

Schlussbericht

zur wissenschaftlichen Begleitung des Projektes

**„Regenerative Energieerzeugung auf Landwirtschaftsbetrieben
durch die effiziente Nutzung nachwachsender Rohstoffe und
biogener Reststoffe in einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft für
Biomasse“**

FKZ 22002504

Projektzeitraum: 01.10.2004 – 31.12.2005
Projektleiter: Prof. Dr. agr. habil. Dipl.-Ing. B. Linke
Projektbearbeitung: Dr. rer. hort. Monika Heiermann
Projektpartner: Dipl.-Ing. Rudolf Loock, LOOCK CONSULTANTS
Kaiser-Wilhelm-Straße 89
20355 Hamburg
U. Kessler, Agrargenossenschaft Pirow e.G.
Berger Straße
19348 Pirow

Gliederung		Seite
I	Kurzdarstellung	3
I.1	Aufgabenstellung	3
I.2	Vorhabensvoraussetzungen	3
I.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	4
I.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand	6
I.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	6
II	Eingehende Darstellung	8
II.1	Erzielte Ergebnisse	8
II.1.1	Anlagenmodifizierung	8
II.1.2	Messprogramm	8
II.1.2.1	Erfassung des Ist-Zustandes	9
II.1.2.2	Charakterisierung der Grundsubstrate	11
II.1.2.3	Analyse von Substratmischungen, Gärreste und Perkolatproben	12
II.1.3	Gesamtbewertung	13
II.1.4	Schlussfolgerungen	17
II.2	Voraussichtliches Nutzen - Verwertbarkeit des Ergebnisses	18
II.3	Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	18
II.4	Erfolgte oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses	20
II.5	Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer	20
II.6	Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung	20
	Anhang	22
	Abbildungen und Tabellen	23-43

I Kurzdarstellung

I.1 Aufgabenstellung

Die im Rahmen des Vorhabens durchgeführte wissenschaftliche Begleitung hatte das Ziel, die Funktion, Leistung und Betriebssicherheit der Biogaserzeugung durch das Trocken-Nass-Simultan-Verfahren (TNS) der Firma Looock Consultants am Standort der Agrargenossenschaft Pirow e.G. zu bewerten und den biologischen Verfahrensablauf zu optimieren. Hierbei bildete die nach dem Perkolationssystem arbeitende Verfahrensstufe „Trockenfermentation“ der als ETI-Leitprojekt deklarierten Pilotanlage den Schwerpunkt der wissenschaftlichen Begleitforschung.

Für die Bearbeitung dieser Zielstellung wurden folgende Schwerpunkte gebildet:

- Ermittlung optimaler Substrat-/Impfmaterial-Mischungsverhältnisse für die Verfahrensstufe „Trockenfermentation“ im Hinblick auf höchst mögliche Methanausbeuten und Methanbildungsraten
- Vorbehandlung von pflanzlichen Substraten für den Einsatz in Trockenvergärungsanlagen (Erwärmung durch Intensivrotte, pH-Wert)
- Ermittlung optimaler Perkolationszeiten und –intervalle für die Trockenfermenter (je 150 m³)
- Bewertung und Optimierung des Perkolatkreislaufs zwischen Perkolatspeicher und den Trockenfermentern im Hinblick auf Übersauerung und Temperaturführung
- Technologische Einordnung der nach dem Perkolationssystem arbeitenden Trockenvergärung in das bestehende System der Nassvergärung

I.2 Vorhabensvoraussetzungen

Die nach dem Trocken-Nass-Simultan (TNS)-Verfahren der Firma Looock Consultants errichtete Biogasanlage in Pirow besteht im wesentlichen aus 4 gasdichten Trockenfermentern mit einem Nutzvolumen von je 150 m³, die mit verschließbaren Toren, Belüftungstechnik zum Einblasen von Luft, einer Vorrichtung zur Perkolation der Prozessflüssigkeit und zugehöriger Prozessleittechnik ausgestattet sind.

Ein wichtiger Bestandteil der Anlagenausstattung der Trockenfermentation nach dem Looock TNS-Verfahren ist eine Belüftungseinrichtung, mit der Luft von der Bodenseite des Fermenters eingeblasen werden kann und über isobar konstruierte Lufdüsen gleichmäßig von unten den Substrathaufen durchströmt.

Der Behandlungszyklus einer frischen Substratcharge wird mit einer kurzen Vorbelüftung innerhalb des Trockenfermenters begonnen und das Substrat erwärmt sich durch die einsetzenden Rotteprozesse. Mit dieser Verfahrensweise kann das Looch TNS-Verfahren auf eine aktive Beheizung der Trockenfermenter verzichten. Die erforderliche Betriebstemperatur (ca. 40° C) wird durch die exothermen aeroben Rotteprozesse in wenigen Stunden erreicht. Die Außenisolierung der Fermenter sorgt für minimale Wärmeverluste im Anaerobprozess, so dass zur Aufrechterhaltung der Betriebstemperatur nur die Beheizung des Prozesswasserspeichers erforderlich ist.

Neben der Trockenfermentationsanlage wurde eine konventionelle Nassvergärungsanlage errichtet, in der Schweinegülle und nachwachsende Rohstoffe in zwei Fermentern mit einem Volumen von 1500 m³ vergoren werden. Für die Verstromung des Biogases aus der Nass- und Trockenvergärungsanlage stehen zwei BHKW mit einer elektrischen Leistung von je 250 kW zur Verfügung.

Die für die Erprobung der Pilotanlage notwendigen Gasmengenzähler für jeden Fermenter, eine Teleskopwaage für die Masseerfassung der eingebrachten Substrate, einen Container zur Speicherung von Perkolat und Mittel für die Erfassung und Auswertung der Messergebnisse (Personal- und Sachmittel) wurden durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. zur wissenschaftlichen Begleitung des Projektes bereitgestellt.

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die ursprüngliche Verfahrensweise, einen Prozesswasserkreislauf zur Berieselung des Substrates in der Trockenfermentation über den Nachgärer der Nassfermentation zu schaffen, konnte in der Praxis nicht aufrecht erhalten werden. Es zeigte sich, dass durch mitgeführte Schwebstoffe in der Flüssigkeit des Nachgärs ein Film auf dem Substrathaufen im Trockenfermenter (TF) gebildet wurde, der die Perkolation der Flüssigkeit durch das Substrat erheblich beeinträchtigte. Aus diesem Grund musste eine Alternative gefunden werden, die in der Umnutzung des Trockenfermenters 2 als Prozesswasserspeicher (F2) resultierte.

Diese improvisierte Zwischenlösung machte den Betrieb der Trockenfermentationsanlage aufgrund des geringen Speichervolumens für Prozesswasser hinsichtlich Temperaturstabilität und Wasserregelung sensibel, so dass für einen stabilen und sicheren Betrieb ein großvolumiger Prozesswasserspeicher erforderlich ist. Mit der systematischen Aufnahme der Messdaten und der Befüllung der Trockenfermenter wurde im März 2005 begonnen. Im weiteren Versuchsbetrieb kam es jedoch zu Betriebsbeeinträchtigungen, die nachfolgend dargestellt werden.

Zeitraum bis 27.05.05

Die Erwärmung des Prozesswassers erfolgte bis Ende Mai über einen Plattenwärmetauscher. Dieser erwies sich durch die im Prozesswasser mitgeführten Schwebstoffe als sehr anfällig gegenüber Verstopfungen, so dass regelmäßige Reinigungen durchgeführt werden mussten. Die hiermit verbundenen Temperaturschwankungen im umlaufenden Prozesswasser führten zu größeren Schwankungen der Biogasproduktionsraten im Prozesswasserspeicher mit insgesamt geringerer Biogasproduktion. Die Installation einer im Prozesswasserspeicher liegenden Heizung und die Herausnahme des Plattenwärmetauschers wurde am 27.05.05 abgeschlossen. Im anschließenden Zeitraum bis zur Außerbetriebnahme der Anlage ab dem 21.06.05 konnte die Biogasproduktionsrate im Prozesswasserspeicher auf hohem Niveau stabilisiert werden.

Zeitraum 21.06.05 bis 03.08.05

Die Auswertung der Messergebnisse zeigte, dass eine Undichtheit am Trockenfermenter 1 (TF1) vorliegen musste. Aus diesem Grund wurde der TF 1 am 21.06.05 zur Revision außer Betrieb genommen. Nach Abschluss der vorherigen Messreihe mit Einsatz von Maissilage und Putenmist sollte in der nächsten Phase der Betrieb mit reiner Maissilage erfolgen. Da die Biogasanlage Pirow nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten betrieben werden muss, war die Verfügbarkeit der erforderlichen Mengen Maissilage für die Nass- und die Trockenfermentation für die geplante Messphase nicht gegeben. Die gesamte Trockenfermentationsanlage wurde deshalb zur Revision stillgelegt und zum 03.08.05 wieder in Betrieb genommen.

Zeitraum nach Wiederinbetriebnahme ab 03.08.05

Nach der Wiederinbetriebnahme war absehbar, dass ein Zeitraum zur Neubildung und Stabilisierung der Biologie erforderlich sein würde. Dies zeigte sich in den geringen Gasausbeuten im Prozesswasserspeicher im August und September. Insbesondere mit dem improvisierten Prozesswasserspeicher zusammenhängende Probleme haben die Aufnahme einer weiteren stabilen Messreihe verhindert. Das Fermentertor ist nicht für die Aufnahme der Lasten hoher Wassersäulen ausgelegt. Ein Anstieg des Gasdrucks im Innenraum des Prozesswasserspeichers drückt das Tor heraus. Die Undichtigkeiten und erforderlichen Reparaturen haben den Anlagenbetrieb im September und Oktober immer wieder unterbrochen. Der als Trockenfermenter konzipierte Prozesswasserspeicher weist ein zu geringes Volumen auf, um das Prozesswasser in der kalten Jahreszeit auf stabiler Temperatur mit ausreichend hohem Niveau zu halten. Seit November besteht das Problem, dem Prozesswasser ausreichend Wärme zur Einstellung einer stabilen Prozess-temperatur im Gesamtsystem zuzuführen.

I.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Der zunehmende Einsatz nachwachsender Rohstoffe, die ebenso wie Festmist schüttlähig sind und für die Biogasgewinnung zum Einsatz kommen, wirft die Frage auf, ob diese Substrate auch im stapelbaren Zustand zu Biogas vergoren werden können. Die unter Feststoff- oder Trockenvergärung bekannten Verfahren arbeiten satzweise, d.h. der Fermenter wird mit schüttlähigem Substrat und einem Teil bereits vergorenem, aber noch schüttlähigem Gärrest vermischt und gasdicht verschlossen. Diese aus der Bioabfallvergärung bekannten Verfahren [1] [2] sind auch für landwirtschaftliche Gärsubstrate von Interesse, da nicht die gesamte Reaktionsmasse mit hohem Energieaufwand durchmischt werden muss und der noch schüttlähige Gärrest in einer konventionellen Stroh-Stallmist-Kette verwertet werden kann. Zur Beschleunigung des anaeroben Abbaus wird das schüttlähige Gemisch perkoliert (berieselt) und damit der anaerobe Abbau beschleunigt. Für landwirtschaftliche Substrate wie Mist und grünem Pflanzenmaterial wird in [3] erstmalig ein satzweise arbeitendes System mit Perkolation und anschließender Biogasgewinnung in einem Anaerobfilter beschrieben.

Das von der Firma Looock Consultants entwickelte Trockenfermentationsverfahren, die sog. Trocken-Nass-Simultan-(TNS)-Vergärung, wurde in Pirow (Brandenburg) durch den Verfahrensentwickler in die landwirtschaftliche Praxis überführt. Anbieter anderer Verfahren am Markt sind beispielsweise die Firmen Bioferm und Bekon. Auch der Einsatz von Folienschläuchen als Fermenter nach der AG BAG Technologie zur Futterkonservierung ist möglich [4] [5] [6]. Ein vom Ingenieurbüro Ratzka konzipiertes satzweise arbeitendes Verfahren, das in der Agrar-genossenschaft Bergland e.G. Clausnitz (Sachsen) zur Anwendung kommt, wird ebenfalls mit Unterstützung der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. durch das Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim wissenschaftlich begleitet.

Mit den nun vorliegenden Ergebnissen der wissenschaftlichen Begleitung der Looock TNS-Anlage in Pirow ist eine Bewertung der Leistungsfähigkeit des Verfahrens zur energetischen Biomassenutzung möglich.

I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen des FNR/BMVEL-geförderten Verbundprojektes „Bundesmessprogramm zur Bewertung neuartiger Biomasse-Biogasanlagen“ bestehen u.a. enge Kontakte zur Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (Abteilung Technologie und Biosystemtechnik) und zur Bayrischen Landesanstalt für Landtechnik Weihenstephan, Abteilung Umweltschutz und Landnutzung. Des weiteren erfolgt im Netzwerk „Biogas-Crops“ (gefördert vom BMBF) wissenschaftliche Grundlagenforschung zur

Biogasgewinnung aus pflanzlicher Biomasse. Hierbei bilden „Untersuchungen zur Entwicklung eines optimalen Verfahrens der Vergärung von Biogas Crops durch zweistufige Prozessführung mit Bioleaching“ einen Forschungsschwerpunkt, der in intensiver Kooperation mit der Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Lehrstuhl Abfallwirtschaft, und der Universität Hohenheim, Landesanstalt für Landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen durchgeführt wird. Die im Rahmen des genannten Verbundprojektes bzw. Netzwerks gewonnenen Erkenntnisse wurden für die Projektbearbeitung genutzt. Umgekehrt besteht ein Erfahrungsaustausch mit den genannten Einrichtungen sowie mit anderen Instituten, die sich mit der Gewinnung von Biogas beschäftigen (z. B. Institut für Energetik und Umwelt in Leipzig). Auf EU-Ebene bestehen weitere Verbindungen, die bei der Beantragung eines Specific Targeted Research Projects (STREP) ausgebaut wurden.

II Eingehende Darstellung

II.1 Erzielte Ergebnisse

Für die wissenschaftliche Begleitung lag die Anlagenkonzeption, wie sie in Abb. A1 (Anhang) dargestellt ist, zugrunde. Die im folgenden Abschnitt dargelegten Modifikationen wurden im Jahr 2004 durchgeführt (Abb. A2, Anhang).

II.1.1 Anlagenmodifizierung

Für die Ermittlung belastbarer Messwerte musste die Messtechnik für die Verfahrensstufe „Trockenfermentation“ ergänzt werden. Im Rahmen des Projektes wurden folgende Umbauten bzw. Einbauten vorgenommen:

- Einbau von Gaszählern an jedem Trockenfermenter, um die produzierten Gas-mengen dem Ort der Erzeugung zuordnen zu können.
- Modifikation der Software der Prozessleittechnik und Einbau von pneumatischen Schiebern zum Prozesswasser-Sammelschacht. Diese Änderungen ermöglichen die Variation der Perkulationsintensitäten für jeden einzelnen Trockenfermenter
- Erhöhung der Perkolat-Vorlage mit einem 20“-Container: Zur Rückhaltung von Schlamm aus dem Perkulationswasser wurde ein 20“-Container als Beruhigungszone in den Perkolatspeicher eingebracht.
- Ausrüstung des Teleskopladers mit einer Waage zwecks Erfassung und anschließender Bilanzierung der Massen der Eingangs- und Ausgangsstoffe

II.1.2 Messprogramm

Zum Projektanfang im Herbst 2004 wurde der Ist-Zustand der Biogasanlage erfasst und nach Abschluss der technischen Modifikationen wurden im Februar 2005 die Grundsubstrate charakterisiert. Die planmäßige Erfassung der Prozessdaten erfolgte erst nach Beendigung der technischen Umbauten im März 2005. Wie in der Übersicht 1 dargestellt, wurde dann umgehend mit der systematischen Beschickung der Trockenfermenter mit den zu prüfenden Substratmischungen begonnen. Zunächst wurde die Anlage mit 4 Zyklen (TF3, TF4, TF1) bestehend aus einer Maissilage-Putenmist-Gärrest-Mischung gefahren. Im darauf folgenden Wochen war der Versuchsbetrieb durch Betriebsstörungen beeinträchtigt, sodass die Beschickung

der Trockenfermenter mit der 2. Mischungsvariante (Maissilage-Gärrest) erst ab Ende August fortgesetzt werden konnte. Während des Monitoring wurden von den Grundsubstraten, Substratmischungen, Gärresten sowie vom Perkolat Proben genommen. Des weiteren wurden seit Anfang 2005 im Tagesprotokoll der Biogasanlage der Agrargenossenschaft Pirow die Daten zur Prozessführung und die Massen der Befüllungen und Entleerungen erfasst (Tabelle Anhang A12). Diese Aufzeichnungen sowie die in den folgenden Unterkapiteln aufgeführten Teilergebnisse bilden die Datenbasis für die Gesamtbewertung der Trockenfermentationsanlage, die im Abschnitt II.1.3 erfolgt.

Übersicht 1: Zeitliche Abfolge der wesentlichen Ereignisse (Messprogramm 2005)

Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
1	1	1	1	1	1 TF1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2 TF4	2
3	3	3	3	3	3	3	3 TF4	3	3	3	3
4	4	4	4	4 TF4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6 TF4	6	6	6 TF4	6	6
7	7	7	7 TF3	7	7	7	7	7 TF4	7	7	7
8	8	8	8	8	8 TF3	8	8	8	8	8	8
9	9	9 TF3	9	9	9	9	9 TF1	9	9	9 TF1	9
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11 TF1	11	11	11	11	11	11	11
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
13	13	13	13 TF4	13	13	13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	14	14	14	14	14 TF3	14	14	14
15	15	15	15	15	15 TF4	15	15	15	15	15	15
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16 TF3	16
17	17	17 TF4	17	17	17	17	17 TF3	17	17	17	17
18	18	18	18	18 TF3	18	18	18	18	18 TF1	18	18
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
21	21	21	21 TF1	21	21	21	21	21	21	21	21
22	22	22	22	22	22 TF1	22	22	22	22	22	22
23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23 TF4	23
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
25	25	25	25	25 TF4	25	25	25	25	25	25	25
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26 TF3	26	26
27	27	27	27 TF3	27	27	27	27	27	27	27	27
28	28	28	28	28	28	28	28	28 TF1	28	28	28
29	29	29	29	29	29 TF3	29	29	29	29	29	29
30		30 TF1	30	30	30	30	30	30	30	30	30
31		31		31		31	31 TF1		31		31

TF	Charakterisierung Grundsubstrate		Start Monitoring		Betriebsbeeinträchtigungen
	Beschickung Trockenfermenter		Mischung Maissilage, Putenmist, Gärrest		Bewertung
	Nachrüstung Gasuhren		Mischung Maissilage, Gärrest		

II.1.2.1 Erfassung des Ist-Zustandes

Für eine erste Einschätzung der Verfahrensstufe „Trockenfermentation“ in Pirow wurden zum Projektanfang im Herbst 2004 Substratproben vor und nach der Prozessführung (Perkolat, Maissilage, Gärrest) genommen und die Parameter Trockensubstanz bei 105 °C (TS₁₀₅), organische Trockensubstanz (oTS), pH-Wert, Leitfähigkeit, NH₄-N, N_{gesamt} sowie organische Säuren (Säuren_{klassisch}) nach Standard-

verfahren bestimmt (Forschungsberichte des ATB; 1998/6). Weiterhin wurde mittels Gärtest (35 °C) das Gasbildungspotenzial getestet.

Für alle Proben liegen die Werte der untersuchten Parameter im Normalbereich (Anhang Tab. A1) mit Ausnahme des Wertes der organischen Säuren beim Perkolat, der mit 6,36 g/kg FM leicht erhöht ist. Die Ergebnisse des Gärtests in Abb. 1 weisen für die Maissilage mit über 1000 NI kg⁻¹ oS eine Biogasausbeute im oberen Bereich aus, wobei die in Doppelbestimmung durchgeführte Biomethanisierung einen typischen Kurvenverlauf mit sehr guter Übereinstimmung aufzeigt. Beim Perkolat aus der Nachgärung wurde eine sehr geringe Gasbildung bestätigt. Ebenso der sehr gut ausgefaulte Gärrest, der als Impfmaterail für neue Ansätze eingesetzt werden kann.

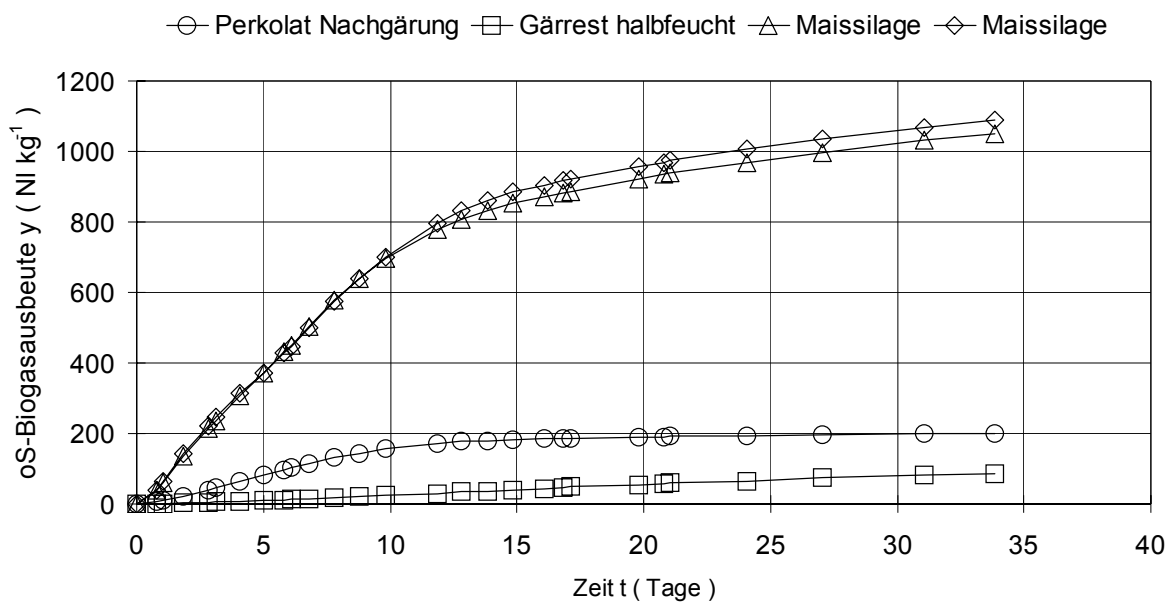


Abb. 1: Biogasausbeuten im batch-Ansatz bei 35 °C (Projektanfang)

Da die systematische Erfassung der Prozessdaten erst nach Beendigung der technischen Umbauten stattfand, wurden keine weiteren umfassenden Beprobungen durchgeführt. Allerdings erfolgte eine kontinuierliche Beobachtung des Perkolats. Zum Jahresende 2004 zeigten die pH-Werte eine Übersäuerung der Flüssigkeit an. Um festzustellen, inwieweit dies den Prozess der Biomethanisierung beeinflusst, wurde Gärrest mittels Gärversuch im Februar 2005 untersucht. Es wurde eine noch starke Gasbildung festgestellt (Abb. 2) und der Einsatz als Impfmaterail als kritisch bewertet.

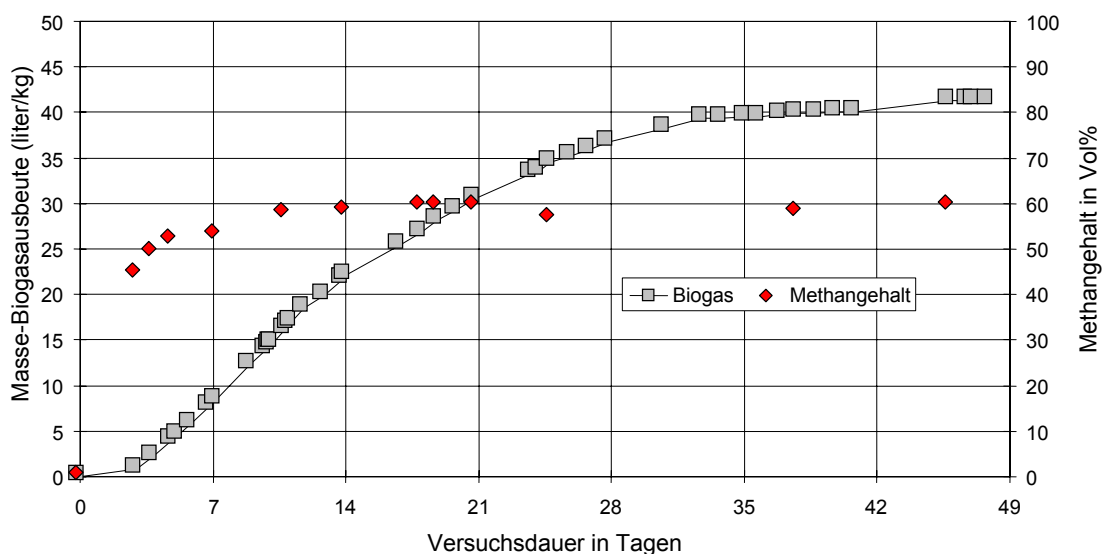


Abb. 2: Biogasausbeuten und Methangehalte von Gärrest (Probenahme 09.02.05) im batch-Ansatz bei 35 °C

II.1.2.2 Charakterisierung der Grundsubstrate

Mit der Beprobung neuer Substratchargen, wurde ebenfalls Anfang Februar 2005 begonnen. Zur Charakterisierung der Grundsubstrate Maissilage und Putenmist, wurden chemische Analysen der substratspezifischen Parameter (TS_{105} , oTS , pH-Wert, Leitfähigkeit, NH_4-N , N_{gesamt} sowie Säuren_{klassisch}) und Gärtests zur Bestimmung des Gaspotenzials durchgeführt. Die Ergebnisse der Gärtests (Abb. 3) weisen für die Maissilage und für den Putenmist Biogasausbeuten im oberen bzw. mittleren Bereich aus.

Der weitere Substratanfall von Putenmist fand in Abhängigkeit der Aufstallungstermine in der Tierhaltung statt. Am 27.04.05 wurde eine neue Charge Putenmist beprobt. Die Qualität der Maissilage wurde ebenfalls am 27.04.05 als auch am 08.09.05 überprüft. Da die Werte der substratspezifischen Parameter (Anhang Tab. A5, A11) keine erheblichen Abweichungen von den Analysewerten des „Ist-Zustandes“ (09.02.05, Tab. A2) aufwiesen, konnte auf weitere Gärversuche verzichtet werden.

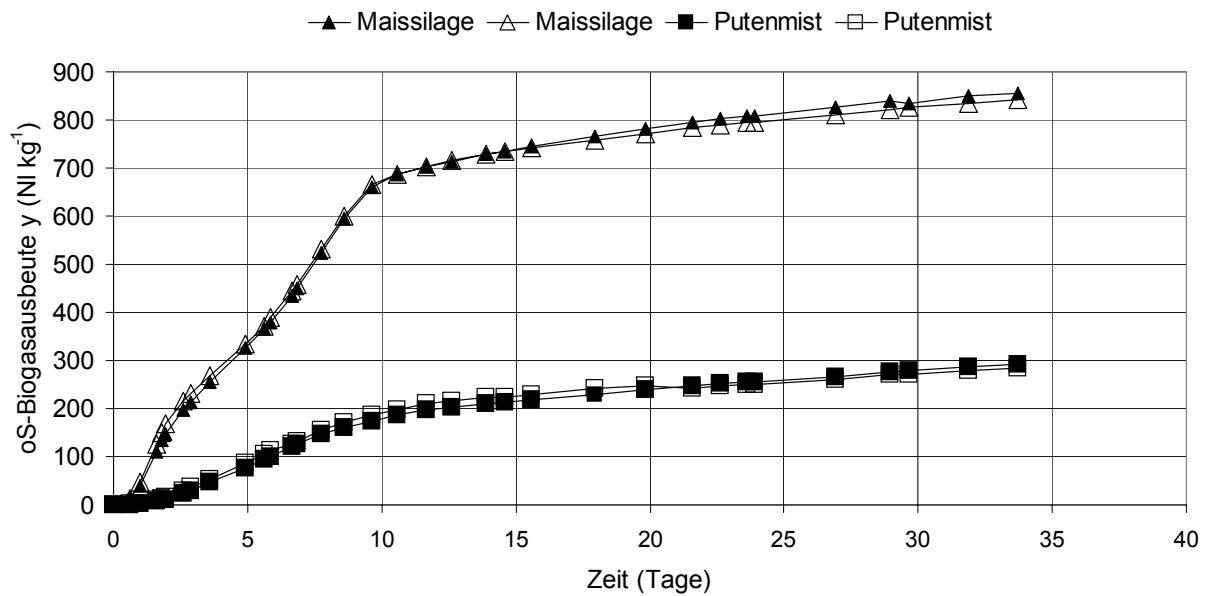


Abb. 3: Biogasausbeuten im batch-Ansatz bei 35 °C (Probenahme 09.02.05)

II.1.2.3 Analyse der Substratmischungen, Gärreste und Perkolatproben

Eine Übersicht der während des Versuchsbetriebs genommenen Proben der unterschiedlichen Substratarten gibt Tabelle 1. Die Dokumentation der umfassenden Einzelergebnisse sowohl für die chemische Analytik als auch für die Bestimmung der Gaspotenziale befindet sich in tabellarischer Form im Anhang des Berichts (Tabellen A1 - A11).

Die Einzelergebnisse werden im Kontext der Gesamtbewertung im folgenden Abschnitt diskutiert und ein Fazit gezogen.

Tab. 1: Probenübersicht des Messprogramms

Datum	Mais- silage	Puten- mist	Mischung in Fermenter	Gärrest aus Fermenter	Perkolat Nachgärung	Perkolat- speicher (F2)	Ergebnis- Tabelle (Anhang)
2004	x			x	x		A1
09.02.05	x	x		x	x		A2
09.03.05			TF3	TF3			A3a
17.03.05			TF4		x		A3b
30.03.05			TF1	TF1		x	A4
28.04.05	x	x		TF3	x		A5
04.05.05				TF4			A6
11.05.05				TF1			A6
17.05.05					x	x	A6
18.05.05				TF3			A6
25.05.05				TF4			A6
26.05.05					x		A7
01.06.05				TF1			A8
08.06.05				TF3	x		A8
15.06.05				TF4			A9
21.06.05				TF1			A9
23.06.05					x		A9
25.07.05				TF3, TF4			A10
08.09.05	x		TF4	TF4	x		A11

II.1.3 Gesamtbewertung

Im Mittelpunkt der Ergebnisdarstellung stehen die Bewertung der Trockenfermentationsanlage hinsichtlich Leistungsfähigkeit und Biogasausbeute. Aufgrund der bereits unter Abschnitt I.3 aufgeführten Betriebsbeeinträchtigungen wird für die folgenden Ausführungen der Zeitraum vom 18.05.2005 bis 04.07.2005 herangezogen. Innerhalb dieses Zeitraumes erhielt jeder Trockenfermenter 2 Chargen mit einem Gemisch aus Maissilage, Putenmist und Gärrest aus dem vorherigen Ansatz. Die Fermentationszeit in den Trockenfermentern wurde auf 3 Wochen begrenzt, anschließend wurde der Gärrest ausgelagert und ein Teil für den neuen Ansatz verwendet. Die Analysen der als Gärsubstrate verwendeten Maissilage und Putenmist (Tab. 2) liegen im üblichen Bereich.

Tab. 2: Analysenparameter der verwendeten Substrate für die Trockenvergärung

Parameter	Einheit	Putenmist	Maissilage
pH-Wert	-	8,50	4,10
TS (105°C)	g kg ⁻¹ FM ¹⁾	403	306
oTS	g kg ⁻¹ FM	334	293
NH ₄ -N	g kg ⁻¹ FM	2,70	0,54
N _{ges}	g kg ⁻¹ FM	11,08	3,28
Flüchtige Carbonsäuren	g kg ⁻¹ FM	0,91	4,38
Milchsäure	g kg ⁻¹ FM	-	16,30

¹⁾ Frischmasse

Während des genannten Untersuchungszeitraumes sind die TF 1, 2 und 3 jeweils um eine Woche zeitversetzt mit einer Mischung aus Maissilage, Putenmist und Gärrest beschickt worden (Tab. 3). Nach der Beschickung und einer Vorbelüftung von etwa 12 Stunden wurden die Trockenfermenter nacheinander mit Perkolat aus dem Perkolatspeicher (F2), der ein Flüssigkeitsvolumen von etwa 80 m³ aufwies, mit einer Menge von 15 m³h⁻¹ alternierend berieselt. Nach 4 Minuten Perkolation folgte eine Pause von 30 Minuten und die Perkolation wurde mit dem gleichen Rhythmus erneut aufgenommen. Nach wenigen Stunden setzte die Biogasproduktion ein und zeigte den erwarteten Anstieg (Abb. 2). Während bei den Fermentern 3 und 4 Spitzenwerte in der Methanproduktion von 200 bis 300 m³d⁻¹ erreicht wurden, lag die Methanproduktion im Fermenter 1 lediglich bei etwa 100 m³d⁻¹. Da alle Trockenfermenter nahezu die gleichen Substratmischungen erhalten haben, wurde vermutet, dass nicht die gesamte, in TF1 gebildete Methanmenge, wegen Undichtigkeiten erfasst wurde. Dieser Verdacht wurde durch Revision am 21.06.2005 bestätigt.

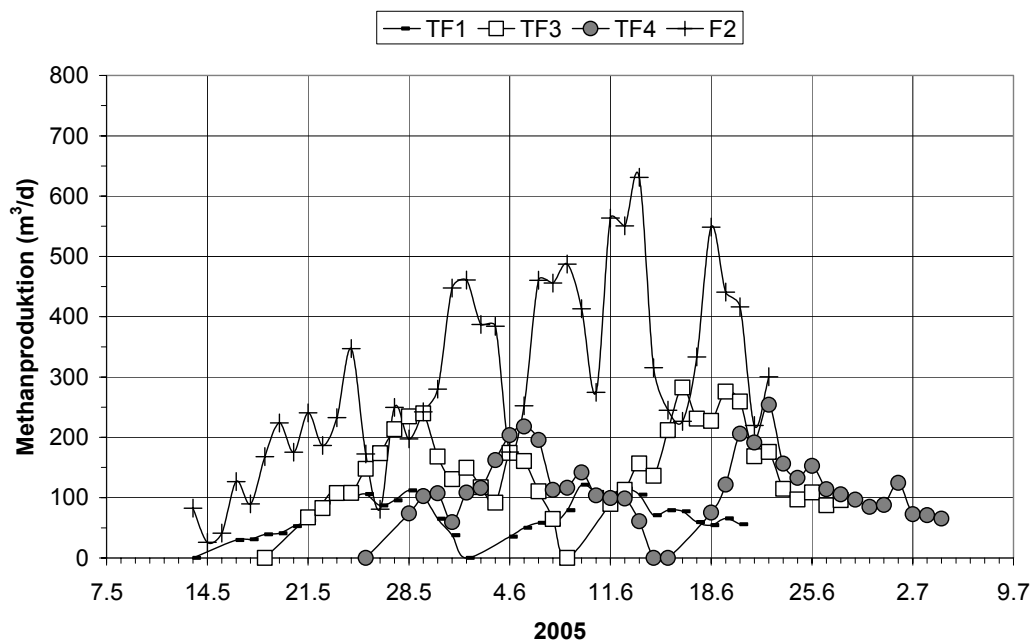


Abb. 2: Verläufe der Methanproduktion (normiert) im Untersuchungszeitraum

Die Zunahme des Methangehaltes im Biogas war bei allen Trockenfermentern ähnlich und erreichte nach etwa 1 Woche einen Methangehalt von 50%, der noch Werte bis 70% erreichte. Auf relativ hohem Niveau stellte sich der Methangehalt im Perkolatspeicher (F2) ein. Im Mittel des Untersuchungszeitraumes betrug der Methangehalt im Perkolatspeicher 69%.

Die im Untersuchungszeitraum aus den einzelnen Fermentern produzierten Biogas- und Methanmengen wurden bilanziert und auf die eingebrachten Substratmengen bezogen (Tab. 3). Im Mittel aller Befüllungen ergaben sich Masseanteile in der gesamten Mischung von 60% Maissilage, 13% Putemist und 27% Gärrest. Da nicht die gesamte aus TF1 produzierte Biogas- und Methanmenge wegen Undichtigkeiten am Fermenter erfasst werden konnte, andererseits aber der Perkolatspeicher (F2) organische Verbindungen aus dem Fermenter 1 mit dem Perkolat zu Biogas umgesetzt hat, wurde folgende Methode der Bilanzierung gewählt: Die gesamte aus dem Perkolatspeicher produzierte Biogasmenge wird in die Bilanzierung einbezogen und für die aus dem Trockenfermenter 1 produzierte Biogasmenge wird wegen der gleichen Substratbeschickung der Mittelwert aus TF3 und TF4 verwendet.

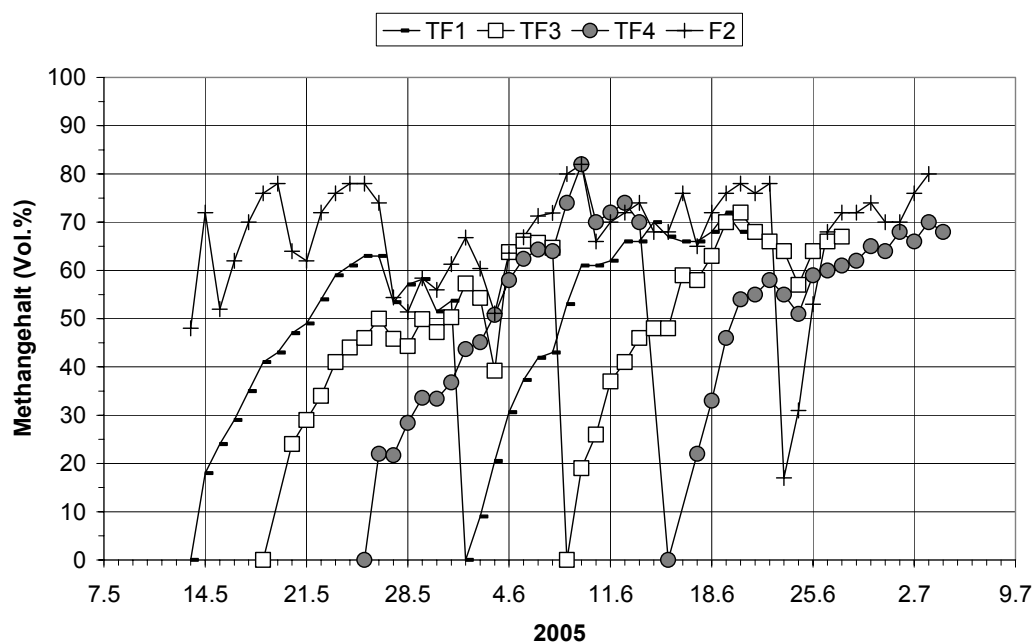


Abb 3: Verlauf der Methangehalte im Biogas im Untersuchungszeitraum

Tab. 3: Biogas- und Methanproduktion aus der Trockenfermentationsanlage Pirow mit jeweils 2 Befüllungen für TF1, 3, 4 im Zeitraum vom 18.05.2005 bis 04.07.2005

Fermenter	Maissilage t	Putenmist t	Gärrest t	Biogasmenge m ³	CH ₄ -Menge m ³	CH ₄ Vol.%
TF1	79,0	17,5	36,0	8916 ¹⁾	4779 ¹⁾	56
TF3	80,5	18,0	36,5	10129	5370	53
TF4	81,0	17,5	35,5	7703	4188	54
F2	-	-	-	17562	12070	69
Gesamt	240,5	53	108	44310	26407	59

¹⁾ Mittelwert aus TF3 und TF4

Bezieht man die im Untersuchungszeitraum produzierte Methanmenge von 26407 m³ auf die eingesetzte Substratmasse von 240,5 t Maissilage und 53 t Putemist, dann ergibt sich eine spezifische Methanausbeute von 90 m³ Methan je Tonne Frischmasse. Bezogen auf die mit der Substratmasse eingesetzte oTS resultiert eine oTS-bezogene Methanausbeute von 0,3 m³ kg⁻¹. Die aus dem Putenmist produzierte Methanmenge kann aus einem Gärtrest mit etwa 2400 m³ veranschlagt werden (45 m³ CH₄ t⁻¹ Putemist), so dass auf die eingesetzte Maissilage eine spezifische Methanausbeute von 0,34 m³ kg⁻¹ oTS entfällt. Damit können die für eine Nassvergärungsanlagen ermittelten Methanausbeuten [7] auch für eine Trockenvergärung nach dem Loock TNS-Verfahren erreicht werden. Die Analysenwerte der

ausgelagerten Gärreste unterlagen trotz einheitlicher Befüllungen gewissen Schwankungen. Der oTS-Gehalt der Gärreste lag mit Ausnahme von Fermenter 1 bei etwa 15% in der Frischmasse. Die geringen Konzentrationen an flüchtigen Carbonsäuren korrelieren mit dem relativ geringen Gärrestpotenzial, das bei 35°C nach Auslagerung im Labor des ATB ermittelt wurde (Tab. 4).

Tab. 4: Analysenwerte und Gärrestpotenzial von ausgelagerten Gärresten

Parameter	Einheit	TF3	TF4	TF1	TF3
		18.5.	25.5.	1.6.	8.6.
pH-Wert	-	9,04	9,14	9,14	8,83
TS (105°C)	g kg ⁻¹ FM ¹⁾	202	193	262	204
oTS	g kg ⁻¹ FM	157	148	209	150
NH ₄ -N	g kg ⁻¹ FM	2,09	3,20	1,16	3,41
N _{ges}	g kg ⁻¹ FM	6,83	5,96	9,09	6,27
Flüchtige Carbonsäuren	g kg ⁻¹ FM	1,69	1,62	0,79	4,00
Gärrestpotenzial (35°C)					
nach 20 d	m ³ t ⁻¹ FM	18	22	11	12
nach 40 d	m ³ t ⁻¹ FM	36	33	21	22

¹⁾ Frischmasse

II.1.4 Schlussfolgerungen

Bei der Erprobung der Pilotanlage in der Agrargenossenschaft Pirow hat sich gezeigt, dass flüssiger Gärrest aus dem Nachgärer einer konventionellen Nassvergärungsanlage als Inoculum für die Trockenvergärung bei der Berieselung (Perkolation) die zu vergärende Biomasse nicht ausreichend durchdringt und damit als Prozess- und Impfflüssigkeit nicht geeignet ist. Es muss deshalb ein eigener Prozesswasserkreislauf mit geringen Feststoffanteilen geschaffen werden, der dann auch den separaten Betrieb der Nass- und Trockenvergärungsanlage ermöglicht. Die Zugabe von schüttfähigem Gärrest zum Gärsubstrat (z.B. Silagen) beschleunigt die Methanproduktion im Trockenfermenter, wobei der Anteil im zu vergärenden Substratgemisch auf etwa 30 Ma.% begrenzt werden kann. Hierfür ist jedoch eine entsprechende Prozessführung notwendig, um die anfangs in hoher Konzentration vorhandenen organischen Säuren (z.B. Milchsäure und Essigsäure) abzubauen. Diese ist durch eine entsprechende „Kreuzschaltung“ möglich, indem die Prozessflüssigkeit eines gerade in Betrieb gegangenen Trockenfermenters auf Fermenter geleitet wird, die bereits eine zufrieden stellende Methanproduktion aufweisen. Für ein Gemisch aus 60 Ma.% Maissilage, 13 Ma.% Putenmist und 27 Ma.% Gärrest konnte nach nur 3 Wochen Fermentationszeit eine Methanausbeute von 90 m³t⁻¹ Frischmasse ermittelt werden. Für die eingesetzte Maissilage errechnet sich hieraus eine spezifische Methanausbeute von 0,34 m³kg⁻¹ oTS, die auch bei konventionellen Nassvergärungsanlagen erreicht wird.

Zusammengefasst zeigen die Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitung des Betriebes der Pilotanlage in Pirow, dass durch Trockenvergärung nach dem Looock TNS-Verfahren eine effektive Biogasgewinnung aus NaWaRos unter Praxi-bedingungen möglich ist. Es bestehen noch Optimierungsmöglichkeiten hinsichtlich der Stabilisierung des Prozesses. Als wichtigster Ansatz wurde die Notwendigkeit eines eigenständigen Prozesswasserkreislaufes mit großem Speichervolumen identifiziert. Diese Erkenntnis ist in die Planung weiterer Anlagen eingeflossen.

II.2 Voraussichtliches Nutzen - Verwertbarkeit des Ergebnisses

Die Verwertung der Ergebnisse erfolgt durch die am Vorhaben beteiligten Einrichtungen: die Agrargenossenschaft Pirow e.G. partizipiert insbesondere durch die Steigerung und Vereinfachung der Biogasproduktion durch Nutzung nachwachsender Rohstoffe, die Firma Looock Consultants erweitert sein Leistungsangebot durch eine Anlage zur Trockenfermentation mittels Perkolationssystem. Anfang März 2006 wurde in Halle-Döllnitz (Sachsen-Anhalt) eine nach dem TNS-Verfahren arbeitende Looock-Anlage in Betrieb genommen. Durch Aufarbeitung organischer Stoffe aus der Biotonne, Gülle und überlagerten Nahrungsmitteln wird elektrische Energie mit einer Leistung von 1,1 MW erzeugt und ins Stromnetz eingespeist. Die direkte Umsetzung der Erkenntnisse aus diesem Messprogramm erfolgte für die Trockenfermentationsanlage in Friedersdorf (Brandenburg): Substrat Maissilage, 8 Fermenter, BHKW 2 x 250 kW, Perkolatspeicher 1400 m³ und einem Biofilter. Die Neuanlage wurde Ende August 2006 fertiggestellt und in Betrieb genommen.

Das ATB vermittelt durch wissenschaftliche Publikationen und Fachvorträge in Abstimmung mit den Kooperationspartnern die gewonnenen Erkenntnisse. Des Weiteren werden die im Rahmen dieses Vorhabens erarbeiteten Ergebnisse gezielt in der Energie Technologie Initiative (ETI)-Öffentlichkeitsarbeit eingesetzt werden. Über das Land Brandenburg hinaus wird durch dieses Projektvorhaben ein Weg aufgezeigt, der für den Agrarsektor in der gesamten Bundesrepublik und in der Europäischen Union Leitcharakter haben kann.

II.3 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Am 04.-05.2.2006 fand in Gülzow ein zweites Fachgespräch zur Diskussion des aktuellen Stands der Entwicklungen zum Thema „Trockenfermentation“ statt. Die Gesprächsrunde setzte sich aus folgenden Teilnehmern zusammen:

Herr Prof. Dr.-Ing Weiland
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)
Institut für Technologie und Biosystemtechnik, Braunschweig

Herr Prof. Dr.agr.habil. Dipl.-Ing. Linke
Leibniz – Institut für Agrartechnik Bornim e.V. (ATB)
Abteilung Bioverfahrenstechnik, Potsdam

Herr Prof. Dr.-Ing. Kraft
Bauhaus-Universität Weimar, Weimar

Herr Dr.-Ing. Scholwin
Institut für Energetik und Umwelt gGmbH (IE), Leipzig

Frau Kusch
Universität Hohenheim, Landesanstalt für Landwirtschaftliches Maschinen und
Bauwesen, Stuttgart-Plieningen

Herr Prof. Dr. Vollmer
BTN Biotechnologie Nordhausen GmbH, Nordhausen

Herr Dr. Gronauer
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik, Bauwesen und
Umwelttechnik, Freising

Herr Prof. Dr. Sprenger
Herr Dr.-Ing. Matzmohr
Universität Rostock, Lehrstuhl für Verfahrenstechnik und Biotechnologie, Rostock

Herr Dr. Dreher
BMU, Referat Z III 2, Berlin

Herr Ott
Fachverband Biogas e.V., Freising

Herr Wagner
C.A.R.M.E.N. e.V., Straubing

Herr OAR Welsch
BMELV, Referat 523, Bonn

Herr Dr.-Ing. Schütte, Frau Dr. Schüsseler, Herr Fuchs FNR, Herr Paterson FNR,
Gülzow

Die Fortschritte und Ergebnisse der einzelnen Projekte sowie die Diskussionsinhalte dieses Expertengesprächs wurden detailliert in der Schriftenreihe Gülzower Fachgespräche unter dem Titel: Trockenfermentation – Stand der Entwicklungen und weiterer Forschung, Band 24 (2006), veröffentlicht.

II.4 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

Erfolgte Publikation:

Linke B., Heiermann, M.; Mumme, J. (2006): Ergebnisse aus den wissenschaftlichen Begleitungen der Pilotanlagen Pirow und Clausnitz, In: Gülzower Fachgespräche: Trockenfermentation – Stand der Entwicklungen und weiterer F&E Bedarf (Band 24), Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow, 14. und 15.02.2006, S. 112-130.

Geplante Publikation:

Für das Heft 1/2007 in der Fachzeitschrift „Landtechnik“ ist ein Beitrag „Biogas aus NawaRos durch Trockenfermentation“ in Ko-Autorenschaft mit den Kooperationspartnern geplant.

II.5 Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer

Die TNS-Anlage ist ein Leitprojekt der Energie Technologie Initiative des Landes Brandenburg. Vor Ort in Pirow wurde ein Konsultationspunkt eingerichtet, damit sich Interessenten bzw. potenzielle Anlagenbetreiber informieren können.

Seitens des ATB ist geplant, die mittels dieses Vorhabens erarbeiteten Ergebnisse in der Herbst/Winter-Veranstaltung 2006 den Akteuren des Arbeitskreis Biogas der ETI im Rahmen eines Vortrags vorzustellen. Weiterhin werden die Ergebnisse gezielt in der Öffentlichkeitsarbeit eingesetzt.

II.6 Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung

Ausgabenplanung

Die Ausgabenplanung wurde gemäß dem im Projektantrag zugrunde liegenden Kostenplan bzw. gemäß dem Zuwendungsbescheid eingehalten

Zeitplanung

Per Zuwendungsbescheid vom 20.08.2004 wurde das Projekt für einen Zeitraum von 12 Monaten (01.10.2004 – 30.09.2005) bewilligt. Wie im Zwischenbericht vom 11.04.2005 bereits dargelegt, kam es, bedingt durch lange Lieferzeiten für die Gasmessgeräte und einem Fehler in der neuen Gerätegeneration, zu einer zeitlichen Verzögerung. Dadurch konnte mit dem eigentlichen Messprogramm gemäß des Versuchsplans erst ca. 3 Monate später begonnen werden. Deshalb wurde seitens des ATB ein Antrag auf kostenneutrale Verlängerung zum routinemäßigem

Abarbeiten des Arbeitsplans und einem Abschluss des Messprogramms zum 31.12.2005 gestellt.

Literatur

- [1] Thome-Kozmiensky, K.J. (1995): Biologische Abfallbehandlung, Berlin: EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik.
- [2] Bidlingmaier, W.; Müsken, J. (1997): Biotechnologische Verfahren zur Behandlung fester Abfallstoffe. In: Umweltbiotechnologie, Hrsg. von Johannes C.G. Ottow und Werner Bidlingmaier, Stuttgart; Jena; Lübeck; Ulm: G. Fischer.
- [3] Wellinger, A.; Edelmann, W. ; Favre, R.; Seiler, B.; Woschütz. D. (1984): Biogas-Handbuch, Grundlagen-Planung-Betrieb landwirtschaftlicher Anlagen: Verlag Wirz AG, Aarau.
- [4] Linke, B.; Miersch, S. und M. Gegner (2002): Trockenvergärung im Siloschlauch. In: Biogas – die universelle Energie von morgen. Tagungsband der 11. Jahrestagung des Fachverbandes Biogas e.V. in Borken (Hessen), S. 70-80.
- [5] Anonymus (2000): Machbarkeitsstudie „Regenerative Energieerzeugung auf Landwirtschaftsbetrieben durch die effiziente Nutzung nachwachsender Rohstoffe und biogener Reststoffe in einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft für Biomasse“, Fa. LOOCK CONSULTANTS, Ingenieurbüro für Umwelttechnik, Hamburg.
- [6] Loock, R. (2002): Von der Trockenfermentation zur Trocken-Nass-Simultan-Vergärung von Biomasse. In: Biogas – die universelle Energie von morgen. Tagungsband der 11. Jahrestagung des Fachverbandes Biogas e.V. in Borken (Hessen), S. 64-74.
- [7] Linke, B.; Mähnert, P. (2005): Biogasgewinnung aus Rindergülle und nachwachsenden Rohstoffen. Agrartechnische Forschung 11 (5) S. 125-132.

Anhang

Abb. A1: Anlagenkonzeption

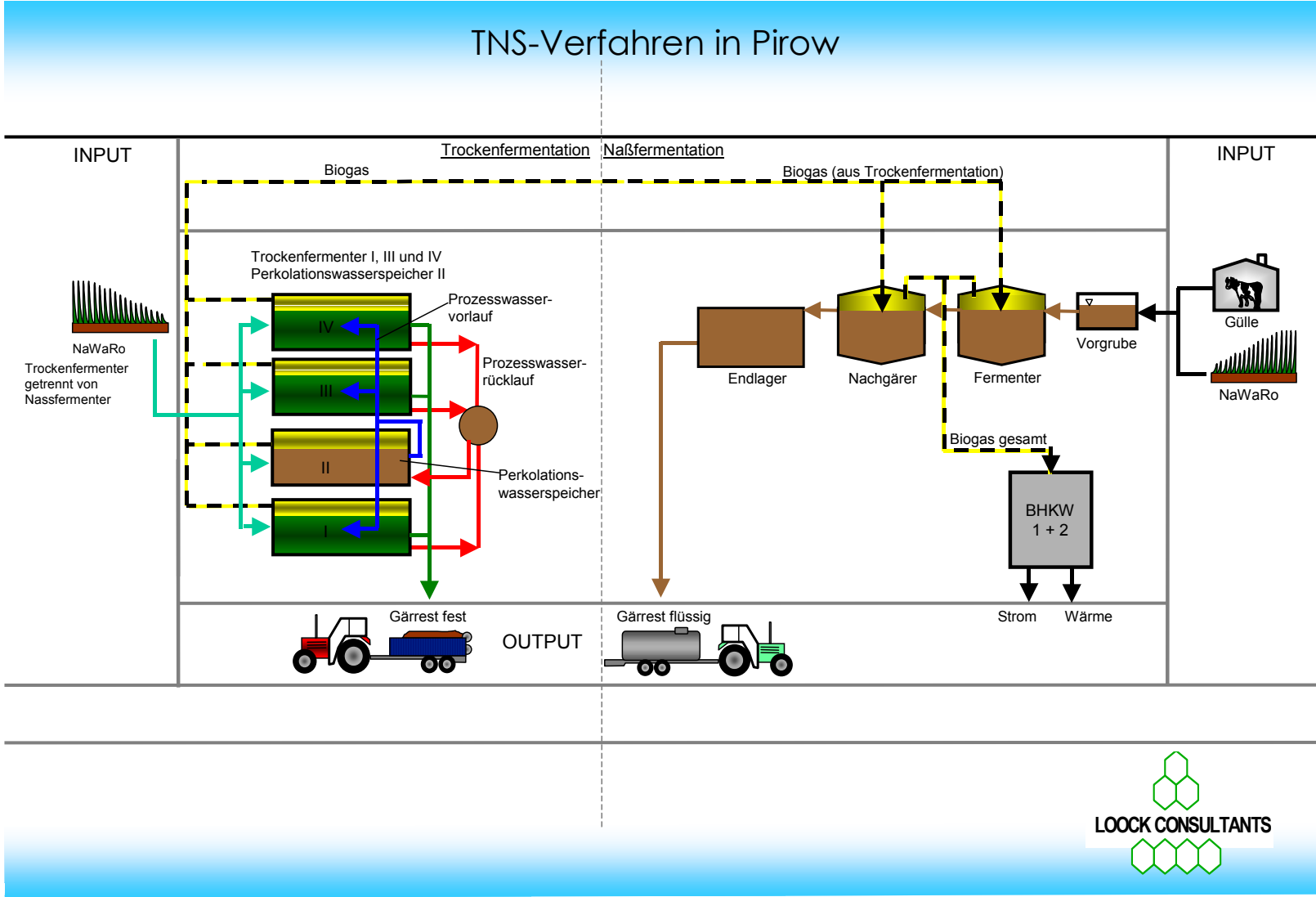
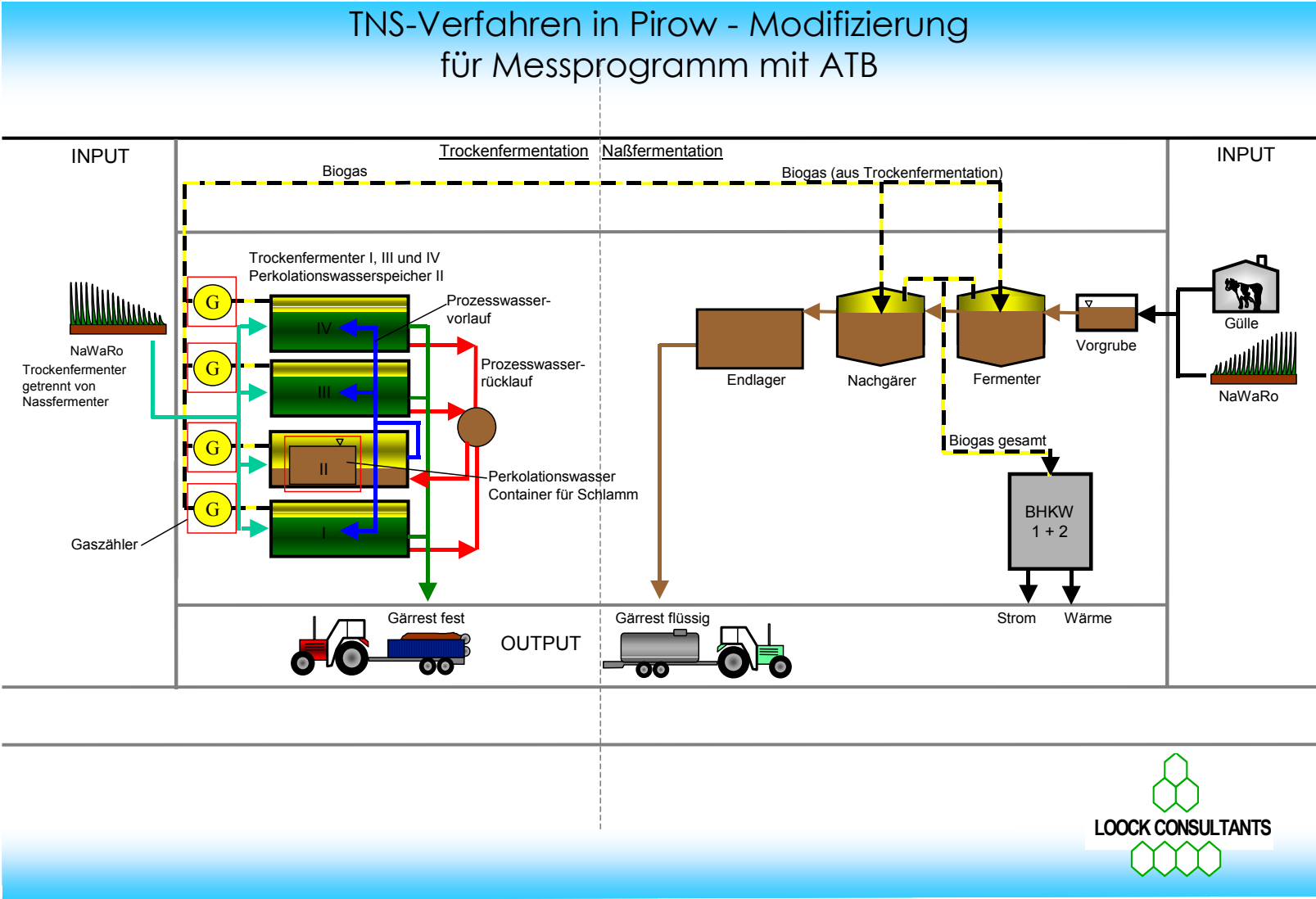


Abb. A2: modifizierte Anlage



Tab. A1a: Proben Projektbeginn - Analysen Versuchsbeginn Gärtest

Bezeichnung		Perkolat Nachgärung	Gärrest halbflecht	Maissilage	Maissilage
Probenahme		2004	2004	2004	2004
pH-Wert		8,11	8,51	3,73	3,73
Leitfähigkeit	mS/cm	21,86	21,20	18,00	18,00
TS₁₀₅	% FM	3,44	17,08	31,71	31,71
oTS	% TS	66,04	80,60	94,69	94,69
oTS	% FM	2,27	13,77	30,03	30,03
Säuren_{klassisch}	g/kg FM	6,36	1,11	7,91	7,91
oS	% FM	2,91	13,88	30,82	30,82
Biogas	N l/kg oS	201	86	1049	1089
Methan im Mittel	Vol.%	62	48	51	50

oS = oTS+ Säuren_{klassisch}

Tab. A1b: Proben Projektbeginn - Analysen Versuchsende Gärtest

Bezeichnung		Perkolat Nachgärung	Gärrest halbflecht	Maissilage	Maissilage
Probenahme		2004	2004	2004	2004
pH-Wert		8,06	7,82	7,79	7,72
Leitfähigkeit	mS/cm	22,4	23,2	23,4	23,8
Säuren_{klassisch}	g/kg FM	1,17	1,53	2,61	2,49

Tab. A2: Probentransfer 09.02.05

Bezeichnung		Perkolat Nachgärung	Gärrest halbflecht	Maissilage 2004	Putenmist
Probenahme		09.02.05	09.02.05	09.02.05	09.02.05
pH-Wert		7,17	7,84	4,09	8,49
Leitfähigkeit	mS/cm	24,1	15,0	18,1	43,0
TS₁₀₅	% FM	2,16	15,9	30,6	40,3
oTS	% TS	57,6	85,3	95,6	82,8
oTS	% FM	1,24	13,6	29,2	33,3
N_{gesamt}	g/kg FM	3,01	3,45	3,28	11,08
NH₄-N	g/kg FM	2,18	1,35	0,54	2,70
Rohfett	g/kg FM	nb	nb	10,1	nb
Rohfaser	% TS	nb	nb	22,4	nb
Milchsäure	g/kg FM	nb	nb	16,3	nb
Säuren^{klassisch}	g/kg FM	11,4	4,87	nb	0,91
Gesamtsäuren¹⁾	g/kg FM	11,7	nb	4,38	nb
Essigsäure	g/kg FM	7,27	nb	4,24	nb
Propionsäure	g/kg FM	2,31	nb	0,12	nb
Iso-Buttersäure	g/kg FM	0,52	nb	nn	nb
Buttersäure	g/kg FM	1,98	nb	0,07	nb
Iso-Valeriansäure	g/kg FM	0,53	nb	nn	nb
Valeriansäure	g/kg FM	0,46	nb	nn	nb
Capronsäure	g/kg FM	0,47	nb	nn	nb

¹⁾ als Essigsäure; nb = nicht bestimmt; nn = nicht nachweisbar

Anhang Tab. A3a: Probentransfer 17.03.05

Bezeichnung		TF3 Mischung	TF3 Gärrest halbflecht
Probenahme		09.03.05	09.03.05
pH-Wert		6,04	8,81
Leitfähigkeit	mS/cm	2,33	2,24
TS₁₀₅	% FM	23,80	16,61
oTS	% TS	82,67	68,19
oTS	% FM	19,68	11,33
Ngesamt	g/kg FM	6,50	4,98
NH4-N	g/kg FM	1,35	2,58
Säuren <small>klassisch</small>	g/kg FM	8,69	2,56
oS	% FM	19,76	11,35
Biogas	N l/kg FM		
nach 10 d		-	-
nach 20 d		18,8	15,2
nach 40 d		38,2	20,5
Methan	Vol. %		
nach 10 d		-	-
nach 20 d		57	61
nach 40 d		58	60

oS = oTS+ Säuren klassisch

Anhang Tab. A3b: Probentransfer 17.03.05

Bezeichnung		TF4 Mischung	Perkolat Nachgärung	Nassvergärung
Probenahme		17.03.05	17.03.05	17.03.05
pH-Wert		5,88	8,10	8,16
Leitfähigkeit	mS/cm	2,25	24,27	21,36
TS₁₀₅	% FM	22,54	2,02	8,42
oTS	% TS	84,70	55,37	61,58
oTS	% FM	19,09	1,12	5,19
Ngesamt	g/kg FM	5,38	3,16	6,11
NH4-N	g/kg FM	1,47	2,37	3,53
Säuren <small>klassisch</small>	g/kg FM	6,85	3,29	1,04
oS	% FM	19,16	1,15	5,20
Biogas	N l/kg FM		-	-
nach 10 d		-		
nach 20 d		16,5		
nach 40 d		34,4		
Methan	Vol. %		-	-
nach 10 d		-		
nach 20 d		55		
nach 40 d		55		

oS = oTS+ Säuren klassisch

Anhang Tab. A4: Probentransfer 30.03.05

Bezeichnung		F2 Perkolatspeicher	TF1 Gärrest halbflecht	TF1 Mischung
Probenahme		30.03.05	30.03.05	30.03.05
pH-Wert		7,72	8,80	7,48
Leitfähigkeit	mS/cm	3,90	1,84	2,63
TS₁₀₅	% FM	2,37	18,57	32,48
oTS	% TS	59,69	69,93	69,87
oTS	% FM	1,41	12,99	22,69
Ngesamt	g/kg FM	3,19	5,72	8,50
NH4-N	g/kg FM	2,26	2,53	2,93
Säuren_{klassisch}	g/kg FM	5,35	1,27	7,58
oS	% FM	1,47	13,00	22,77
Biogas	N l/kg FM		-	
nach 10 d		4,4		5,5
nach 20 d		6,0		9,0
nach 40 d		8,3		30,0
Methan	Vol. %		-	
nach 10 d		37		36
nach 20 d		50		55
nach 40 d		50		66

oS = oTS+ Säuren_{klassisch}

Anhang Tab. A5: Probentransfer 28.04.05

Bezeichnung		Perkolat Nachgärung	TF3 Gärrest halbflecht	Maissilage	Putenmist
Probenahme		28.04.05	28.04.05		
pH-Wert		8,5	8,6	3,53	7,66
Leitfähigkeit	mS/cm	32,4	2,8	1,66	8,97
TS₁₀₅	% FM	3,52	17,34	30,37	46,31
oTS	% TS	62,9	68,78	95,12	87,49
oTS	% FM	2,21	11,93	28,89	40,52
Ngesamt	g/kg FM	4,71	5,73	5,09	17,41
NH4-N	g/kg FM	3,49	2,95	0,35	9,96
Säuren_{klassisch}	g/kg FM	6,52	2,94	3,77	19,72
oS	% FM	2,28	11,96	28,93	40,71
Biogas	N l/kg FM			-	-
nach 10 d		5,2	-		
nach 20 d		5,7	13,2		
nach 40 d		-	18,1		
Methan				-	-
nach 10 d	Vol. %	60	-		
nach 20 d		72	56		
nach 40 d		-	56		

oS = oTS+ Säuren_{klassisch}

Anhang Tab. A6: Probentransfer 17.05.05

Bezeichnung		TF4 Gärrest halbflecht	TF1 Gärrest halbflecht	F2 Perkolatspeicher	Perkolat Nachgärung
Probenahme		04.05.05	11.05.05	17.05.05r	17.05.05
pH-Wert		8,9	8,7	8,06	8,37
Leitfähigkeit	mS/cm	1,6	2,9	34,1	33,50
TS₁₀₅	% FM	16,09	27,04	4,33	2,97
oTS	% TS	69,3	77,9	66,27	54,87
oTS	% FM	11,14	21,07	2,87	1,63
Ngesamt	g/kg FM	5,42	5,41	5,52	4,70
NH4-N	g/kg FM	0,75	2,89	3,40	3,58
Säuren <small>klassisch</small>	g/kg FM	7,51	7,06	9,64	2,51
oS	% FM	11,23	21,13	2,97	1,65
Biogas	N l/kg FM				-
nach 10 d		-	-	8,3	
nach 20 d		14,3	17,1	-	
nach 40 d		-	26,6	-	
Methan	Vol. %				-
nach 10 d		-	-	72	
nach 20 d		48	60	-	
nach 40 d		-	62	-	

oS = oTS+ Säuren klassisch

Anhang Tab. A7: Probentransfer 26.05.05

Bezeichnung		TF3 Gärrest halbflecht	TF4 Gärrest halbflecht	Perkolat Nachgärung
Probenahme		18.05.05	25.05.05	26.05.05
pH-Wert		9,0	9,1	8,11
Leitfähigkeit	mS/cm	2,1	2,2	35,7
TS₁₀₅	% FM	20,21	19,31	4,48
oTS	% TS	77,8	76,9	61,81
oTS	% FM	15,73	14,85	2,77
Ngesamt	g/kg FM	6,83	5,96	5,83
NH₄-N	g/kg FM	2,09	3,20	3,67
Säuren <small>klassisch</small>	g/kg FM	1,69	1,62	8,64
oS	% FM	15,75	14,87	2,86
Biogas	N l/kg FM			-
nach 10 d		-		
nach 20 d		13,0	16,6	
nach 40 d		32,4	29,2	
Methan	Vol. %			-
nach 10 d		-		
nach 20 d		53	59	
nach 40 d		53	60	

oS = oTS+ Säuren klassisch

Anhang Tab. A8: Probentransfer 09.06.05

Bezeichnung		TF1 Gärrest halbflecht	TF3 Gärrest halbflecht	Perkolat Nachgärung
Probenahme		01.06.05	08.06.05	08.06.05
pH-Wert		9,14	8,83	8,26
Leitfähigkeit	mS/cm	1,38	3,23	38,3
TS₁₀₅	% FM	26,23	20,35	4,65
oTS	% TS	79,59	73,68	61,25
oTS	% FM	20,88	14,99	2,85
Ngesamt	g/kg FM	9,09	6,27	6,43
NH4-N	g/kg FM	1,16	3,41	4,05
Säuren_{klassisch}	g/kg FM	0,79	4,00	7,59
oS	% FM	20,88	15,03	2,92
Biogas	N l/kg FM			-
nach 10 d		-		
nach 20 d		9,7	9,9	
nach 40 d		20,5	21,5	
Methan	Vol. %			-
nach 10 d		-		
nach 20 d		52	48	
nach 40 d		58	59	

oS = oTS+ Säuren_{klassisch}

Anhang Tab. A9: Probentransfer 23.06.05

Bezeichnung		TF4 Gärrest halbflecht	TF1 Gärrest halbflecht	Perkolat Nachgärung
Probenahme		15.06.05	21.06.05	23.06.05
pH-Wert		8,73	8,65	8,38
Leitfähigkeit	mS/cm	2,66	3,61	14,35
TS₁₀₅	% FM	22,50	16,98	4,94
oTS	% TS	66,59	79,46	61,25
oTS	% FM	14,98	13,49	3,03
Ngesamt	g/kg FM	6,82	5,65	6,48
NH₄-N	g/kg FM	1,64	4,10	4,48
Säuren_{klassisch}	g/kg FM	3,04	6,28	6,62
oS	% FM	15,01	13,56	3,09
Biogas	N l/kg FM			
Methan im Mittel	Vol. %		Keine Gärtests	

oS = oTS+ Säuren_{klassisch}

Anhang Tab. A10: Probentransfer 28.07.05

Bezeichnung		TF3 Gärrest halbflecht	TF4 Gärrest halbflecht	Perkolat Nachgärung
Probenahme		25.07.05	25.07.05	
pH-Wert		9,04	9,07	Keine Probe
Leitfähigkeit	mS/cm	1,83	2,18	Pumpendefekt
TS₁₀₅	% FM	18,33	21,10	
oTS	% TS	77,58	65,42	
oTS	% FM	14,22	13,80	
Ngesamt	g/kg FM	5,86	7,41	
NH₄-N	g/kg FM	1,96	1,49	
Säuren <small>klassisch</small>	g/kg FM	1,71	1,48	
oS	% FM	14,24	13,82	
Biogas	N l/kg FM			
nach 10 d		-	-	
nach 20 d		14,4	10,0	
nach 40 d		31,0	15,7	
Methan	Vol. %			
nach 10 d		-	-	
nach 20 d		54	59	
nach 40 d		55	51	

oS = oTS+ Säuren klassisch

Anhang Tab. A11: Probentransfer 08.09.05

Bezeichnung		TF4 Mischung	TF4 Gärrest halbflecht	Maissilage	Perkolat Nachgärung
Probenahme		08.09.05	08.09.05	08.09.05	08.09.05
pH-Wert		7,39	9,20	3,54	8,07
Leitfähigkeit	mS/cm	2,67	2,35	2,01	31,8
TS₁₀₅	% FM	27,29	24,30	27,80	3,85
oTS	% TS	76,76	69,08	95,29	57,06
oTS	% FM	20,95	16,79	26,49	2,20
Ngesamt	g/kg FM	6,66	6,80	5,29	4,49
NH₄-N	g/kg FM	1,63	3,63	3,80	2,93
Säuren <small>klassisch</small>	g/kg FM	4,09	3,30	12,53	5,71
oS	% FM	20,99	16,82	26,62	2,25
Biogas	N l/kg FM	Keine			
Methan im Mittel	Vol. %	Gärtests			

oS = oTS+ Säuren klassisch

Anhang Tab. A12: Bilanz der Eingangs- und Ausgangsstoffe

Datum	TF	Entleerung	Befüllung			Gesamt
		t	Maissilage t	Gärrest t	Putenmist t	
30.03.2005						
31.03.2005						
01.04.2005						
02.04.2005						
03.04.2005						
04.04.2005						
05.04.2005		START	4 Zyklen Maisilage, Putenmist, Gärrest			
06.04.2005						
07.04.2005	3	61	38	16	13	67
08.04.2005						
09.04.2005						
10.04.2005						
11.04.2005						
12.04.2005						
13.04.2005	4	54	38	12	11	61
14.04.2005						
15.04.2005						
16.04.2005						
17.04.2005						
18.04.2005						
19.04.2005						
20.04.2005						
21.04.2005	1	62,8	40	16	14	70
22.04.2005						
23.04.2005						
24.04.2005						
25.04.2005						
26.04.2005						
27.04.2005	3	53,5	44	13	8	65
28.04.2005						
29.04.2005						
30.04.2005						
01.05.2005						
02.05.2005						
03.05.2005						
04.05.2005	4	52,5	40	18	8	66

Fortsetzung Anhang Tab. A12: Bilanz der Eingangs- und Ausgangsstoffe

Datum	TF	Entleerung	Befüllung			Gesamt
		t	Maissilage t	Gärrest t	Putenmist t	
05.05.2005						
06.05.2005						
07.05.2005						
08.05.2005						
09.05.2005						
10.05.2005						
11.05.2005		55				
12.05.2005						
13.05.2005	1		40	18	8,5	66,5
14.05.2005						
15.05.2005						
16.05.2005						
17.05.2005						
18.05.2005	3	52	40	18,5	9	67,5
19.05.2005						
20.05.2005						
21.05.2005						
22.05.2005						
23.05.2005						
24.05.2005						
25.05.2005	4	51,5	40	17	8,5	65,5
26.05.2005						
27.05.2005						
28.05.2005						
29.05.2005						
30.05.2005						
31.05.2005						
01.06.2005	1	59	39	18	9	66
02.06.2005						
03.06.2005						
04.06.2005						
05.06.2005						
06.06.2005						
07.06.2005						
08.06.2005	3	59	40,5	18	9	67,5
09.06.2005						

Fortsetzung Anhang Tab. A12: Bilanz der Eingangs- und Ausgangsstoffe

Datum	TF	Entleerung t	Befüllung			Gesamt t
			Maissilage t	Gärrest t	Putenmist t	
10.06.2005						
11.06.2005						
12.06.2005						
13.06.2005						
14.06.2005						
15.06.2005	4	63	41	18,5	9	68,5
16.06.2005						
17.06.2005						
18.06.2005						
19.06.2005						
20.06.2005						
21.06.2005	1	59	leer			
22.06.2005						
23.06.2005						
24.06.2005						
25.06.2005						
26.06.2005						
27.06.2005						
28.06.2005						
29.06.2005	3	62	20	44	5	69
30.06.2005						
01.07.2005						
02.07.2005						
03.07.2005						
04.07.2005						
05.07.2005						
06.07.2005	4	62	21	44	5	70
07.07.2005						
08.07.2005						
09.07.2005						
10.07.2005						
11.07.2005						
12.07.2005						
13.07.2005	1	leer				
14.07.2005						
15.07.2005						

Fortsetzung Anhang Tab. A12: Bilanz der Eingangs- und Ausgangsstoffe

Datum	TF	Entleerung t	Befüllung			Gesamt t
			Maissilage t	Gärrest t	Putenmist t	
16.07.2005						
17.07.2005						
18.07.2005						
19.07.2005						
20.07.2005						
21.07.2005						
22.07.2005						
23.07.2005						
24.07.2005						
25.07.2005	3+4	45,5+52,5				
26.07.2005						
27.07.2005	4		leer			
28.07.2005						
29.07.2005						
30.07.2005						
31.07.2005						
01.08.2005						
02.08.2005						
03.08.2005	4	-	25	8,5	28	61,5
04.08.2005						
05.08.2005						
06.08.2005						
07.08.2005						
08.08.2005						
09.08.2005	1	-	5	45	15	65
10.08.2005						
11.08.2005						
12.08.2005						
13.08.2005						
14.08.2005						
15.08.2005						
16.08.2005			Zukauf Maissilage			
17.08.2005	3	-	39	16	8	63
18.08.2005			62	25	13	
19.08.2005						
20.08.2005						

Fortsetzung Anhang Tab. A12: Bilanz der Eingangs- und Ausgangsstoffe

Datum	TF	Entleerung	Befüllung			Gesamt
		t	Maissilage t	Gärrest t	Putenmist t	
21.08.2005						
22.08.2005						
23.08.2005						
24.08.2005						
25.08.2005						
26.08.2005						
27.08.2005						
28.08.2005						
29.08.2005		START	Zyklen Maissilage, Gärrest			
30.08.2005						
31.08.2005	1	57,7	40	23	0	63
01.09.2005						
02.09.2005						
03.09.2005						
04.09.2005						
05.09.2005						
06.09.2005						
07.09.2005	4	55,5	45	20	0	65
08.09.2005						
09.09.2005						
10.09.2005						
11.09.2005						
12.09.2005						
13.09.2005						
14.09.2005	3	56,5	45	20	0	65
15.09.2005						
16.09.2005						
17.09.2005						
18.09.2005						
19.09.2005						
20.09.2005						
21.09.2005						
22.09.2005						
23.09.2005						
24.09.2005						
25.09.2005						

Fortsetzung Anhang Tab. A12: Bilanz de Eingangs- und Ausgangsstoffe

Datum	TF	Entleerung t	Befüllung			Gesamt t
			Maissilage t	Gärrest t	Putenmist t	
26.09.2005						
27.09.2005			Grünmais			
28.09.2005	1	47	41	24	0	65
29.09.2005						
30.09.2005						
01.10.2005						
02.10.2005						
03.10.2005						
04.10.2005						
05.10.2005						
06.10.2005	4	42	40	22	0	62
07.10.2005						
08.10.2005						
09.10.2005						
10.10.2005						
11.10.2005						
12.10.2005						
13.10.2005						
14.10.2005						
15.10.2005						
16.10.2005						
			Silomais : Grünmais			
17.10.2005			1:1			
18.10.2005	1	54	43	22	0	65
19.10.2005						
20.10.2005						
21.10.2005						
22.10.2005						
23.10.2005						
24.10.2005						
25.10.2005						
26.10.2005	3	k.A.	44,5	21	0	65,5
27.10.2005						
28.10.2005						
29.10.2005						
30.10.2005						
31.10.2005						

Fortsetzung Anhang Tab. A12: Bilanz der Eingangs- und Ausgangsstoffe

Datum	TF	Entleerung t	Befüllung			Gesamt t
			Maissilage t	Gärrest t	Putenmist t	
01.11.2005						
02.11.2005	4	48	45	22	0	67
03.11.2005						
04.11.2005						
05.11.2005						
06.11.2005						
07.11.2005						
08.11.2005						
09.11.2005	1	k.A.	46	21	0	67
10.11.2005						
11.11.2005						
12.11.2005						
13.11.2005						
14.11.2005						
15.11.2005						
16.11.2005	3	56,5	47	23,5	0	70,5
17.11.2005						
18.11.2005						
19.11.2005						
20.11.2005						
21.11.2005						
22.11.2005						
23.11.2005	4	60	50	28	0	78
24.11.2005						
25.11.2005						
26.11.2005						
27.11.2005						
28.11.2005						
29.11.2005						
30.11.2005		Abbruch Dokumentation				

k.A. = keine Angaben