsatz von Dünger und Pflanzenschutzmitteln ermittelt, wobei für den Gärrest die Ammoniakemissionen bei der Ausbringung einbezogen wurden. Auch die Lachgasemission aus dem Boden in die Atmosphäre wurde mitbilanziert. Aufgrund nur ungenauer Daten konnten das Methanvermeidungspotential und die Verminderung der Lachgasemissionen durch die Vergärung des Mistes nicht eingerechnet werden, obwohl sie durch die hohen CO<sub>2</sub>-Äquivalenzfaktoren von 21 und 296 deutliche positive Auswirkungen auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz haben.

	Gärresteinsatz in kg/MWh	N-Dünger in kgN/MWh	P-Dünger in kgP/MWh	K-Dünger in kgK/MWh	Pflanzenschutzmittel in kg/MWh
Mais	649,69	1,11	0,56	1,21	0,06
Roggen-GPS	662,28	0,74	0,37	0,74	0,00
Gras	981,16	0,00	0,00	0,00	0,00

**Tab. 4: Spezifischer Einsatz von Dünger und Pflanzenschutzmitteln**

## 5.4 Anlagenbetrieb

Für den Betrieb der Biogasanlage wird eine relativ große Menge an Strom gebraucht. Dieser wird in diesem Fall nicht aus dem deutschen Kraftwerksmix zugekauft, sondern direkt von der durch die Blockheizkraftwerke erzeugten Energiemenge abgezogen. Die Messung erfolgt über einen separaten Stromzähler. Im Jahr 2007 lag der Verbrauch bei 123,16MWh, und damit bei 3,7% der gesamten erzeugten Strommenge. Noch nicht berücksichtigt ist der Verbrauch der Hilfsaggregate der Blockheizkraftwerke, der noch einmal etwa 2% des erzeugten Stroms beträgt. Der Prozesswärmeeinsatz zur Beheizung der Gärbehälter konnte 2007 noch nicht gemessen werden, weshalb eine Abschätzung notwendig war. Für das Jahresmittel wurden 20% des Energiegehaltes des erzeugten Biogases als Heizwärmebedarf angenommen, was etwa einem Drittel der gesamten Abwärme der Blockheizkraftwerke entspricht.

Die Zahl der einbezogenen, nicht erneuerbaren Betriebsstoffe ist gering. Es wurden etwa 1500 Liter Kraftstoff für den Betrieb des Radladers und etwa 1200kg Bitumen als jährlich zu erneuernder Schutzanstrich der Silowände benötigt. Ersatzteile, Schmierstoffe und Kleinmengen anderer Stoffe bleiben unberücksichtigt.

Ein wichtiger Einflussfaktor auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz der Biogaserzeugung ist der Methanverlust im täglichen Anlagenbetrieb. Es wird davon ausgegangen, dass sämtlich Rohrverbindungen und sonstige Einbauten technisch dicht sind, dies wird auch regelmäßig kontrolliert. Die Gasspeicherhauben aus EPDM haben eine aus dem Datenblatt entnommene Methangasdurchlässigkeit von weniger als 0,5l/(m<sup>2</sup>\*d\*bar). Mithilfe dieses Höchstwertes und der Gesamtfläche der Speicherhauben wurden in GEMIS die Methanverluste mit 20g CH<sub>4</sub>/MWh einberechnet.<sup>7,8</sup>

## 5.5 Rückbau

Unter Berücksichtigung der weiter steigenden Energiepreise geht man davon aus, dass eine Biogasanlage auf Basis nachwachsender Rohstoffe auch nach Ablauf der für 20 Jahre garantierten Mindestvergütung weiterhin wirtschaftlich betrieben werden kann. Die Nutzung evtl. auch eine Umnutzung der Bausubstanz, die ja einen großen Teil der Anlage ausmacht ist sehr viel länger möglich.. Weiterhin ergab eine Abschätzung, dass die Berücksichtigung des Abbruchs der Anlage mit einem Dieselverbrauch 4l/to Abbruchmaterial und des Energiegehalts der brennbaren Stoffe den kumulierten Energieeinsatz nur mit weniger als einem Prozent belasten würden. Aus diesen Gründen wurde auf eine energetische Berücksichtigung des Abrisses verzichtet.

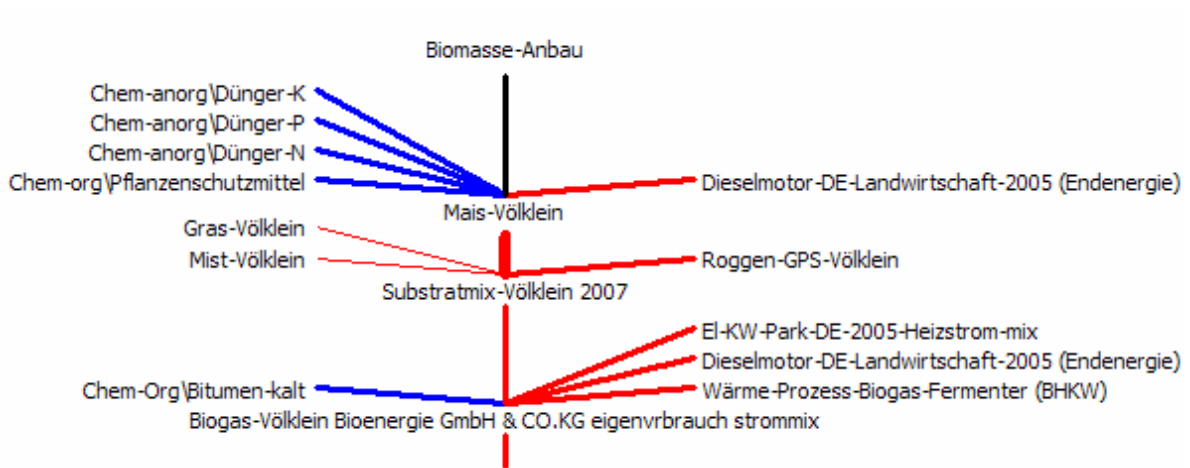
---

<sup>7</sup> *Agrikomp GmbH*: „Datenblätter zu Paddelgigant, Vielfraß und Biolene“

<sup>8</sup> *Völklein Bioenergie GmbH & Co. KG*: „Betriebstagebücher, Lieferscheine und Abrechnungen“

## 5.6 Ergebnisse Bilanzierung mit GEMIS

Um eine möglichst exakte Berechnung des kumulierten Energieaufwandes zu ermöglichen wurden in der GEMIS-Datenbank neue, auf die ermittelten Daten bezogene, Prozesse erstellt. Dazu wurden für die Bereitstellung der vier Eingangssubstrate die entsprechenden Prozesse erarbeitet. Aus diesen wurde dann ein Prozess für den anlagentypischen Substratmix mit dem entsprechenden Anteil der vier Einzelprozesse an der Biogaserzeugung zusammengestellt. Dieser wiederum fließt in den Prozess für die Biogasanlage der Völklein Bioenergie GmbH & Co. KG ein, in den die erfassten Baustoffe, sowie Prozessenergie und nicht regenerative Betriebsstoffe einbezogen werden.<sup>9</sup>



**Abb. 2: Gesamtprozess der Biogaserzeugung**

Aus den selbst ermittelten und den in der Gemis-Datenbank vorhandenen Daten konnten nun der kumulierte Energieaufwand und die Klimagasemissionen für die einzelnen Prozesse und für die gesamte Biogasherstellung ermittelt werden.

<sup>9</sup> Institut für angewandte Ökologie e.V.: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.4

	KEA nicht erneuerbar in KWh/KWh	CO <sub>2</sub> -Emission in g/KWh	N <sub>2</sub> O-Emission in g/KWh CO <sub>2</sub> -Äquiv.	CH <sub>4</sub> -Emmission in g/KWh CO <sub>2</sub> -Äquiv.	CO <sub>2</sub> -Äquivalent ges. in g/KWh
Mais	0,0311	12,69	18,94	8,38*10 <sup>-2</sup>	31,71
Gras	0,0189	5,47	5,99	5,05*10 <sup>-3</sup>	11,46
Roggen-GPS	0,0312	11,76	17,32	0,22	29,29
Mist	0,0125	3,62	4,35*10 <sup>-2</sup>	3,32*10 <sup>-3</sup>	3,67
<b>Substrat-Mix</b>	<b>0,0296</b>	<b>11,59</b>	<b>16,94</b>	<b>0,11</b>	<b>28,64</b>
<b>Bau</b>	<b>0,0086</b>	<b>8,79</b>	<b>4,32*10<sup>-2</sup></b>	<b>0,49</b>	<b>9,32</b>
<b>Betrieb</b>	<b>0,0016</b>	<b>1,59</b>	<b>1,32</b>	<b>0,44</b>	<b>3,35</b>
<b>Ges. Biogasprozess</b>	<b>0,0398</b>	<b>21,97</b>	<b>18,30</b>	<b>1,04</b>	<b>41,31</b>

Tab. 5: Kumulierter nicht erneuerbarer Energieaufwand und CO<sub>2</sub>-Emissionen der Biogaszeugung

Es zeigt sich, dass der kumulierte Energieaufwand für die Erzeugung von Mais und Roggen-GPS als Substrat annähernd gleich ist, die Nutzung von Grünland ist dagegen mit einem geringern Energieaufwand verbunden. Der, obwohl nur durch Transport bedingte, vergleichsweise hohe kumulierte Energieaufwand für den Einsatz des Rindermistes ist in erster Linie durch die, im Vergleich zu den anderen Substraten, nur etwa ein Drittel so hohe Energiedichte bedingt.

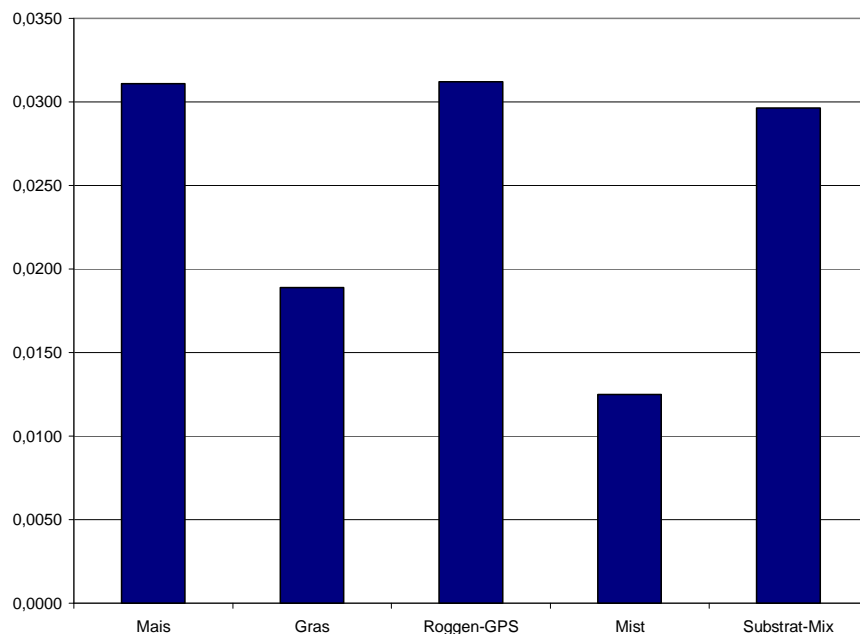
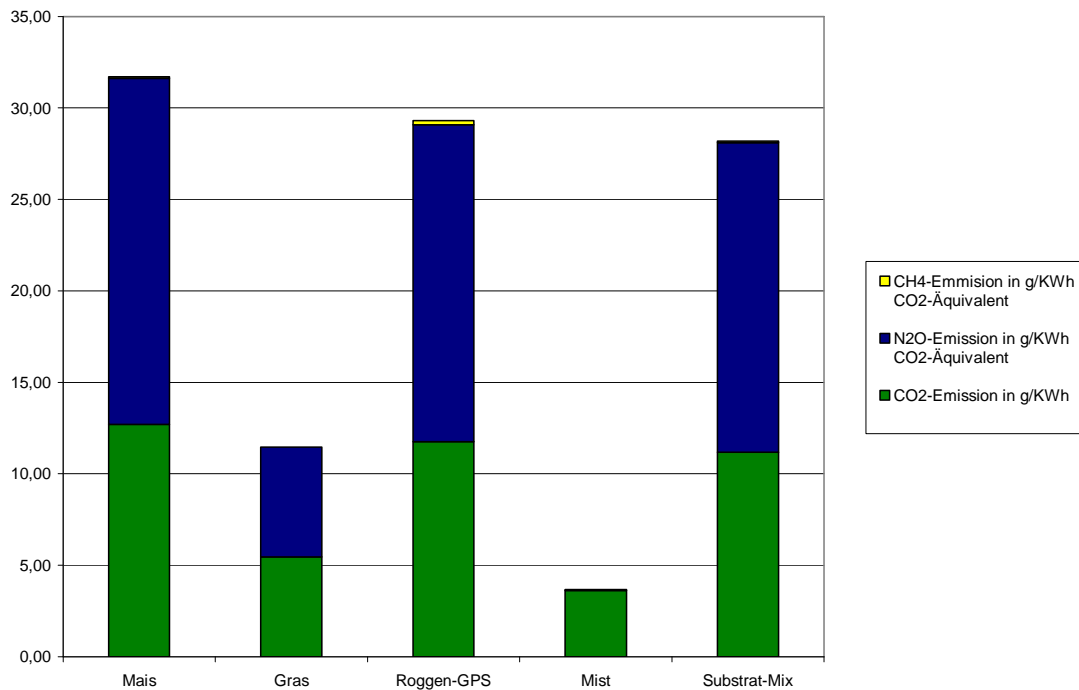


Abb. 3: Kumulierter nicht erneuerbarer Energieaufwand zur Bereitstellung der Einsatzstoffe in KWh/KWh

Der Vergleich der für den Treibhauseffekt relevanten Klimagase zeigt, dass der größere Teil der Emissionen aus den durch die Düngung der Felder verursachten Lachgasemissionen stammt. Hier

ist die Nutzung von Wirtschaftsdüngern wie etwa Mist in der Biogasanlage sehr viel besser zu bewerten. Aber auch die Nutzung von Grünland hat geringere Emissionen zur Folge.

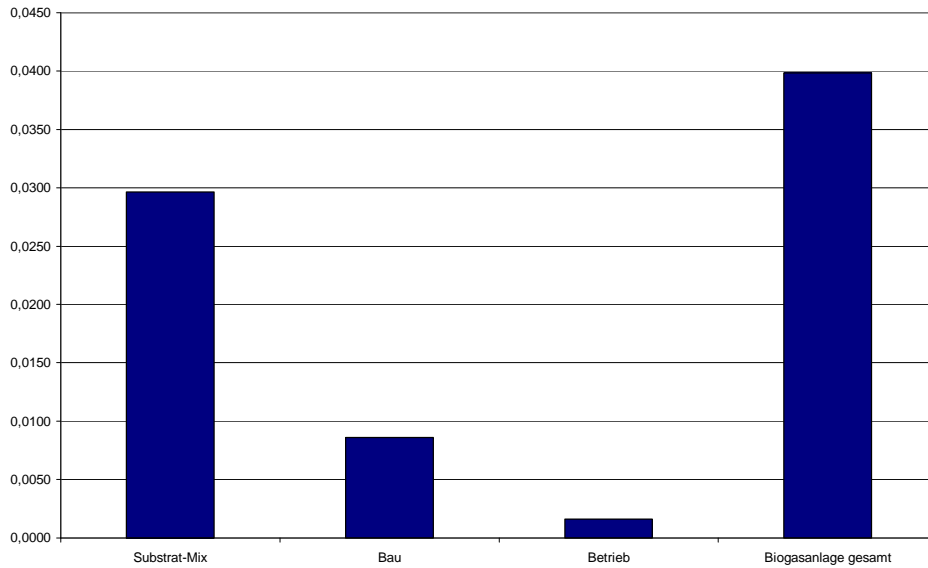


**Abb. 4: Klimagasemissionen der Substratbereitstellung**

Bei der Betrachtung des kumulierten Energieaufwandes für die Teilbereiche Bau, Substratbereitstellung und Betrieb fällt der sehr niedrige fossile Energieaufwand für den Betrieb der Biogasanlage auf, da der Einsatz von Strom aus eigener Erzeugung als Prozessenergie die Treibhausgasbilanz erheblich verbessert. Zu berücksichtigen ist, dass dadurch die von den Blockheizkraftwerken erzeugte Nettostrommenge verringert wird. Würde hier der deutsche Strommix als Basis verwendet, fiel die Bilanz sehr viel schlechter aus, dann würde sich der kumulierte nicht erneuerbare Energieaufwand um etwa 80% erhöhen.

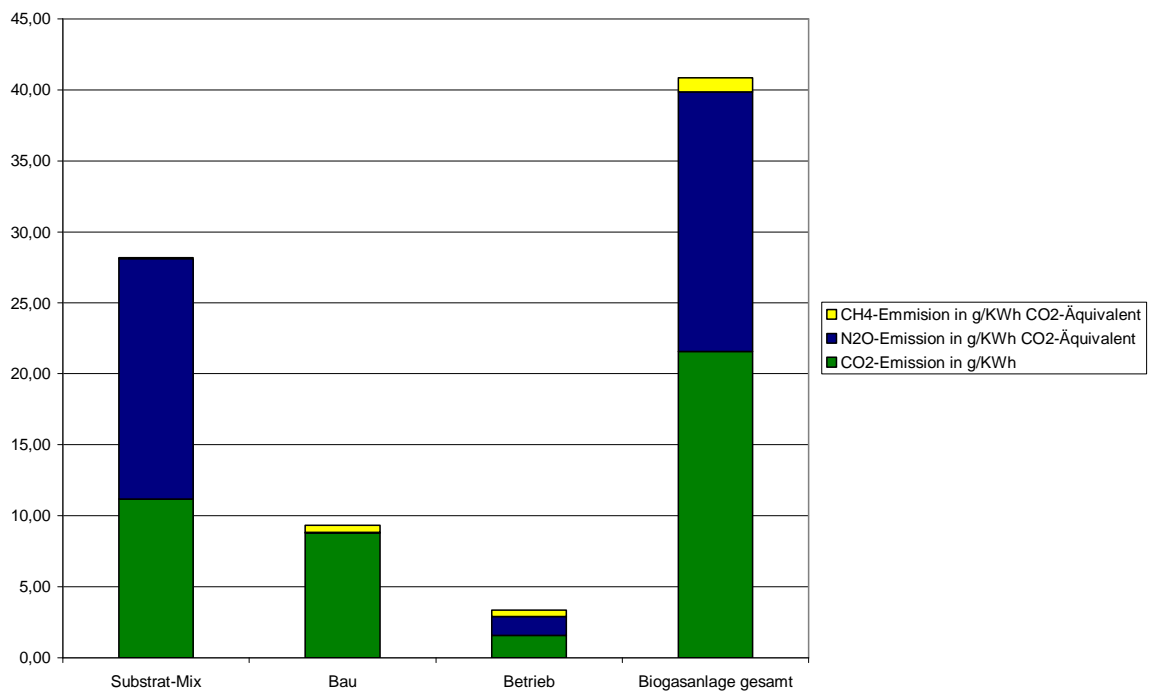
Die Substratbereitstellung trägt mit über 70% den größten Anteil des kumulierten Energieaufwandes nicht erneuerbarer Energien, welcher durch den Dieseleinsatz für Anbau, Ernte und Transport der Energiepflanzen bedingt ist.

In dem betrachteten Fall ergibt sich ein Erntefaktor von etwa 25 für die eingesetzten nicht erneuerbaren Energieträger. Dieser liegt damit über dem von anderen biogenen Energieträgern. Allerdings müsste für einen direkten Vergleich mit Rapsöl oder Bioethanol die noch notwendige Aufbereitung und Verdichtung berücksichtigt werden. Und auch die in dieser Biogasanlage praktizierte Verstromung mit geringer Abwärmenutzung im Jahr 2007 lässt den Erntefaktor noch um etwa den Faktor 3 sinken.



**Abb. 5: Kumulierter nicht erneuerbarer Energieaufwand für die Erzeugung von Biogas in kWh/kWh**

Auch die Gesamttreibhausgasbilanz ist mit 22g CO<sub>2</sub> und etwa 41g CO<sub>2</sub>-Äquivalent je erzeugter Kilowattstunde im Vergleich zu anderen Energieträgern sehr gut. Die Methanemissionen im täglichen Anlagenbetrieb fallen kaum ins Gewicht. Jedoch spielen die oben genannten Lachgasemissionen aus dem Energiepflanzenanbau auch in der Gesamtbilanz eine große Rolle. Bei der angenommenen Nutzungsdauer von 20 Jahren beträgt der Anteil der Substratbereitstellung am gesamten Ausstoß von klimarelevanten Gasen etwa zwei Drittel.



**Abb. 6: Klimagasemissionen der gesamten Biogasbereitstellungskette**

## 6 Schluss

Abschließend bleibt festzustellen, dass die Erzeugung und Nutzung von Biogas als regenerativem Energieträger eine sehr hohe Energieausbeute je eingesetzter Kilowattstunde fossiler Energie erbringt. Auch eine reine Verstromung mittels BHKW ist mit etwa 120g CO<sub>2</sub>-Äquivalent je erzeugter Kilowattstunde Strom auch gegenüber den effektivsten GuD-Kraftwerken um mehr als den Faktor drei im Vorteil. Bei einer optimalen Abwärmenutzung können die Emissionen auf 50g CO<sub>2</sub>-Äquivalent/KWh erzeugter Energie gesenkt werden.

Wichtig ist aber, dass das Prinzip der Rückführung der Gärreste auf die Anbauflächen konsequent verfolgt wird. Eine etwaige Verbrennung der Gärreste und der dadurch bedingte höhere Mineraleinsatz verschlechtern den KEA und die CO<sub>2</sub>-Bilanz erheblich. Allerdings besteht auch unter Berücksichtigung dieser Vorgaben noch ein großes Optimierungspotential für die Anbauformen der eingesetzten Biomasse. Eine konsequente Verminderung der Lachgasemissionen muss vorangetrieben werden. Auch der Einsatz von Pflanzenöl zum Betrieb der landwirtschaftlichen Maschinen würde die Treibhausgasbilanz erheblich verbessern.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse dieser Arbeit lässt sich feststellen, dass die Energiegewinnung mittels Biogasanlagen, gegenüber anderen biogenen Energieträgern im Vorteil ist, da sie höchste Energieerträge pro Flächeneinheit mit geringem Einsatz von fossilen Energieträgern und wenig Treibhausgasemissionen ermöglicht.



## 7 Quellenverzeichnis

*Agrikomp GmbH*: „Datenblätter zu Paddelgigant, Vielfraß und Biolene“. Download von [http://www.biogastechnik.de/lang\\_de/kontakt\\_downloads.php](http://www.biogastechnik.de/lang_de/kontakt_downloads.php); Stand April 2008

*Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe*: Biogas – eine Einführung. Gülzow, 2008. Download von [http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_175175\\_biogas\\_eine%20einfuehrung\\_2008.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_175175_biogas_eine%20einfuehrung_2008.pdf); Stand April 2008

*Forschungsstelle für Energiewirtschaft*: Ganzheitliche energetische Bilanzierung der Energiebereitstellung. München, 1999. Download von [http://www.ffe.de/download/gabie/kw\\_emi.pdf](http://www.ffe.de/download/gabie/kw_emi.pdf); Stand April 2008

*Institut für angewandte Ökologie e.V.*: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.4. Download von <http://www.oeko.de/service/gemis/de/index.htm>; Stand April 2008

*Loewen Achim*: Skriptum zur Vorlesung Energie- und Stoffbilanzen. Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst, Fakultät Ressourcenmanagement; Göttingen, März 2008

*Völklein Bioenergie GmbH & Co. KG, Hüssingen 47, 91747 Westheim*: „Planungs- und Bauunterlagen, Betriebstagebücher, Lieferscheine und Abrechnungen“, 2004 - 2007

## **8 Tabellen- und Abbildungsverzeichnis**

Abb. 1: Anlagenschema der Biogasanlage der Völklein Bioenergie GmbH & Co. KG

Abb. 2: Gesamtprozess der Biogaserzeugung

Abb. 3: Kumulierter nicht erneuerbarer Energieaufwand zur Bereitstellung der Einsatzstoffe in  
KWh/KWh

Abb. 4: Klimagasemissionen der Substratbereitstellung

Abb. 5: Kumulierter nicht erneuerbarer Energieaufwand für die Erzeugung von Biogas in  
KWh/KWh

Abb. 6: Klimagasemissionen der gesamten Biogasbereitstellungskette

Tab. 1: Aufstellung der bilanzierten Bauarbeiten, Baustoffe und Bauteile

Tab. 2: Anteile und Ertrag der eingesetzten Rohstoffe

Tab. 3: Spezifischer Kraftstoffeinsatz für die Bereitstellung der Substrate

Tab. 4: Spezifischer Einsatz von Dünger und Pflanzenschutzmitteln

Tab. 5: Kumulierter nicht erneuerbarer Energieaufwand und CO<sub>2</sub>-Emissionen der Biogaserzeugung