

**Gutachterliche Stellungnahme**  
**zum Betrieb der**  
**Biogasanlage Uthleben**

im Auftrag der:

Schachtbau Nordhausen GmbH  
Industrieweg 2a  
D-99725 Nordhausen

erstellt durch:

BTN Biotechnologie Nordhausen GmbH  
Kommunikationsweg 11  
D-99734 Nordhausen  
Tel. 03631 656 961  
Fax: 03631 656 997  
[www.BTN-Biotechnologie.de](http://www.BTN-Biotechnologie.de)  
Mail: [BTN-GmbH@t-online.de](mailto:BTN-GmbH@t-online.de)



.....  
Prof. Dr. Gerd-Rainer Vollmer

Nordhausen, 13.07.2011

**BTN**  
Biotechnologie Nordhausen GmbH  
Kommunikationsweg 11  
99734 Nordhausen  
Tel. 03631 / 65 69 61  
Fax 03631 / 65 69 97

**Inhaltsverzeichnis**

1. Grundsätzliche Anmerkungen zur Verwertung von nachwachsenden Rohstoffen in Biogasanlagen.....	3
2. Zielsetzung.....	4
3. Anlagenbeschreibung.....	4
3.1 Substratbereitstellung.....	6
3.2 Fermentation.....	6
3.3 Biogasentschwefelung.....	7
3.4 Nachgärung und Gasspeicherung.....	7
3.5 Biogasnutzung/Energieerzeugung.....	7
4. Datenerhebung.....	8
5. Auswertung der Betriebsdaten.....	8
6. Bewertung der Ergebnisse.....	12
6.1 Biogasproduktion.....	12
6.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	13
7. Schlussbemerkung.....	13

## 1. Grundsätzliche Anmerkungen zur Verwertung von nachwachsenden Rohstoffen in Biogasanlagen

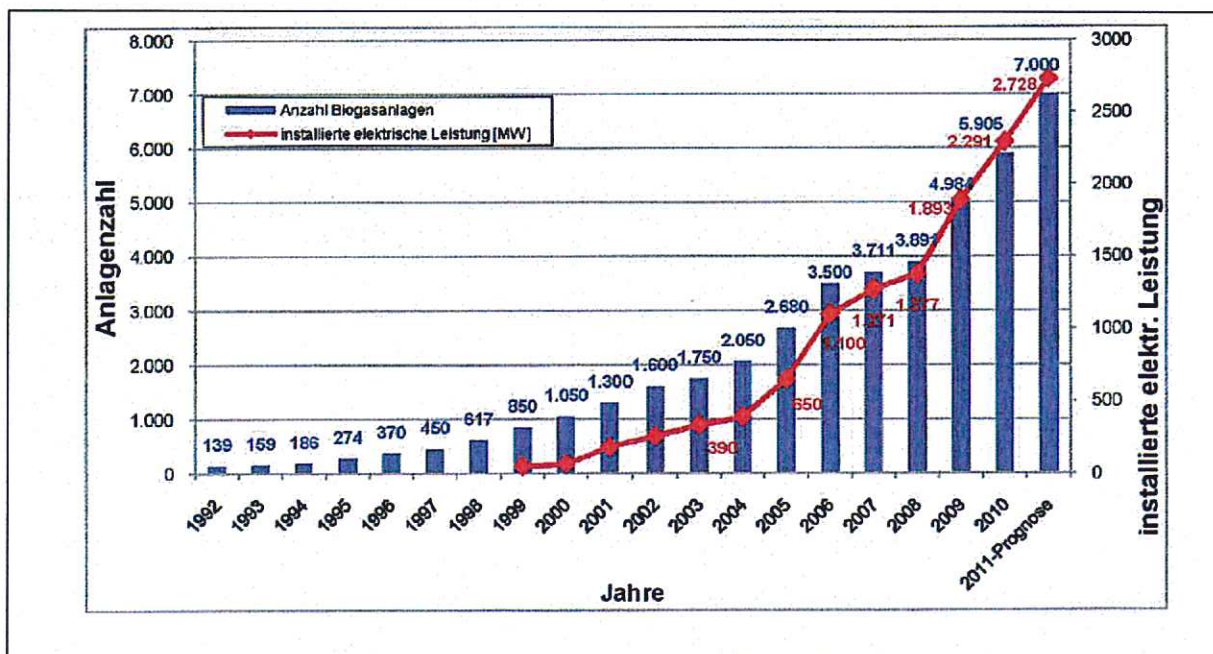
Das Energiekonzept der Bundesregierung sieht vor, bis 2020 die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zu 1990 um 40 % zu senken.

Um diese Ziele zu erreichen, ist ein kontinuierlicher Ausbau der Erneuerbaren Energien mit Substitution fossiler Energieträger sowohl aus dem Strom- als auch aus dem Wärmebereich notwendig:

- bis 2020 soll der Anteil der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien am Bruttoverbrauch mindestens 35 % betragen, bis 2030 sollen es 50 % sein.
- die Einspeisung des in Deutschland bestehenden Biogaspotentials von 6 Milliarden Kubikmeter jährlich bis 2020 und 10 Milliarden Kubikmeter jährlich bis 2030 in das Erdgasnetz.

Biogas hat damit eine exponierte Stellung im Ausbau der Erneuerbaren Energien.

Dies zeigt sich in der Entwicklung im Anlagenbau.



Quelle: Fachverband Biogas

**Abbildung 1: Entwicklung der Anzahl Biogasanlagen und der gesamten installierten elektrischen Leistung in Megawatt (MW) (Stand: 06/2011)**

Seit 2006 stieg die Stromerzeugung aus Biogas von 3.344 GWh auf nunmehr 12.800 GWh (2010) bei gleichzeitiger Steigerung der für die Energiepflanzenproduktion benötigten Anbaufläche von 160.000 ha (2006) auf 650.000 ha (2010) [EEG-Erfahrungsbericht Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 03.05.2011].

Vor dem Hintergrund abnehmender Akzeptanz des dominanten Maisanbaus und entsprechenden Diskussionen gewinnt die Erhöhung der flächenbezogenen Biogasausbeute verstärkt an Bedeutung.

Der strategische Ansatz dazu ist die Erhöhung der Biogasausbeute aus dem Substratangebot an organischer Substanz.

Dieser Ansatz ist determiniert durch die steigenden Produktionskosten für Energiepflanzen. Die Erhöhung der energetischen Effizienz bei deren Verwertung in Biogasanlagen ist zunehmend ein Gebot der Wirtschaftlichkeit.

## **2. Zielsetzung**

Das vorliegende Gutachten soll die Energieerzeugung in der Biogasanlage Uthleben bewerten und mögliche Anregungen zur Optimierung geben.

Insbesondere sollen die Abbauleistungen aus dem Substratangebot der organischen Substanz der Einsatzstoffe ermittelt werden.

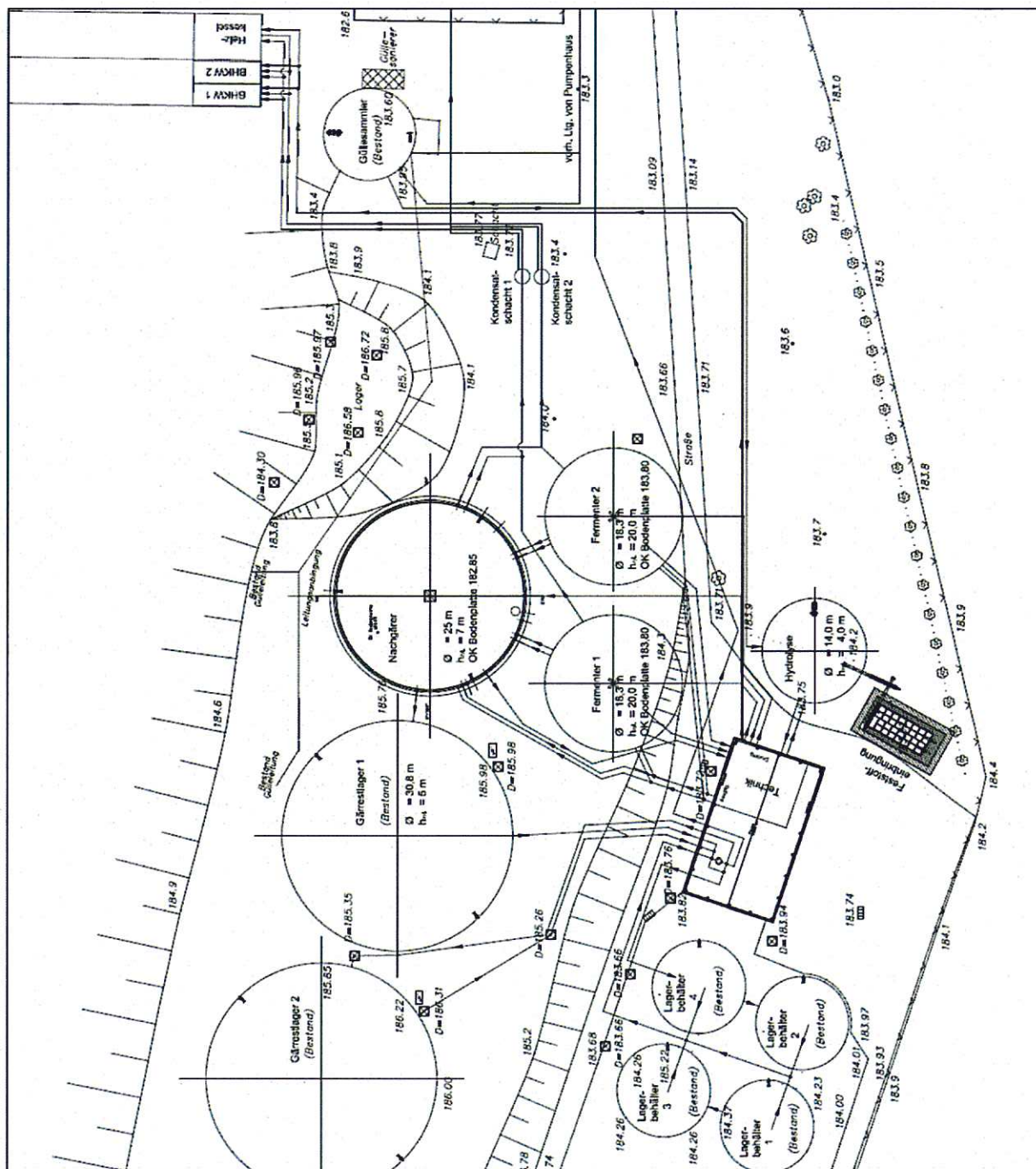
In diesem Sinne soll die gutachterliche Stellungnahme basierend auf der Erhebung der Anlagendaten den Status Quo aufzeigen und vergleichend mit dem Stand der Technik betrachten.

Aus technologischer Sicht ist es für den Anlagenhersteller ein wichtiges Motiv, das Anlagenkonzept im Hinblick auf die energetische Effizienz und damit Wirtschaftlichkeit prüfen zu lassen.

Die Stellungnahme beschränkt sich auf die Biogasanlage Uthleben und soll Hersteller und Betreiber gleichermaßen Hilfestellung sein.

## **3. Anlagenbeschreibung**

Die Biogasanlage ist in die Verfahrensabschnitte Substratbereitstellung (Gülesammler, Feststoffeintrag, Hydrolyse), Fermentation, Biogasentschwefelung, Nachgärung mit Gasspeicherung und Biogasnutzung (BHKW) [Abbildung 2] untergliedert.



**Abbildung 2: Lageplan Biogasanlage**

Die Gärreststoffe werden vom Nachgärer auf 7 externe Güllelager verteilt.

### **3.1 Substratbereitstellung**

In der Biogasanlage werden Schweinegülle, Silagen und Getreide verarbeitet. Die Kapazität ist 44.100 Tonnen. Vorgesehen ist zusätzlich Hühnertrockenkot als Input.

Die Ausgangsstoffe werden im Annahmebehälter (Hydrolyse) zusammengeführt. Bei hohen Trockensubstanzgehalten wird Recyclat aus dem Nachgärer zugepumpt.

Die Hydrolyse ist ein Stahlbetonbehälter mit einem Nettovolumen von 500 m<sup>3</sup>. Der Behälter ist isoliert. Für die Durchmischung ist ein Tauchmotorrührwerk installiert. Die Feststoffbeschickung erfolgt über einen Schubboden-Annahmecontainer. Getreide wird über ein Silo zudosiert. In Kombination mit Spiralförderschnecken wird ein dosierter Transport der Feststoffsubstrate in die Hydrolyse vollautomatisch realisiert.

Die Gülle aus der Schweinemastanlage wird im Güllesammler zusammengeführt und von dort in die Hydrolyse gepumpt.

Die Fermenter werden wechselseitig mehrmals täglich mittels Exzentrerschneckenpumpe aus dem Hydrolysebehälter beschickt. Zur weiteren Zerkleinerung der Feststoffe ist in der Rohrleitung saugseitig der Exzentrerschneckenpumpe ein Rota-Cut (Nasszerkleinerer) installiert.

### **3.2 Fermentation**

Die Fermentation findet im mesophilen Temperaturbereich bei ca. 38 °C statt. Die beiden Fermenter fassen je 5.050 m<sup>3</sup> (Nettovolumen) und werden parallel betrieben. In den Fermentern lassen sich sowohl die Temperatur als auch die organische Belastung - und damit die Gasbildung - auf einem gleichmäßig hohen Niveau halten. Durchschnittlich werden ca. 120 t/d Substrat in die Fermenter eingespeist.

Zur Aufheizung des Frischsubstrates und zum Ausgleich von Abstrahlungs- und Konvektionsverlusten wird der Fermenterinhalt durch externe Wärmeübertrager umgewälzt, die vom Heizwasser aus der BHKW-Anlage durchströmt werden.

Das zugeführte Substrat wird in den Umwälzkreis eingespeist und dabei durch den Wärmeübertrager gefördert. Dadurch ergibt sich nicht nur eine gute Erwärmung des Frischsubstrates, sondern auch eine schnelle, intensive Durchmischung mit aktiver Biomasse.

Die Fermenter werden mit einem Rührwerk zentral von oben ständig durchmischt, so dass eine Bildung von Schwimmdecken und Sinkschichten ausgeschlossen ist. Die Aufenthaltszeit im Fermenter beträgt im Mittel ca. 85 Tage.

Durch den anaeroben biologischen Prozess werden organische Inhaltsstoffe der Gülle bzw. der Substrate unter Bildung von Biogas abgebaut. Das erzeugte Biogas wird im Gasspeicher aufgefangen.

### **3.3 Biogasentschwefelung**

Bei Zugabe von Luft (max. 5 % der gebildeten Biogasmenge) wird der Schwefelwasserstoff im Biogas im Kontakt mit Biomasse zu elementarem Schwefel oxidiert, der schließlich mit dem vergorenen Substrat aus dem Nachgärer ausgelesen wird. Er bleibt auf diese Weise in der Gülle und damit den Pflanzen als Mikronährstoff erhalten.

Durch eine Membranluftpumpe wird die Entschwefelungsluft kontinuierlich gefördert und mit dem Biogas in Kontakt gebracht.

Die Menge wird entsprechend der Gasbildung und dem Schwefelwasserstoffgehalt des Reingases eingestellt und durch einen Durchflussmesser kontrolliert.

### **3.4 Nachgärung und Gasspeicherung**

Das Fassungsvermögen des Nachgärbehälters beträgt 2.976 m<sup>3</sup>. Der Nachgärer wird als Speicherbehälter betrieben und dient der Güllelage in den Nichtausbringungszeiten. Der Behälter ist isoliert und beheizt.

Damit wird das Substrat auf der mesophilen Temperatur gehalten. Das Substrat wird durch 3 Rührwerke homogen gehalten und das Aufsteigen der Gasblasen gefördert. Das Biogas wird in dem über dem Substrat befindlichen Gasspeicher (2.700 m<sup>3</sup> Kapazität) zusammengeführt. Dieser Speicher ist durch ein Tragluftdach abgedeckt. Der Gasspeicher ist mit einer Füllstandserfassung ausgerüstet, die der Leistungsregelung der BHKW-Module dient.

In den Leitungen zwischen Gasspeicher und BHKW befindet sich der Kondensatschacht, abgeschiedenes Kondensat wird in das Gärreststofflager (Rechteckbecken) gepumpt.

Der Ablauf des Nachgärers wird den Gärreststofflagern zugeführt. Hier erfolgt nunmehr die Lagerung der anaerob behandelten und somit wesentlich geruchsbelasteten Gülle.

### **3.5 Biogasnutzung/Energieerzeugung**

Das entschwefelte Biogas wird zum Ausgleich von Schwankungen in der Produktion und dem Verbrauch in dem Gasspeicher über dem Nachgärbehälter gepuffert.

Die Biogasverwertung erfolgt in 2 Blockheizkraftwerken mit einer Leistung von je 800 kW<sub>el</sub>. BHKW. Diese sind im Heizhaus aufgestellt. Ebenfalls dort ist die Verdichtstation, die den erforderlichen Gasvordruck für die Gasmotoren erzeugt, untergebracht.

Die thermische Energie in Form von Heizwasser mit einer Vorlauftemperatur von 90 °C wird für die Erwärmung des frischen Substrates genutzt.

Die überschüssige Wärmeenergie steht der Stallanlage zur Verfügung. Sollte kein voller Wärmeverbrauch möglich sein, wird die Überschusswärme durch die Notkühler an die Umgebungsluft abgegeben.

Sollte der wenig wahrscheinliche Fall des Ausfalls beider BHKW s' eintreten, wird das Biogas über einen Heizkessel verwertet.

#### **4. Datenerhebung**

Zur Datenerhebung wurden die verfahrenstechnischen Parameter der Anlage herangezogen und Analysen des Gärsubstrates ausgewertet.

Die Datenauswertung erfolgt auf der Basis des vom Anlagenbetreiber geführten Betriebstagebuches über 4 Monate (Februar 2011 – Mai 2011) und nach dem Einfahren des 2. Fermenters (Dezember 2010 – Januar 2011).

Die Biogasproduktion ist rechnerisch über die BHKW-Leistung ermittelt, da eine entsprechende Mengemessung nicht installiert ist.

Bei Wartungsarbeiten am BHKW wurden die Ausfallzeiten berücksichtigt. Am 08.03.2011 und 29.04.2011 wurden von beiden Fermenter und der Hydrolyse vom Anlagenbetreiber Proben gezogen und zum Labor geschickt.

Die Analyse der Substrate erfolgt durch den Betreiber (Mais) bzw. es wurden die KTBL-Werte herangezogen.

Die Bewertung der Ergebnisse erfolgte auf der Basis des Standes der Technik.

Dazu wurden „Ergebnisse des Biogas-Messprogrammes II“, das unter Federführung der FAL Braunschweig (1) erarbeitet wurde und die Ergebnisse der KTBL - Arbeitsgruppe“ Gaserträge(2) herangezogen.

#### **5. Auswertung der Betriebsdaten**

Die der Biogasanlage zugeführten Einsatzstoffe im Untersuchungszeitraum waren folgende:

	<b>TS in %</b>	<b>oTS in %</b>
Schweinegülle	5,2	3,9
Maissilage	32,3	31,2
Getreide	85	83,3

**Tabelle 1: Analytik der Einsatzstoffe**

Die Substrate wurden in folgenden Mengen dosiert:

Februar	Schweinegülle	100 m <sup>3</sup> /d
	Maissilage	21 t/d
	Getreide	10,5 t/d
März	Schweinegülle	104 m <sup>3</sup> /d
	Maissilage	25 t/d
	Getreide	10,5 t/d
April	Schweinegülle	105 m <sup>3</sup> /d
	Maissilage	24 t/d
	Getreide	10,5 t/d
Mai	Schweinegülle	124,5 m <sup>3</sup> /d
	Maissilage	24 t/d
	Getreide	10,5 t/d

**Tabelle 2: Substratmengen im Untersuchungszeitraum**

Zunächst wurden in den untersuchten Monaten die kinetischen Parameter bezogen auf den Substrateinsatz ermittelt.

Parameter	Einheit	Messwert
Raumbelastung	kg/m <sup>3</sup> x d	1,9
Biogasproduktion	m <sup>3</sup> /d	15.870
Biogasausbeute	m <sup>3</sup> /kg oTS	0,83
	m <sup>3</sup> /t OS	121
Methananteil	Vol. %	57,2

OS: Originalsubstanz = Frischmasse

**Tabelle 3: Kinetische Parameter Februar 2011**

Parameter	Einheit	Messwert
Raumbelastung	kg/m <sup>3</sup> x d	2,0
Biogasproduktion	m <sup>3</sup> /d	15.073
Biogasausbeute	m <sup>3</sup> /kg oTS	0,73
	m <sup>3</sup> /t OS	108
Methananteil	Vol. %	57,4

OS: Originalsubstanz = Frischmasse

**Tabelle 4: Kinetische Parameter März 2011**

Parameter	Einheit	Messwert
Raumbelastung	kg/m <sup>3</sup> x d	2,0
Biogasproduktion	m <sup>3</sup> /d	15.454
Biogasausbeute	m <sup>3</sup> /kg oTS	0,75
	m <sup>3</sup> /t OS	111
Methananteil	Vol. %	56,8

OS: Originalsubstanz = Frischmasse

**Tabelle 5: Kinetische Parameter April 2011**

Parameter	Einheit	Messwert
Raumbelastung	kg/m <sup>3</sup> x d	2,1
Biogasproduktion	m <sup>3</sup> /d	14.938
Biogasausbeute	m <sup>3</sup> /kg oTS	0,71
	m <sup>3</sup> /t OS	94
Methananteil	Vol. %	58,8

OS: Originalsubstanz = Frischmasse

**Tabelle 6: Kinetische Parameter Mai 2011**

Folgende Analysenparameter wurden ermittelt:

	Fettsäuren (Essigsäureäquivalent)	TS	oTS	pH-Wert
	mg/l	%	%	
Hydrolyse	7.120	11,6	10,5	4,74
Fermenter 1	1.660	6,32	5,01	7,48
Fermenter 2	372	5,19	3,81	8,08

**Tabelle 7: Analysenergebnisse 08.03.2011**

	<b>Fettsäuren (Essigsäureäquivalent)</b>	<b>TS</b>	<b>oTS</b>	<b>pH-Wert</b>
	mg/l	%	%	
Hydrolyse	10.800	14,5	13,2	5,07
Fermenter 1	264	4,84	3,65	8,15
Fermenter 2	< 200	4,83	3,75	8,05

**Tabelle 8:      Analysenergebnisse 29.04.2011**

Die der Biogasproduktion entsprechende tägliche Stromproduktion wird dem Eigenstromverbrauch für die Maschinentechnik gegenübergestellt (Tabelle 3 – 6).

	<b>kWh erzeugt</b>	<b>kWh verbraucht</b>	<b>Eigenstrombedarf</b>
Februar	Messeinrichtung	noch nicht installiert	
März	1.239.600	73.237	5,6 %
April	1.082.500	62.020	5,7 %
Mai	1.322.00	62.490	4,7 %

**Tabelle 9:      Gegenüberstellung Eigenstrom/Verbrauchsstrom**

## 6. Bewertung der Ergebnisse

### 6.1 Biogasproduktion

Die Biogasproduktion aus dem Substratangebot der organischen Substanz wird vergleichend denen der KTBL Arbeitsgruppe „Gaserträge“ (2) gegenübergestellt:

	Biogasanlage m <sup>3</sup> /d	KTBL-Wert m <sup>3</sup> /d
Februar	15.871	12.275
März	15.073	13.098
April	15.454	12.911
Mai	14.938	13.231

**Tabelle 10: Vergleich Anlagenwerte / KTBL-Werte (bezug: oTS-Input)**

Die KTBL-Werte als Vergleichsgrundlage sind folgende:

Schweinegülle	0,42 m <sup>3</sup> /kg oTS
Mais	0,65 m <sup>3</sup> /kg oTS
Getreide	0,73 m <sup>3</sup> /kg oTS

Betrachtet werden muss in diesem Zusammenhang, dass in der Einfahrphase des 2. Fermenters dieser halb mit Rohgülle befüllt wurde, so dass für den Februar Restgaspotentiale daraus berücksichtigt werden müssen.

Für den März liegt die Substratausnutzung 13 % über dem Vergleichswert, für April 16 % und für den Mai 12 %.

Die Bewertung dieser hohen Biogausbeuten muss komplex gesehen werden:

- Hydrolyse

Für die Gülle sowie Getreide werden durch die Hydrolyse keine Vorteilswirkungen gesehen.

Für Mais kann aber eine Erhöhe der Biogasproduktion erreicht werden. Diese wird in einem demnächst anlaufenden Forschungsprojekt quantifiziert werden.

- Fermentergeometrie

In einem Fermenter mit dem Verhältnis Durchmesser:Höhe von 1:1 lässt sich mit Einsatz geeigneter Rührtechnik eine Schlaufenströmung umsetzen. Mit einer solchen Fermenterdurchmischung werden Sink- und vor allem Schwimmschichten wirkungsvoll verhindert.

Insbesondere in der Schwimmschicht festliegende Maisanteile des Substrates sind schwer bioverfügbar und führen so zu verminderten Abbauleistungen der organischen Substanz.

## **6.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung**

Die optimale Nutzung der in die Biogasanlage eingebrachten Substrate ist im Zusammenhang mit deren Kosten ein exponierter Wirtschaftlichkeitsfaktor.

Der im Untersuchungszeitraum eingesetzte Maisanteil an Input war 23,5 t/d, was 8.578 t/a entspricht.

Nach Angaben der TLL sind für Maissilage 35,20 €/t an Herstellungskosten zu rechnen, das sind 301.946 €/a (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft: Maisanbau für die Biogaserzeugung in Thüringen, 2011).

Geht man davon aus (siehe Punkt 6.1), dass die Biogasproduktion 14 % höher ist als bei konventioneller Anlagentechnik, ergibt sich ein Einsparpotential von 42.300 €/a.

## **7. Schlussbemerkung**

Steigende Produktionskosten für Energiepflanzen müssen durch eine Erhöhung der energetischen Effizienz der Biogasanlagen kompensiert werden.

Ein strategischer Ansatz dazu ist die Erhöhung der Biogasausbeute aus dem Substratangebot an organischer Substanz.

In der Biogasanlage Uthleben wird dem wie folgt Rechnung getragen:

- zweistufige Verfahrensführung mit vorgeschaltener Hydrolyse
- Fermentergeometrie und Durchmischung mit Schaffung optimaler Lebensbedingungen für die an der Biogasproduktion beteiligten Mikroorganismen

Dieses komplexe Vorgehen sichert eine hohe Biogausausbeute.

Literatur:

(1) Biogas-Messprogramm II, Heinrich von Thünen-Institut (vTI) Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, 2009

(2) Gaserträge von Energiepflanzen. – Ergebnisse der KTBL-Arbeitsgruppe „Gaserträge“, 01.09.2010 – Energiepflanzentagung in Trossin

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Entwicklung der Anzahl Biogasanlagen und der gesamten installierten elektrischen Leistung in Megawatt (MW) (Stand: 06/2011) .....	3
Abbildung 2: Lageplan Biogasanlage .....	5

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Analytik der Einsatzstoffe .....	8
Tabelle 2: Substratmengen im Untersuchungszeitraum .....	9
Tabelle 3: Kinetische Parameter Februar 2011 .....	9
Tabelle 4: Kinetische Parameter März 2011 .....	9
Tabelle 5: Kinetische Parameter April 2011 .....	10
Tabelle 6: Kinetische Parameter Mai 2011 .....	10
Tabelle 7: Analyseergebnisse 08.03.2011 .....	10
Tabelle 8: Analyseergebnisse 29.04.2011 .....	11
Tabelle 9: Gegenüberstellung Eigenstrom/Verbrauchsstrom .....	11
Tabelle 10: Vergleich Anlagenwerte / KTBL-Werte (bezug: oTS-Input) .....	12