# Machbarkeitsuntersuchung zur Monovergärung

## von Grassilagen schadstoffkontaminierter Standorte

## am Beispiel der eingesetzten Biomasse von Grünlandflächen aus dem Deichvorland der Elbe

Landwirtschaftskammer Niedersachsen

## Impressum


### Herausgeber

Landwirtschaftskammer Niedersachsen
Bezirksstelle Uelzen
Fachgruppe „Nachhaltige Landnutzung und Ländliche Entwicklung“
Wilhelm-Seedorf-Straße 3
29525 Uelzen

### Redaktion

Hans-Jürgen Heuer, Bernhard Ende, Franz-Josef Flögel

### Auftraggeber

Niedersächsisches Ministerium für den ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz


### Nutzung von Untersuchungsdaten aus dem Projekt SAWA

*– SAWA makes European water management actions work locally –*

Part-Financed by the European Regional Development Fund

The Interreg IVB North Sea Region Programme

Uelzen, den 27.05.2011

# Kurzfassung

Seit dem Hochwasser im Sommer 2002 ist bekannt, dass die Böden der Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe eine hohe Belastung an Dioxinen und Schwermetallen aufweisen. Trotzt der Einhaltung von speziellen fachlichen Vorgaben zur Bewirtschaftung der Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe kommt es immer wieder zu einer Höchstwertüberschreitung in Futter- und Lebensmitteln. Dies kann gravierende Auswirkungen für die Existenz des landwirtschaftlichen Betriebes haben.

Um den landwirtschaftlichen Betrieben bei der Nutzung des Grünlandes im Deichvorland eine Alternative zur Lebensmittelproduktion unterbreiten zu können, wurde eine Machbarkeitsuntersuchung zur Monovergärung von Grassilagen schadstoffkontaminierter Standorte am Beispiel der eingesetzten Biomasse von Grünlandflächen aus dem Deichvorland der Elbe durchgeführt.

In der Studie war zu beurteilen und zu prüfen, ob die Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe im Sinne einer innerbetrieblichen Kreislaufbewirtschaftung bei einer energetischen Verwertung der Biomasse wirtschaftlich genutzt werden können. Aufgrund naturschutzfachlicher Vorgaben und einer hohen Konzentration an Schadstoffen auf dem Grünland im Deichvorland der Elbe, erfolgte die Fermentation der Biomasse nach einem Monovergärungsverfahren.

Die verfahrenstechnische Prüfung wurde in einer Praxisbiogasanlage vor Ort durchgeführt. Die Fermentation der Biomasse wurde in der Biogasanlage in sieben baugleichen Fermentern nach dem System der Trockenfermentation (Bioferm) im Batch-Verfahren vorgenommen. Für die Fermentation von ausschließlich nur Grassilagen aus dem Deichvorland wurde ein Fermenter für eineinhalb Jahre aus dem Regelbetrieb herausgelöst.

Bei der Beurteilung, wie sich naturschutzfachliche Vorgaben bei der Bewirtschaftung von Grünlandflächen auf die erzielbare Biogasmenge auswirken, ergibt sich folgendes Ergebnis: Das Leistungsvermögen pro Hektar an Grünmasse-, Biogas- und Methanertrag ist bei der Grassilage aus dem Deichvorland der Elbe im Vergleich zu einer intensiv geführten Grünlandfläche nur halb so hoch. Die Grassilagen der extensiv bewirtschafteten Grünlandflächen aus dem Deichvorland haben im Vergleich zu einer mittleren Grassilage nach KTBL 5% weniger Biogas und 14% weniger Methan an energetischer Leistung in $l_N$/kg oTM geliefert.

Das geringere Leistungsvermögen pro Hektar wird ursächlich durch naturschutzfachliche Vorgaben bei der Bewirtschaftung der Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe bewirkt. Die landwirtschaftlichen Betriebe erhalten für die Bewirtschaftungseinschränkung auf dem Grünland einen finanziellen Ausgleich.

Bei dem vierstufigen Abbau von Biomasse auf Basis der Monovergärung über die gesamte Projektlaufzeit trat keine so erhebliche Störung ein, dass die mikrobielle Verstoffwechselung inaktiv wurde. Der Praxisversuch zeigte jedoch, dass die Grassilagen auf Basis von standardisierten Qualitätsanforderungen bereitzustellen sind, um eine störungsfreie Fermentation zu erreichen.

Es konnte nicht nachgewiesen werden, ob hohe Schadstoffkonzentrationen in den Grassilagen einen Einfluss auf die Prozessbiologie hatten. Wenn es einen Einfluss gab, wurde dieser von den anderen Faktoren überlagert.

Die für die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlage angehaltene Leistungsgröße von 770 $m^3$ Biogasertrag pro Tag und Fermenter, wurde mit den eingesetzten Grassilagen im Mittel um 25,6% unterschritten.

Neben der heterogenen Qualität, die die Grassilagen aus dem Deichvorland aufwiesen, ist eine Ursache für den Minderertrag an Biogas auch darin zu sehen, dass lediglich 1,08 t oTM pro Tag für die mikrobielle Umsetzung zur Verfügung standen. Mit einem Mischsubstrat, wie es bei der Biogasanlage BBM zum Einsatz kommt, werden im Mittel 1,32 t organische Trockenmasse pro Tag und Fermenter zur Verfügung gestellt. Die Differenz zwischen eingesetzter Biomasse mit Mischsubstraten und der eingebrachten Biomasse auf Basis der Monovergärung mit Grassilagen beträgt 0,24 t oTM pro Tag oder auch 18,2%. Die fehlende Menge an organischem Inputmaterial konnte somit auch nicht zu Biogas umgesetzt werden.

Die geringere Einbringungsmenge an organischer Trockenmasse pro Tag ist damit zu begründen, dass die Grassilage im Vergleich zur Maissilage eine geringere Schüttdichte und beim Aufschichten im Fermenter ein größeres Volumen hat. Vor diesem Hintergrund und in Abhängigkeit vom TS-Gehalt, konnten deshalb zeitweise gerade mal 55% der erforderlichen Menge an organischer Biomasse in den Fermenter eingebracht werden.

Ein technischer und wirtschaftlicher Betrieb kann nach dem Monovergärungsverfahren erreicht werden, wenn die Fermenter um 30% vergrößert werden. Die höchste Effektivität ist bei einer Verbreiterung der Fermenter um 2 Meter gegeben. Dadurch wird erreicht, dass die erforderliche Menge an organischer Trockenmasse in den Fermenter eingebracht werden kann und eine größere Oberfläche beim organischen Umsetzungsprozess gegeben ist. Leichtabbaubare Kohlenhydrate und Zucker können sich dadurch in kürzerer Zeit umsetzen. Dies wirkt sich positiv auf die angestrebte Biogasquote aus und es wird sich zu Beginn der Biogasproduktion, wie bei einem Mischsubstrat mit Maissilage, eine Biogasquote in Höhe von 130 bis 150% ergeben. Im Mittel der Gärphase kann dadurch eine Biogasquote um die 100 bis 105% erreicht werden.

Bei einem verbreiterten Fermenter dürften sich die Herstellungskosten für den umbauten Raum nach einer Einschätzung des Biogasanlagenbetreibers um ca. 15% erhöhen. Zum Einsatz sollten bei einem verbreiterten Fermenter lediglich sehr kurz gehäckselte Grassilagen kommen.

Der wirtschaftliche Erfolg einer Biogasanlage ist ganz wesentlich von der Bereitstellung qualitativ hochwertiger Rohstoffe abhängig. Mit Maissilagen lässt sich der höchste Energieertrag pro Tonne organischer Trockenmasse erzielen. Grassilagen liefern in der Regel einen geringeren Energieertrag.

Dementsprechend muss nach einer Einschätzung durch den Biogasanlagenbetreiber bei Grassilagen gegenüber dem Auszahlungspreis für Maissilagen ein Abschlag in Höhe von ca.15 bis 20% vorgenommen werden. Die höheren Herstellungskosten für den Fermenterraum, die geringere Biogasausbeute bei Grassilagen von extensiv geführten Grünlandflächen und eine anspruchsvollere Logistik bei der Abnahme von Grassilagen aus dem Deichvorland gegenüber dem sonstigen Rohstofflieferraum, werden die Rohstoffbereitstellung in Höhe von ca. 5 bis 10% zusätzlich belasten. In der Gesamtbetrachtung ergibt sich so gegenüber dem Auszahlungspreis für Maissilagen, ein um 20 bis 30% geringer anzusetzender Auszahlungspreis.

<u>Für die Rohstoffbereitstellung sind folgende Qualitätsmerkmale vorzugeben:</u>

a) Es sind frühe und somit optimale Schnitttermine anzustreben, um Gräser mit einem geringen Rohfasergehalt (optimal 22 bis 25%) und mit einer hohen Energiedichte zu ernten. Optimal ist in dieser Hinsicht eine Beerntung der Grünlandflächen bereits Mitte bis Ende Mai.

b) Das Erntegut ist nach dem Schwaden von einem Häcksler aufzunehmen und auf eine Schnittlänge < 4 cm zu häckseln. Der Einsatz eines Ladewagens ist in dieser Hinsicht nicht geeignet.

c) Es ist ein Trockensubstanzgehalt in der Grassilage zwischen 30 bis 40% anzustreben.

d) Der Verschmutzungsgrad, gekennzeichnet durch den Rohaschegehalt, sollte 10% nicht überschreiten.

e) Nach dem Abdecken der Silagemiete, also dem Verschließen des Siliergutes, sollte vor dem erstmaligen Einsatz in einer Biogasanlage ein Zeitraum von 6 bis 9 Monaten vergangen sein, damit sich die entsprechenden Säuren in der Grassilage bilden konnten, wodurch der Gärprozess in der Biogasanlage begünstigt wird (Bischoff, M., 2010).

**Schadstoffe im Gärrest**

Im Rahmen des Projektes wurden bei der Fermentation ca. 60% der organischen Trockenmasse abgebaut. Dies wurde als Grundlage genommen, um einen Proportionalitätsfaktor zu ermitteln. Auf dieser Grundlage wurde die mittlere Schadstoffkonzentration im Gärrest anhand von Analysedaten der eingesetzten Grassilage abgeleitet. Der so ermittelte Proportionalitätsfaktor sollte jedoch lediglich als grobe Orientierungshilfe verwendet werden, da aufgrund der Bezugsmenge an Untersuchungsdaten keine allgemein verbindliche Aussage getroffen werden kann.

Für die Inhaltsstoffe Blei, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Arsen und die Dioxine ergibt sich ein Proportionalitätsfaktor von 2,75. Der Proportionalitätsfaktor für Zink beträgt 2,1 und für die Begleitstoffe Cadmium, Nickel und den dl-PCB 1,7. Herr Dr. Severin (LWK Niedersachsen) vertritt den fachlichen Standpunkt, dass eine Verwertung der Gärreste zum Zwecke der Düngung nur vorgenommen werden sollte, wenn neben der Einhaltung der zulässigen Höchstgehalte für Schwermetalle nach der Düngemittelverordnung, eine Dioxinkonzentration im Gärrest von 5 ng TEQ/kg TM bei der Anwendung auf dem Grünland oder im Ackerfutterbau nicht überschritten wird. Auf Basis des ermittelten Proportionalitätsfaktors konnten 80% der eingesetzten Grassilagen diese Anforderung erfüllen. Bei einer strikten Anwendung der guten fachlichen Praxis bei der Futterbergung wird angenommen, dass ca. 90 bis 95% der im Deichvorland geernteten Grassilagen die Anforderungen erfüllen werden.

**Rückführung von Gärresten:**

Der Feldversuch einer Rückführung von Gärresten auf das Grünland im Deichvorland der Elbe zeigt auf, dass die technische Umsetzung sehr anspruchsvoll ist und das Flächenangebot aufgrund von naturschutzfachlichen Vorgaben nicht ausreicht. Bei einer energetischen Verwertung von Grassilagen aus dem Deichvorland, dürfen die eingesetzten Grassilagen nur eine geringe Belastung mit Schadstoffen aufweisen, damit eine Verwendung der Gärreste im Deichhinterland erfolgen kann.

**Zusammenfassung und Ausblick:**

Mit dem Projekt konnte aufgezeigt werden, dass eine Biogasanlage nach dem Batch-Verfahren im Monovergärungsverfahren mit den eingesetzten Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe technisch und auch wirtschaftlich betrieben werden kann. Der wirtschaftliche, wie auch der technische Erfolg der Biogasproduktion nach dem Monovergärungsverfahren hängen ganz wesentlich davon ab, dass der Rohstoff bei optimalen Erntebedingungen durch den Einsatz eines Häckslers mit doppelten Messersatz hochwertig aufbereitet wird.

Um die Biogasanlage nach dem Monovergärungsverfahren wirtschaftlich betreiben zu können, muss der Biogasreaktor um ca. 30% vergrößert werden. Bei einer Verbreiterung der Fermenter werden sich die Baukosten um ca. 15% für den umbauten Raum erhöhen.

Die Rückführung der entnommenen Biomasse ist als Gärrest auf das Grünland im Deichvorland nur bedingt möglich und setzt eine aufwendige Aufbereitung mit einem Kompost-Umsetzer voraus. Ferner ist aufgrund von naturschutzfachlichen Vorgaben das Flächenan-

gebot für eine ordnungsgemäße Rückführung der im Deichvorland der Elbe entnommenen Biomasse zu gering.

Bei einer energetischen Verwertung der Biomasse aus dem Deichvorland sollte daher angestrebt werden, qualitativ hochwertige Grassilagen mit einem geringen Schadstoffgehalt zu produzieren. Dies ist die Voraussetzung, um die anfallenden Gärreste auch auf Ackerflächen im Binnendeichbereich dauerhaft einsetzen zu können.

Die Produktionskosten bei der Silageherstellung lassen sich weiter senken. Um dieses zu erreichen, sollten sich die kleineren Betriebseinheiten zu Bewirtschaftungsgemeinschaften zusammenschließen. Gleichzeitig sind die Verträge zum KoopNat zu harmonisieren. Dadurch können die arbeitswirtschaftlichen Betriebsabläufe zum Wohle aller teilnehmenden Betriebe auch ökonomisch verbessert werden,

Investoren werden für neue Biogasanlagen die erforderlichen finanziellen Mittel nur bereitstellen, wenn die Rahmenbedingungen stimmen. Das Projekt liefert hierzu viele wertvolle Hinweise, um derartige Biogasanlagen wirtschaftlich etablieren zu können. Für die Etablierung einer neuen Biogasanlage muss sich jedoch am vorgesehenen Standort auch ein Wärmekonzept verwirklichen lassen. Zudem muss von den Rohstofflieferanten über langfristige Verträge zugesichert werden, dass im Umkreis von zehn Kilometern zum vorgesehenen Standort der Biogasanlage die erforderliche Biomasse aus dem Deichvorland der Elbe bereitgestellt werden kann.

Für eine Investitionsentscheidung wird letztendlich auch ausschlaggebend sein, wie nach der Novellierung des EEGs der rechtliche und wirtschaftliche Rahmen ausgestaltet sein wird.

Um besondere Anreize für eine investive Umsetzung des vorgestellten Verfahrens zu geben, sollte geprüft werden, ob über öffentlich-rechtliche Geldinstitute und die Bereitstellung von verbilligten Krediten, der erforderliche Impuls für eine Investition in ein derartiges Biogasproduktionsverfahren erreicht werden kann.

Bei einem politischen und investiven Impuls zu Gunsten derartiger Biogasproduktionsverfahren, könnten dadurch nicht nur an der Elbe vermehrt Biogasanlagen entstehen, die den Rohstoff überwiegend aufgrund von naturschutzfachlichen Vorgaben oder sonstigen Einschränkungen von extensiv bewirtschafteten Flächen beziehen werden.

Gleichzeitig wäre dies ein Beitrag, um bisher nicht genutzte Biomassereserven einer energetischen Verwertung unter wirtschaftlichen Voraussetzungen zuzuführen.

Durch eine Verwertung der Biomasse aus dem Deichvorland der Elbe oder anderer niedersächsischer Flussauen, kann das Biogasproduktionsverfahren zudem einen bedeutenden Beitrag leisten, um eine Offenhaltung der Landschaft und weiterer naturschutzfachlicher Zielsetzungen positiv zu begleiten. Zugleich trägt eine nachhaltige Pflege der Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe oder anderer niedersächsischer Flussauen dazu bei, Sachwerte hinter dem Deich zu schützen und einen wesentlichen Beitrag im Sinne des Hochwasserschutzes zu leisten.

Für die touristisch ausgerichteten Betriebe entlang der Elbe oder anderer niedersächsischer Flussauen wird eine Kulisse erhalten, wodurch ein Besuch entlang entsprechender Flusslandschaften weiterhin lohnenswert ist. In der Bündelung aller Wirkungen wird dadurch ein mehrschichtiger volkswirtschaftlicher Nutzen erreicht.

# Inhaltsverzeichnis


**1 Einleitung** ..... **- 1 -**

**2 Zielsetzung und offene Fragen** ..... **- 2 -**

**3 Zeitlicher Rahmen und technische Voraussetzung** ..... **- 3 -**

**4 Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe** ..... **- 5 -**

**4.1 Naturschutzfachliche Rahmenbedingungen zur Bewirtschaftung der Grünlandflächen im Deichvorland** ..... **- 5 -**

**4.2 Folgen der eingeschränkten Nutzungsintensität für die Qualität des Aufwuchses der Grünlandflächen im Deichvorland** ..... **- 6 -**

4.2.1 Futterwert ..... **- 6 -**

4.2.2 Veränderte Leistungsmerkmale des Aufwuchses ..... **- 7 -**

4.2.3 Bewertung der Grünlandstandorte ..... **- 7 -**

4.2.4 Qualitäten der gelieferten Grassilagen ..... **- 11 -**

4.2.4.1 Energiegehalte ..... **- 11 -**

4.2.4.2 Mineralstoffgehalte ..... **- 12 -**

4.2.4.3 Sensorische Beurteilung ..... **- 14 -**

4.2.4.4 Schadstoffe in den Grassilagen ..... **- 16 -**

**5 Der vierstufige Abbau von Biomasse in einer Biogasanlage – Stand des Wissens** ..... **- 19 -**

**5.1 Enzymatische Hydrolyse / Verflüssigung (aus Polymere werden Monomere) .**..... **- 19 -**

**5.2 Acidogenese / Versäuerung (aus Monomere werden Fettsäuren, Alkohole) ..**..... **- 20 -**

**5.3 Acetogenese / Essigsäurebildung** ..... **- 20 -**

**5.4 Methanogenese** ..... **- 20 -**

**6 Die Monovergärung von Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe – Ergebnisse zum technischen Betrieb der Biogasanlage** ..... **- 21 -**

**6.1 Stoffwechselprozesse im Fermenter 7** ..... **- 22 -**

**6.2 Biogaserträge im Fermenter 7 und in den Fermentern 1 bis 6** ..... **- 24 -**

6.2.1 Produkteigenschaft von Grassilagen für die Biogasproduktion ..... **- 24 -**

6.2.2 Biogaserträge der eingesetzten Erträge ..... **- 26 -**

6.2.3 Vergleich der Biogaserträge und wirtschaftlicher Erfolg ..... **- 31 -**

**7 Untersuchung von Grassilagen und Gärresten zur Ermittlung des theoretischen Gasertrages nach Baserga und über ein Batchverfahren im Labor** ..... **- 36 -**

**7.1 Ergebnisse der Gasausbeute in den Grassilagen** ..... **- 38 -**

**7.2 Ergebnisse der Gasausbeute im Gärrest** ..... **- 41 -**

**8 Nähr- und Schadstoffe im Gärrest** ..... **- 42 -**

**8.1 Nährstoffe im Gärrest** ..... **- 42 -**

**8.2 Schadstoffe im Gärrest** ..... **- 44 -**

**8.3 Düngerechtlicher Rahmen** ..... **- 47 -**

**9 Feldversuch der Gärrestaufbringung auf einer Grünlandfläche im Deichvorland der Elbe** ..... **- 49 -**

**9.1 Rechtlicher Rahmen im Deichvorland der Elbe** ..... **- 49 -**

**9.2 Methodik** ..... **- 50 -**

**9.3 Bodenuntersuchung** ..... **- 51 -**

**9.4 Gärrestaufbringung auf der Versuchsfläche** ..... **- 53 -**

**9.5 Untersuchungsergebnisse des angewelkten Erntegutes** ..... **- 56 -**

**9.6 Abschlussdiskussion zum Feldversuch** ..... **- 58 -**

**10 Wirtschaftliche Betrachtung der Herstellung von Grassilagen und Rückführung der Gärreste auf das Grünland im Deichvorland der Elbe** ..... **- 60 -**

**10.1 Wirtschaftlicher Ertrag der Praxisbetriebe bei der Grünlandnutzung pro Hektar** ..... **- 60 -**

**10.2 Wirtschaftlicher Vergleich unterschiedlicher Nutzungen des Grünlandes im Deichvorland der Elbe** ..... **- 64 -**

**11 Anforderung an ein Flächenmanagement im Deichvorland der Elbe bei der Beerntung und der Rückführung von Gärresten unter Berücksichtigung von naturschutzfachlichen Vorgaben** ..... **- 67 -**

**11.1 Besondere naturschutzfachliche Anforderungen** ..... **- 67 -**

**11.2 Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe in einer Entfernung von maximal 10 Kilometern zur Biogasanlage Breese Marsch** ..... **- 68 -**

**12 Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick** ..... **- 70 -**

**13 Literaturverzeichnis** ..... **- 72 -**

**14 Anhang** ..... **- 74 -**

**14.1 Inhaltsverzeichnis zum Anhang ..** ..... **- 74 -**

**14.2 Berechnung der organischen Trockenmasse pro Tag auf Basis der eingesetzten Mischsubstrate der BBM** ..... **- 77 -**

**14.3 Auswertung der Biogaserträge des im Labor durchgeführten praktischen Gärversuches anhand des Kurvenverlaufes der Einmessung** ..... **- 78 -**

**14.4 Anhang – Abbildungen** ..... **- 79 -**

**14.5 Anhang – Tabellen** ..... **- 95 -**

**Merkblatt 2010** Bewirtschaftung von Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe in Niedersachsen, Fassung 03.03.2011 ..... **110 -**

## Abbildungsverzeichnis


**Abb. 1:** Biogasanlage Siemke in Breese in der Marsch (BBM) mit den sieben Fermentern ..... **- 4 -**

**Abb. 2:** Rohstoffbereitstellungsraum ..... **- 5 -**

**Abb. 3:** Flächen im Bereich von Wussegel, (Quelle: Landwirtschaftskammer Niedersachsen) ..... **- 8 -**

**Abb. 4:** Flächen im Bereich von Jasebeck und Wehningen, (Quelle: Landwirtschaftskammer Niedersachsen) ..... **- 9 -**

**Abb. 5:** Flächen im Bereich von Damnatz, (Quelle: Landwirtschaftskammer Niedersachsen) ..... **- 10 -**

**Abb. 6:** Flächen im Bereich von Grippel**,** (Quelle: Landwirtschaftskammer Niedersachsen) ..... **- 10 -**

**Abb. 7:** Der vierstufige Gärverlauf in einer Biogasanlage, [Quelle: modifiziert nach Besgen 2005, 28] ..... **- 19 -**

**Abb. 8:** Mittlere relative Tagesmenge an Biogas für ein Wechselintervall ..... **- 23 -**

**Abb. 9:** Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 32 Tage vom 18.06. bis 19.07.2010 (mikrobielle Störung) ..... **- 28 -**

**Abb. 10:** Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 27 Tage vom 20.07. bis 15.08.2010 (normaler Verlauf einer Gasproduktion) ..... **- 28 -**

**Abb. 11:** Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 24 Tage vom 23.11. bis 16.12.2009 (hohe Produktionsquote) ..... **- 29 -**

**Abb. 12:** Vergleich der relativen Biogasmenge des Fermenters 7 mit der mittleren Biogasmenge der Fermenter 1 bis 6 ..... **- 32 -**

**Abb. 13:** Tonnage an organischer Trockenmasse der eingesetzten Grassilage zum Wechseltermin ..... **- 34 -**

**Abb. 14:** Feldversuchsfläche gegenüber von Pretzetze im Deichvorland der Elbe .... **- 50 -**

**Abb. 15:** Gärrestbeschaffenheit ..... **- 51 -**

**Abb. 16:** Erhöhter Schadstoffeintrag nach einer Überschwemmung durch Auftrag von Bodenpartikeln auf dem Aufwuchs ..... **- 53 -**

**Abb. 17:** Gärrestaufbringung am 20.04.2010 auf der Feldversuchsfläche ..... **- 55 -**

**Abb. 18:** Wüchsigkeit der Gräser nach der Düngung mit einem Mineraldünger und der Düngung mit den Gärresten – 04.06.2010 ..... **- 56 -**

**Abb. 19:** Nicht zersetzte Gärreste im Aufwuchs und auf der Fläche nach der Ernte am 04. und 05.06.2010 ..... **- 56 -**

**Abb. 20** Kompostumsetzer – Menart ..... **- 60 -**

## Tabellenverzeichnis


**Tab. 1:** Ergebnisse zur Ermittlung des Futterwertes der Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe für Wiederkäuer oder für die Bewertung der Biogasausbeute ..... **- 12 -**

**Tab. 2:** Mineralstoffgehalte in den Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe …. **- 14 -**

**Tab. 3:** Sensorischer Befund der Bewertung zur Silagequalität …….. **- 15 -**

**Tab. 4:** Höchstgehalte an unerwünschten Stoffen in Grassilage nach FuttMV, Auszug ……. **- 17 -**

**Tab. 5:** Schadstoffe in den Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe …….. **- 18 -**

**Tab. 6:** Produkteigenschaften von Grassilage für Biogasanlagen, (Quelle: KTBL - Datensammlung Energiepflanzen, 2006, 272) …….. **- 25 -**

**Tab. 7:** Flächenbezogene Angaben zum Energieertrag von Grassilage für Biogasanlagen (Quelle: KTBL - Datensammlung Energiepflanzen, 2006, 273, modifiziert durch Heuer) …… **- 25 -**

**Tab. 8:** Summen und gemittelte Mengen – Grassilage, organische Trockenmasse, Biogasertrag, Methanertrag über die gesamte Projektlaufzeit (siehe auch Anhangtabelle 3-1 bis 3-4) …… **- 26 -**

**Tab. 9:** Summen und gemittelte Mengen – Grassilage, organische Trockenmasse, Biogasertrag, Methanertrag über die gesamte Projektlaufzeit (siehe auch Anhangtabelle 3-1 bis 3-4) …… **- 30 -**

**Tab. 10:** Vorzüglichkeit der Biogasproduktion der Fermenter 1 bis 6 gegenüber dem Monovergärungsverfahren (siehe auch Anhangtabelle 4-1 bis 4-8, Biogasparameter) ..... **- 33 -**

**Tab. 11:** Gasausbeute nach Baserga (1998) – Multiplikationswert ..... **- 37 -**

**Tab. 12:** Theoretische Gasausbeute nach Baserga in den Grassilagen ..... **- 38 -**

**Tab. 13:** Praktisch ermittelte Gasausbeute in den Grassilagen ..... **- 39 -**

**Tab. 14:** Theoretische Gasausbeute nach Baserga im Gärrest ..... **- 41 -**

**Tab. 15:** Praktisch ermittelte Gasausbeute im Gärrest ..... **- 41 -**

**Tab. 16:** Mineralstoffgehalte im Perkolat – Biogasanlage BBM ..... **- 42 -**

**Tab. 17:** Abgegebene Gärrestmenge und deren Zusammensetzung ..... **- 43 -**

**Tab. 18:** Vergleich der Ab- bzw. Zunahme von Produkteigenschaften bei der Verstoffwechselung der eingesetzten Grassilage aus dem Deichvorland der Elbe ..... **- 43 -**

**Tab. 19:** Mineralstoffgehalte im Gärrest – Biogasanlage BBM ..... **- 44 -**

**Tab. 20:** Mittlere Schadstoffgehalte in den Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe ..... **- 45 -**

**Tab. 21:** Schadstoffgehalte in den Gärresten – Biogasanlage BBM ..... **- 46 -**

**Tab. 22:** Schadstoffe im Perkolat – Biogasanlage BBM ..... **- 46 -**

**Tab. 23:** Auswahl zulässiger Höchstgehalte und von Schwellenwerten zur Kennzeichnung von Schadstoffen nach DüMV ..... **- 48 -**

**Tab. 24:** Nährstoffgehalte im Boden auf der Feldversuchsfläche – Probenahme 20.04.2010 ..... **- 52 -**

**Tab. 25:** Schadstoffgehalte im Boden auf der Feldversuchsfläche – Probenahme 20.04.2010, Ausgangswerte ..... **- 53 -**

**Tab. 26:** Schadstoffe in den Gärresten, die auf den Versuchsparzellen eingesetzt wurden – Probenahme am 01.04.2010 ..... **- 54 -**

**Tab. 27:** Nährstoffe in den Gärresten, die auf den Versuchsparzellen eingesetzt wurden – Probenahme am 01.04.2010 ..... **- 54 -**

**Tab. 28:** Mineralstoffe und TS-Gehalte im angewelkten Erntegut der Feldversuchsfläche – Probenahme 05.06.2010 ..... **- 57 -**

**Tab. 29:** Schadstofffrachten der eingesetzten Gärreste auf den Parzellen pro Hektar ..... **- 57-**

**Tab. 30:** Schadstoffe im angewelkten Erntegut der Feldversuchsfläche – Probenahme 05.06.2010 ..... **- 58 -**

**Tab. 31:** Ergebnisse der Praxisbetriebe zur Grünlandbewirtschaftung im Deichvorland der Elbe mit energetischer Verwertung der Biomasse in einer Biogasanlage ..... **- 63 -**

**Tab. 32:** Düngeäquivalent pro dt Gärrest ..... **- 64 -**

**Tab. 33:** Unterschiedliche Nutzungsvarianten der Grünlandbewirtschaftung im Deichvorland der Elbe ..... **- 66 -**

## Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---|---|
| **°C** | Grad Celsius |
| **BBM** | Biogas Breese in der Marsch |
| **BHKW** | Blockheizkraftwerk |
| **$CH_4$** | Methan |
| **$CO_2$** | Kohlendioxid |
| **d** | Tag |
| **DB** | Deckungsbeitrag |
| **dl-PCB** | dioxinähnliche Polychlorierte Biphenyle |
| **dt** | Dezitonne (= 100 kg) |
| **DüMV** | Düngemittelverordnung (regelt das Inverkehrbringen von Düngemitteln) |
| **DüngMG** | Düngemittelgesetz (schafft den Rahmen zur Anwendung von Düngemitteln im Sinne der guten fachlichen Praxis beim Düngen) |
| **DüV** | Düngeverordnung (regelt die Anwendung von Düngemittel auf landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden) |
| **et al.** | et alii (und andere) |
| **FM** | Frischmasse |
| **FuttMV** | Futtermittelverordnung |
| **gew. arith. Mittel** | gewogenes arithmetisches Mittel |
| **ggf.** | gegebenenfalls |
| **GJ** | Giga-Joule ($10^9$ J) |
| **GK** | Gehaltsklasse (Versorgungsstufe mit Nährstoffen im Boden, LWK Niedersachsen) |
| **h** | Stunde |
| **$H_2S$** | Schwefelwasserstoff |
| **ha** | Hektar (=10.000 $m^2$) |
| **I-TEQ (NATO)** | International Toxic Equivalent scheme by the North Atlantic Treaty Organisation |
| **I-TEQ** | Internationales toxisches Äquivalent |
| **$K_2O$** | Kaliumoxid |
| **kg** | Kilogramm |
| **$kW_{el}$** | Kilowatt elektrisch |
| **$kW_{th}$** | Kilowatt thermisch |
| **LRT** | Lebensraumtypen |
| **LUFA** | Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt |
| **LWK** | Landwirtschaftskammer Niedersachsen |
| **$m^2$** | Quadratmeter |
| **$m^3$** | Kubikmeter |
| **mbar** | Millibar (= 1hPa = 100 Pa) |
| **mg** | Milligramm |
| **MgO** | Magnesiumoxid |
| **$_{min}$TS** | mineralische Trockensubstanz in der Trockenmasse |
| **MJ** | Mega-Joule ($10^6$ J) |
| **ML** | Niedersächsisches Ministerium für den ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz |

| | |
|---|---|
| **N** | Gesamt-Stickstoff |
| **$N_2$** | Stickstoff |
| **NEL** | Netto-Energie-Laktation |
| **NElbtBRG** | Gesetz über das Biosphärenreservat „Niedersächsische Elbtalaue“ |
| **NfE** | stickstofffreie Extrakstoffe |
| **ng** | Nanogramm |
| **$NH_4$-N** | Ammoniumstickstoff |
| **$O_2$** | Sauerstoff |
| **$_{org}$TS** | organische Trockensubstanz in der Trockenmasse |
| **$P_2O_5$** | Phosphat |
| **PCDD/PCDF** | polychlorierte Dibenzo-p-Dioxine und polychlorierte Dibenzo-p-Dibenzofurane |
| **pH-Wert** | Maß für die saure oder alkalische Reaktion einer wässrigen Lösung |
| **ppm** | parts per million (=$10^{-6}$ = 0,000001) |
| **S** | Schwefel |
| **SAWA** | Strategic Alliance for integrated Watermanagement Actions |
| **t** | Tonne |
| **TM** | Trockenmasse |
| **TS** | Trockensubstanz |
| **u. a.** | unter anderem |
| **Vol.-%** | Volumenprozent |

# 1 Einleitung

Im August 2002 kam es infolge einer besonderen Witterungskonstellation zu einem extremen Sommerhochwasserereignis. In Mitteldeutschland verursachte der Starkregen zahlreiche Deichbrüche und im niedersächsischen Bereich der Elbe war die Situation sehr angespannt. Mit dem Abfließen des Hochwassers wurden Untersuchungen veranlasst.

Im Flusssediment und in den oberen Bodenschichten der Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe wurde eine hohe Konzentration an Schadstoffen nachgewiesen. Dabei handelt es sich u. a. um Dioxine (PCDD/PCDF) unterschiedlicher Kongenerenmuster und um Schwermetalle, die bereits vor Jahrzehnten über Industrieabwässer in die Elbe eingeleitet wurden. Auch wenn die Einleitung industrieller Abwässer schon Jahrzehnte zurückliegt, so findet heute bei jedem Hochwasser immer noch eine Verfrachtung dieser Schadstoffe über Bodenpartikel aus dem Flussbett und eine Verlagerung auf die Grünlandflächen im Deichvorland statt.

Neben einer Status - Quo - Untersuchung zur Schadstoffkonzentration im Boden mit Werten zwischen 100 bis 2.500 ng I-TEQ (NATO/CCMS) Dioxin pro kg Boden im Bereich der niedersächsischen Elbtalaue, wurden auch Futtermittel, wie Grasaufwuchs, Grassilage und Heu untersucht. In Abhängigkeit vom Ernteverfahren, der Witterung, des Reliefs der Fläche und des Pflegezustands der Grünlandnarbe, wurden Höchstwertüberschreitungen bei mehreren Proben nach dem Futtermittelrecht analysiert (Severin, 2004, 8 ff.).

Vor dem Hintergrund der analysierten Höchstwertüberschreitungen bei Futter- und Lebensmitteln, hat die Landwirtschaftskammer Niedersachsen im Zusammenwirken mit wissenschaftlichen Institutionen und in Abstimmung mit dem Niedersächsischen Ministerium für den ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (ML) ein Merkblatt zur Bewirtschaftung der Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe erarbeitet und an die betroffenen landwirtschaftlichen Betriebsleiter versandt. Die in dem Merkblatt vorgegebenen Bewirtschaftungshinweise tragen dazu bei, dass das Risiko einer Höchstwertüberschreitung im Futtermittel und somit auch in den produzierten Lebensmitteln deutlich reduziert wird.

Die Einhaltung der Bewirtschaftungsauflagen ist für die Landwirte mit Mehrkosten und/oder Futterverlusten verbunden. Außerdem kann eine einhundertprozentige Futter- und Lebensmittelsicherheit mit der Umsetzung der Bewirtschaftungshinweise nicht erreicht werden. Dies hat das niedersächsische ML zum Anlass genommen und die LWK Niedersachsen beauftragt, ein alternatives Verwertungskonzept für den anfallenden Grasaufwuchs aus dem Deichvorland der Elbe zu erarbeiten.

Alternativ zur bisherigen Lebensmittelproduktion mit Futter von schadstoffbelasteten Grünlandflächen aus dem Deichvorland der Elbe bietet sich an, die anfallende Biomasse zu verstromen, die Wärme einer geeigneten Nutzung zuzuführen und den anfallenden Gärrest zum Zwecke der Düngung im Deichvorland der Elbe wieder auszubringen. Eine Rückführung der Gärreste auf das Grünland im Deichvorland ist anzustreben, um dadurch zu unterbinden, dass vor dem Hintergrund einer erhöhten Schadstoffkonzentration im Gärrest eine Schadstoffanreicherung durch die Ausbringung der Gärreste auf Flächen im Deichhinterland stattfindet.

Nach dem Biosphärenreservatsgesetz ist eine Rückführung von Gärresten zulässig, wenn es sich bei dem Gärrest ausschließlich um einen Wirtschaftsdünger pflanzlicher Herkunft handelt. Bei der Rückführung der Gärreste dürfen die zahlreichen Lebensraumtypen im Deich-

vorland der Elbe nicht beeinträchtigt werden. Auch gilt bei der Bewirtschaftung der Grünlandflächen im Deichvorland, die Entwicklung von Natur und Landschaft hat Vorrang.

Für eine Rückführung von Gärresten auf das Grünland im Deichvorland stehen daher nur Flächen zur Verfügung, die nach der naturschutzfachlichen Zielsetzung eine nicht so hohe Priorität aufweisen. Vor diesem Hintergrund und einer erwartenden hohen Schadstoffkonzentration im Gärrest, soll in einem Monovergärungsverfahren ausschließlich nur die Biomasse fermentiert werden, die im Deichvorland anfällt. Der bei der Fermentation von Grassilagen aus dem Deichvorland anfallende Gärrest enthält dadurch auch nur die Nährstoff- und Schadstofffrachten, die zuvor bei der Biomassegewinnung im Deichvorland entnommen wurden. Bei einer Ausbringung dieser Gärreste auf das Grünland im Deichvorland erfolgt somit eine innerbetriebliche Kreislaufbewirtschaftung (Prinzip: „Gleiches zu Gleichem“).

# 2 Zielsetzung und offene Fragen

Im Rahmen der Machbarkeitsuntersuchung war zu beurteilen bzw. zu prüfen:

1. Wie wirken sich naturschutzfachliche Vorgaben bei der Bewirtschaftung von Grünlandflächen auf die erzielbare Menge an Biogas aus?
2. Lässt sich eine Biogasanlage nach dem Batch-Verfahren technisch und wirtschaftlich betreiben, die im Monovergärungsverfahren ausschließlich nur mit Grassilagen von extensiv geführten Grünlandflächen befüllt wird?
3. Welche Mengen an Biogas und Methan sind bei einer Monovergärung mit Grassilagen im Vergleich zur Vergärung mit einem Mischsubstrat zu erzielen, wenn sich das Mischsubstrat anteilig aus einem Drittel an Maissilage, einem Drittel an Rindermist und einem Drittel an Grassilage zusammensetzt?
4. Wie hoch ist der Biogasertrag in einer Grassilage oder in einem Gärrest, ermittelt über einen theoretischen Gasertrag nach Baserga und in einem praktischen Gärversuch?
5. In welchem Verhältnis nimmt die Konzentration an Schadstoffen und Nährstoffen im Gärrest bei der Verstoffwechselung der Biomasse zum eingesetzten Gärsubstrat (Grassilage) zu?
6. Wie hoch sind bei einer düngebedarfsgerechten Rückführung der Gärreste auf Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe die Schadstofffrachten?
7. Können die anfallenden Gärreste unter Berücksichtigung von naturschutzfachlichen Vorgaben und nach den Vorgaben der guten fachlichen Praxis beim Düngen auf Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe technisch zurückgeführt werden?
8. Welche Anforderungen sind an ein Flächenmanagement im Deichvorland der Elbe bezüglich der Beerntung und bei der Rückführung von Gärresten unter Berücksichtigung von naturschutzfachlichen Vorgaben zu erfüllen?
9. Welche Kosten fallen einzelbetrieblich für die Herstellung einer Grassilage und für die Verwertung der Gärreste im Deichvorland der Elbe unter Berücksichtigung von naturschutzfachlichen Vorgaben an?

Ergeben sich aus der Beantwortung der offenen Fragen hinreichend Erkenntnisse, dass ein Monovergärungsverfahren technisch und wirtschaftlich durchführbar ist, so soll den landwirt-

schaftlichen Betrieben bei der Bewirtschaftung der Grünlandflächen im Deichvorland eine Wertschöpfungsalternative offeriert werden.

Bei einer gegebenen alternativen Wertschöpfung müssten die landwirtschaftlichen Betriebe keine Lebensmittel mehr mit dem Futter aus dem Deichvorland produzieren. Dies hätte positive Auswirkungen auf die Erreichung der Ziele zur funktionalen Erhaltung der Elbtalaue.

So wird durch die Bewirtschaftung der Grünlandflächen einer Verbrachung entgegengewirkt. Eine Bewirtschaftung der Grünlandflächen wirkt sich auch positiv auf die Offenhaltung der Landschaft und der Erreichung von naturschutzfachlichen Zielsetzungen aus. Durch die nachhaltige Pflege der Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe wird ein wesentlicher Beitrag für den Hochwasserschutz und zur Erhaltung von Sachwerten hinter dem Deich geleistet. Für die touristisch ausgerichteten Betriebe entlang der Elbe wird eine Kulisse erhalten, wodurch ein Besuch in der Elbtalaue weiterhin lohnenswert ist. In der Bündelung aller Wirkungen wird dadurch ein mehrschichtiger volkswirtschaftlicher Nutzen erreicht.

# 3 Zeitlicher Rahmen und technische Voraussetzung

Der Praxisversuch wurde vom 18. Mai 2009 bis Ende Oktober 2010 in der etablierten Biogasanlage der Herren Axel und Jörg Heinrich Siemke in Breese in der Marsch bei Dannenberg durchgeführt. Beide Brüder betreiben seit 2006 eine Biogasanlage als Feststoffvergärungsanlage. Die Biogasanlage wurde nach dem System der Trockenfermentation (Bioferm) mit 7 baugleichen Fermentern in Garagenbauweise (Batch-Verfahren) konzipiert.

Die Fermenter haben eine Abmessung von 30x7x4 Meter und sind jeweils für ein Volumen von 500 $m^3$ Biomasse, entsprechend ca. 300 t ausgelegt. Das angeschlossene BHKW hat eine Leistung von 500 $kW_{el}$ und 560 $kW_{th}$. Die elektrische Energie wird in das Stromnetz eingespeist und die Abwärme wird überwiegend an ein angeschlossenes Nahwärmenetz abgegeben.

Im Regelfall wird die Anlage mit 40% Mist, 20 – 50% Maissilage und 20 – 40% Grassilage beschickt. In geringen Anteilen werden auch Stroh, Rüben, Kartoffeln und Grünroggen eingesetzt. Insgesamt werden so jährlich ca. 12.000 t Rohstoffe verarbeitet. Dieses Verfahren wurde während der Projektlaufzeit in sechs der sieben Fermenter beibehalten. Der siebte Fermenter wurde während dieser Zeit ausschließlich nur mit Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe beschickt. Die eingesetzten Grassilagen waren qualitativ sehr heterogen.

Ein Substratwechsel erfolgt in der Regel etwa alle 25 Tage. Dabei wird das gesamte Gärmaterial mit einem Radlader aus dem Fermenter entnommen und auf einer undurchlässigen Betonplatte vor den Fermentern als Miete geschichtet. 40% des Gärmaterials wird dabei abgetrennt und dem Gärrestelager zugeführt. In gleichen Mengenanteilen wird Frischmaterial auf das als Miete ausgebreitete Altmaterial aufgebracht. Im Anschluss daran wird das als Miete gestapelte Material mit einem Radlader wieder aufgenommen und in den Fermenter eingebracht. Bei dem Stapelvorgang in den Fermenter erfolgt eine grobe Vermischung mit teilweise aus- bzw. angegorenem Biomassematerial und der frisch zugeführten Biomasse. Nach dem Schließen der Tore beginnt der Gärprozess und erreicht nach ca. 5 – 7 Tagen die volle Tagesgasleistung. Die Altmasse wird als so genanntes Impfmaterial benötigt, um den Neubeginn der Vergärung zu beschleunigen. Der Gasbildungsprozess wird zudem auch entscheidend begünstigt, wenn nach dem Aufsetzen der Gärsubstrate im geschlossenen Fermenter das eingebrachte Biomaterial mit Prozesswasser (Perkolat) besprüht wird.

Das Biogas wird während der mikrobiellen Verstoffwechselung kontinuierlich über einen druckgesteuerten Verdichter abgezogen und der Verwertung im BHKW zugeführt. Vor der Zuführung des Biogases an das BHKW werden über Sonden die Biogasmenge und die Zusammensetzung elektronisch erfasst.

Für das Projekt wurde der als letzter in der Reihe errichtete siebente Fermenter aus dem Regelbetrieb herausgenommen und über einen Zeitraum von 1 ½ Jahren ausschließlich nur mit Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe beschickt. Der Echtbetrieb der angestrebten Monovergärung wurde nach drei Wechselintervallen erreicht.

Mit dem dritten Substratwechsel seit Beginn des Projektes wurde die Annahme getroffen, dass das vor Beginn des Projektes vorhandene Mischsubstrat vollständig ausgetauscht wurde und somit keinen Einfluss mehr auf die Gasproduktion haben wird.

Abb. 1: Biogasanlage Siemke in Breese in der Marsch (BBM) mit den sieben Fermentern.

Der Anlagenbetreiber hatte nicht nur den Fermenter 7 im Rahmen des Projektes zur Verfügung gestellt, sondern sein gesamtes technisches Know-how mit eingebracht, um den Versuchsfermenter sachgemäß mit Biomasse zu beschicken. Dies beinhaltet u. a. die anfallenden Gärreste auszuschleusen, das Gewicht der eingesetzten und ausgetauschten Materialien über eine Waage zu ermitteln, die produzierte Biogasmenge und deren Zusammensetzung elektronisch tagesgenau zu erfassen.

Die Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe für die Biogasproduktion im Monovergärungsverfahren haben fünf landwirtschaftliche Betriebe geliefert. Die Anlieferung der Rohstoffe erfolgte aus dem Raum Wussegel, Jasebeck, Damnatz, Grippel und Wehningen (Abb. 2). Die Entfernung zur Biogasanlage betrug dabei zwischen 5 bis 18 Kilometer.

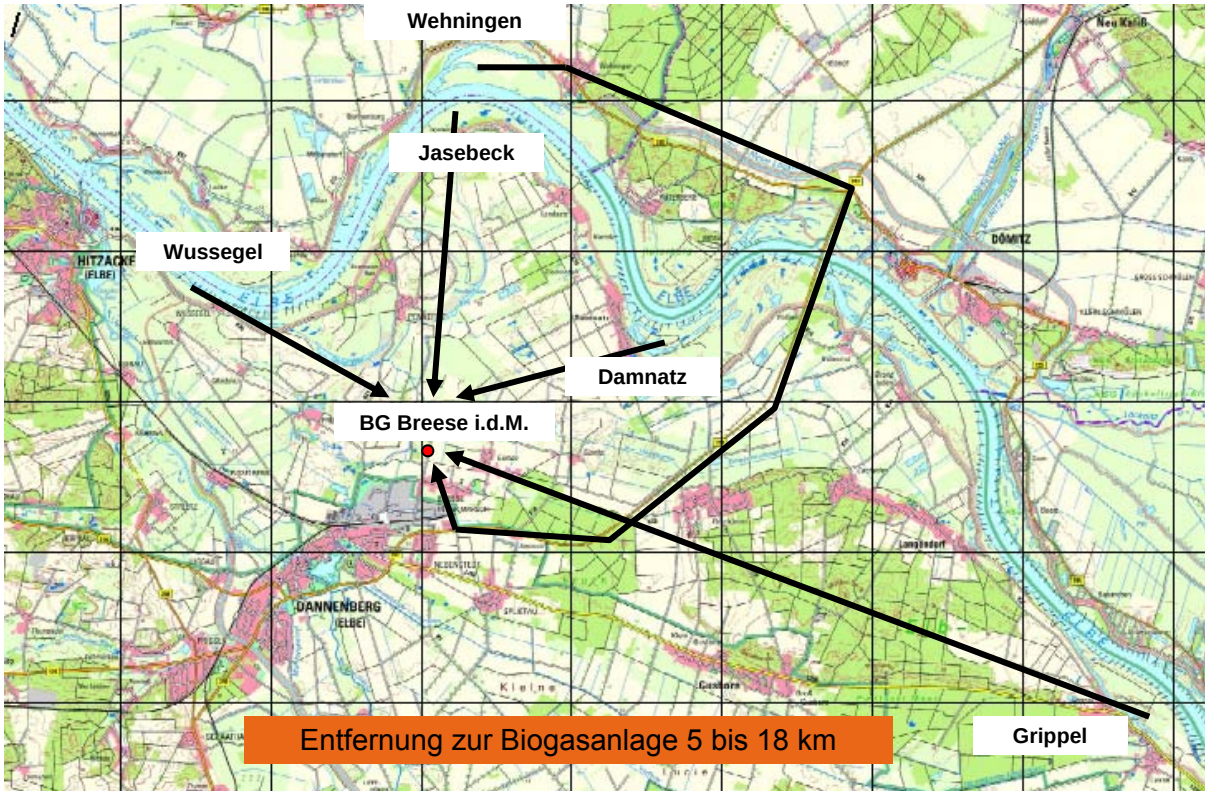
Die Rohstoffbereitstellung und Rücknahme der anfallenden Gärreste wurde vertraglich zwischen den landwirtschaftlichen Betriebsleitern und der Landwirtschaftskammer abgesichert.

Für die Rohstoffbedarfsermittlung wurde unterstellt, dass wie beim Einbringen der Mischsubstrate, bei jedem Wechsel ca. 200 cbm Grassilage benötigt werden. Bei einem optimalen Trockensubstanzgehalt von 32% entspricht dies einer Tonnage von ca. 115 t Grassilage pro Wechselintervall. In der Regel erfolgt ein Substratwechsel alle 25 Tage. Bei 365 Tagen im Jahr würden auf dieser Basis 14,6 Wechselintervalle anstehen bzw. eine Tonnage in einer Größenordnung von 1.679 t Grassilage pro Jahr benötigt. Für nicht abschätzbare Unwägbarkeiten wurde ein Zuschlag in Ansatz gebracht. Kalkulatorisch ergibt sich so eine Bedarfsmenge von 1.800 t Grassilage pro Jahr.

Aufgrund von naturschutzfachlichen Vorgaben und freiwilligen Vereinbarungen können die Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe lediglich extensiv bewirtschaftet werden. Zahlreiche fachliche Beiträge zur Bewirtschaftung der Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe weisen eine mittlere Ertragserwartung von 5,5 t TM/ha und Jahr an Aufwuchs aus. Auf dieser

Basis errechnet sich ein Grassilageertrag bei einem TS-Gehalt von 35% von 15,7 t/ha und Jahr. Um die Jahresbedarfsmenge an Grassilage für die Biogasanlage bereitstellen zu können, sind ca. 114,7 ha zu beernten; also rund 120 ha.

**Abb. 2: Rohstoffbereitstellungsraum**




Die Untersuchung der Grassilagen von den Grünlandflächen aus dem Deichvorland der Elbe und den Gärresten erfolgte durch die LUFA Nord-West an den Standorten in Hameln und Oldenburg. Ferner wurden Analysen aus dem Projekt SAWA (Strategic Alliance for integrated Watermanagement Actions) vor dem Hintergrund der schadstoffbedingten Risikobewertung mit berücksichtigt.

Für die Ermittlung der betriebswirtschaftlichen Kosten der Rohstoffbereitstellung und der Gärrestrücknahme wurden die Daten vor Ort auf den landwirtschaftlichen Betrieben durch Mitarbeiter der Abteilung Betriebswirtschaft der Landwirtschaftskammer Niedersachsen erhoben und bewertet.

Hinsichtlich der Rückführung der anfallenden Gärreste auf Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe erfolgte eine enge Abstimmung mit Herrn Dr. Kaiser von der Biosphärenreservatsverwaltung Niedersächsische Elbtalaue in Hitzacker.

# 4. Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe

## 4.1 Naturschutzfachliche Rahmenbedingungen zur Bewirtschaftung der Grünlandflächen im Deichvorland

Die Grünlandflächen im Deichvorland befinden sich auf niedersächsischer Seite der Elbe in dem Abschnitt von Schnackenburg bis Hohnstorf bei Lauenburg im Biosphärenreservat

„Niedersächsische Elbtalaue“. Die Sicherung, Pflege und Entwicklung des Biosphärenreservats und die Ausgleichs- sowie Entschädigungsleistungen werden auf Grundlage des Biosphärenreservatsgesetzes (NElbtBRG) vom 14. November 2002 geregelt. Das Biosphärenreservatsgesetz gliedert das unter Schutz gestellte Gebiet in drei Schutzkategorien. Entsprechend der Gebietsteile A, B oder C sind bestimmte Handlungen verboten.

Die Grünflächen im Deichvorland, also die Flächen, die regelmäßig bei Hochwasser der Elbe überflutet werden, befinden sich durchgängig im Gebietsteil C (NElbtBRG, 2002, Anlage 1). Durch die Unterschutzstellung der Flächen mit der Schutzkategorie C wird die landwirtschaftliche Bodennutzung eingeschränkt. Verboten ist auf diesen Flächen, die Umwandlung von Grünland zu Ackerland, die Grünlanderneuerung, das Verändern des Reliefs auf Grünlandflächen, die zusätzliche Entwässerung von Grünlandflächen, die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft und von Sekundärrohstoffdüngern, die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln auf Grünlandflächen, etc. (NElbtBRG, 2002, 9).

Für die teilweise erhebliche Einschränkung der Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Produktionsgrundlage, erhält der auf diesen Flächen wirtschaftende landwirtschaftliche Betriebsleiter einen Erschwernisausgleich. Die Höhe des zu zahlenden Erschwernisausgleichs errechnet sich auf Basis der niedersächsischen Verordnung über den Erschwernisausgleich und den Vertragsnaturschutz in geschützten Teilen von Natur und Landschaft (EA-VO, 1997). Bestandteil dieser Verordnung ist eine Punktwerttabelle. Mit Hilfe der Punktwerttabelle ist für die Einschränkung bzw. für das Verbot der landwirtschaftlichen Bodennutzung im Sinne der guten fachlichen Praxis eine Gesamtpunktzahl zu ermitteln. Anhand der ermittelten Gesamtpunktzahl errechnet sich auf Basis des festgesetzten Betrages pro Punkt der Erschwernisausgleich. Zurzeit erhalten die landwirtschaftlichen Betriebe pro Hektar einen Betrag von 88 €.

Zur Erreichung von speziellen naturschutzfachlichen Zielen, vereinbart die Biosphärenreservatsverwaltung in Hitzacker weit reichende Bewirtschaftungseinschränkungen über ein Kooperationsprogramm Naturschutz mit den landwirtschaftlichen Betriebsleitern. Auf Grundlage dieser freiwilligen Vereinbarung ergeben sich z.B. folgende Bewirtschaftungseinschränkungen: Keine maschinelle Bodenbearbeitung vom 01.03. bis zur ersten Nutzung, keine Düngung (auch nicht mineralisch oder mit Wirtschaftsdüngern pflanzlicher Herkunft), erste Aufwuchsnutzung erst ab dem 01.06. und danach ist mindestens ein zehnwöchiges nutzungsfreies Intervall vor der Zweitnutzung einzuhalten, entlang der Flächenränder darf in der Zeit vom 01.01. bis 31.07. in einer Breite von 2,50 Meter keine Mahd durchgeführt werden, etc. Für die zu erbringende Dienstleistung gegenüber der Gesellschaft erhalten die landwirtschaftlichen Betriebsleiter je nach dem Grad der vereinbarten freiwilligen Bewirtschaftungseinschränkung ein Leistungsentgelt in Höhe von 250 bis 450 € pro Hektar.

## 4.2 Folgen der eingeschränkten Nutzungsintensität für die Qualität des Aufwuchses der Grünlandflächen im Deichvorland

### 4.2.1 Futterwert

Durch die hoheitliche Auflage nach dem Biosphärenreservatsgesetz und die freiwillige Vereinbarung im Rahmen des Kooperationsprogramms Naturschutz werden die Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe sehr extensiv genutzt, was tendenziell zu einer Unternutzung des Grünlandes beiträgt (Lange, 2005; 4). Häufig wird daher auf mahdunzugänglichen Flä-

chen mit Mutterkühen oder Schafen eine Restverwertung des Grünlandaufwuchses betrieben.

Ein auskömmliches Betriebseinkommen für die Haupt- und Futterbaubetriebe lässt sich nur über eine intensive Milchviehhaltung erwirtschaften (Lange, 2005, 5). Die für eine Mahd im Deichvorland der Elbe geeigneten Flächen sind aufgrund naturschutzfachlicher Vorgaben nicht oder nur bedingt geeignet, um eine Grundfutterqualität mit Energiewerten von über 6,2 MJ NEL je kg TM erzielen zu können. Vor dem Hintergrund der bestehenden Auflagen und der getroffenen naturschutzfachlichen freiwilligen Vereinbarung, haben sich auf den Grünlandflächen andere vorherrschende Pflanzengesellschaften eingestellt.

Nach der Studie von Lange 2005 wurde für die Elbtalaue im Mittel aller Bestände ein Futterwert von lediglich 4,3 ermittelt. Nach Klapp entspricht dieser Wert einer Futterqualität von gering bis mittel.

Klapp hat zur Beurteilung der Futterqualität einzelner Pflanzen, wie auch ganzer Pflanzenbestände, eine 10-stufige Skala entwickelt, um den Nutzungswert des Aufwuchses auf den Grünlandflächen für landwirtschaftliche Nutztiere, insbesondere für das Rindvieh bewerten zu können. Die Bewertungsskala reicht von -1 = giftig für Nutztier und Mensch bis 8 = höchster Futterwert. Nach dieser Bewertungsskala wurden damals 374 Arten eingestuft (Briemle, 2002, 204).

### 4.2.2 Veränderte Leistungsmerkmale des Aufwuchses

Aufgrund der naturschutzfachlichen Vorgaben und der jetzt vorherrschenden Pflanzenbestände kann hinsichtlich der Verdaulichkeit nur noch eine begrenzte tierische Leistung mit dem Futter erzielt werden. Was für die tierische Nutzung zutrifft, gilt auch für die Methanogenese bei der Verstoffwechselung der Biomasse im Fermenter einer Biogasanlage. Nur eine qualitativ hochwertige Grassilage kann die gebundene Energie im Vergleich mit anderen Inputstoffen wirtschaftlich zur Verfügung stellen.

Eine optimale Schnittreife ist aus ernährungsphysiologischen Gründen mit einem Rohfasergehalt um die 23% in der Trockensubstanz erreicht. Dieser Termin wird für den ersten Aufwuchs im Untersuchungsgebiet in Abhängigkeit von der Jahreswitterung etwa zwischen dem 10. und 20. Mai des Jahres erreicht. Über eine intensive Pflege und Düngung stellt sich im Allgemeinen auf der Grünlandfläche ein hochwertiger Pflanzenbestand ein, wodurch ein Erntegut mit einer Energiedichte von 6,2 bis 6,8 MJ NEL/kg TM erzielt werden kann (Lange, 2005, 7).

Auf den Grünlandflächen der am Projekt mitwirkenden fünf landwirtschaftlichen Betriebe kann eine derartige Energiedichte nicht produziert werden. Die landwirtschaftlichen Betriebsleiter haben mit der Biosphärenreservatsleitung freiwillige Verträge zum Naturschutzkooperationsprogramm geschlossen und haben sich verpflichtet, keine Düngung auf den Grünlandflächen vorzunehmen und auf dem überwiegenden Teil der Flächen erst eine Schnittnutzung ab dem 01.06. durchzuführen. Nur auf wenigen Flächen kann bereits Ende Mai eine Schnittnutzung erfolgen.

### 4.2.3 Bewertung der Grünlandstandorte

Die Grünlandflächen der fünf teilnehmenden landwirtschaftlichen Betriebe im Deichvorland der Elbe lassen sich räumlich einer ortsgebundenen Kulisse zuordnen. Der Rohstoff wurde im Rahmen der Monovergärung auf den Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe im Bereich von Wussegel, Jasebeck, Damnatz, Wehningen und Grippel geerntet (Abb. 3 bis 6).

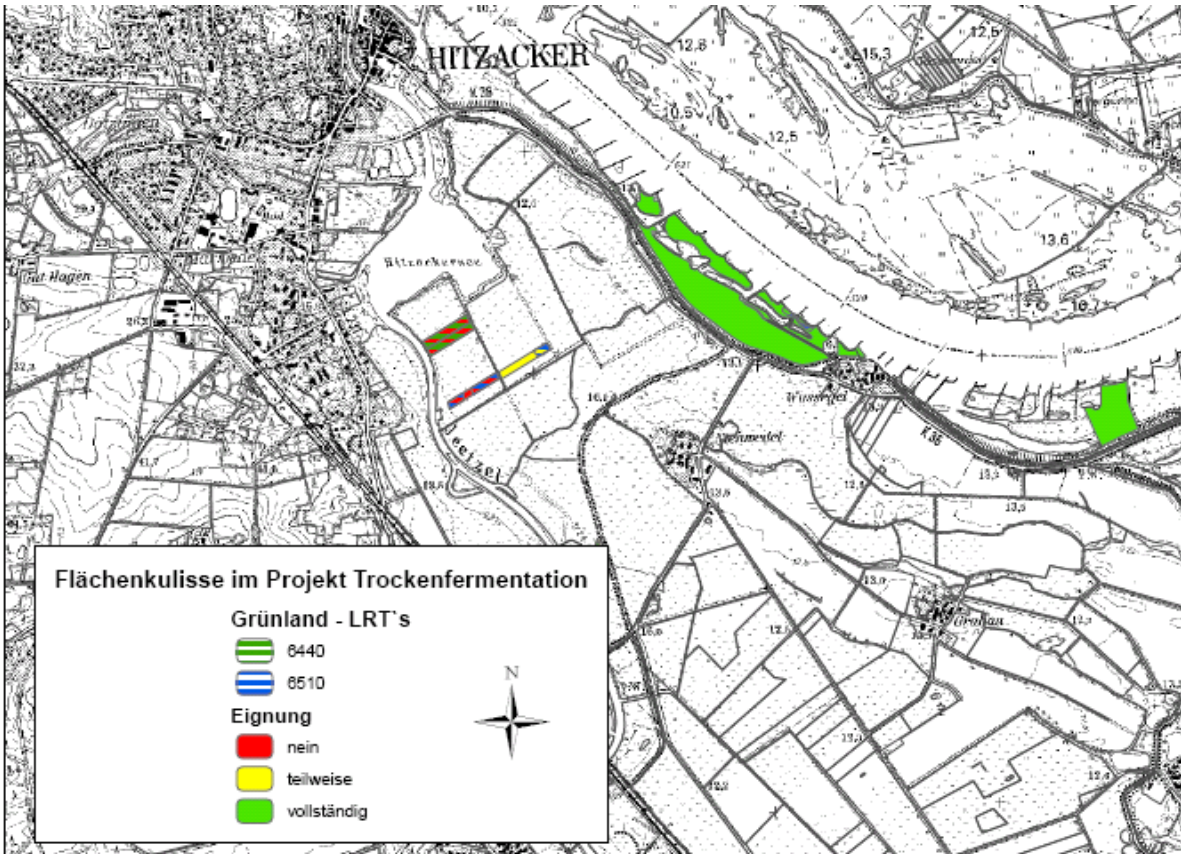
Auf den in das Projekt einbezogenen Grünlandflächen haben sich teilweise besondere Lebensraumtypen (LRT) etabliert. Es sind dies die „Brenndolden-Wiesen“ mit der Kennnummer 6440 (grüne Schraffur) und mit der Kennnummer 6510 die „Mageren Flachlandwiesen“ (blaue Schraffur). Die Flächen mit den besonderen Lebensraumtypen werden zu den vereinbarten Schnittterminen beerntet (meist Anfang Juni). Eine mineralische oder organische Düngung soll auf diesen Flächen nicht erfolgen. Somit stehen diese Flächen für eine Rückführung des anfallenden Gärrestes nicht zur Verfügung.

Die ohne Schraffur grün hervorgehobenen Flächen und die gelb hervorgehobenen Flächen, haben von der naturschutzfachlichen Zielsetzung eine nicht so hohe Priorität und können mit dem Gärrest (Wirtschaftsdünger pflanzlicher Herkunft) aus der Monovergärung gedüngt werden.

**Bereich Wussegel:**

Die ohne Schraffur grün hervorgehobenen Flächen werden bei einem auflaufenden Hochwasser im unmittelbaren Bereich zur Elbe frühzeitig überschwemmt. Die Flächen entlang des Deiches liegen höher und werden daher auch erst bei einem mittleren bis hohen Hochwasser überflutet. Das Relief der Fläche ist leicht wellig. Die Flächen am Hitzackeraner See werden aufgrund der im Jahre 2010 fertig gestellten Schutzanlage lediglich noch bei einem extremen Hochwasser und dann durch den Zufluss der Jeetzel überflutet. Der Pflegezustand der Gründlandflächen war mit Beginn des Projektes sehr gut.

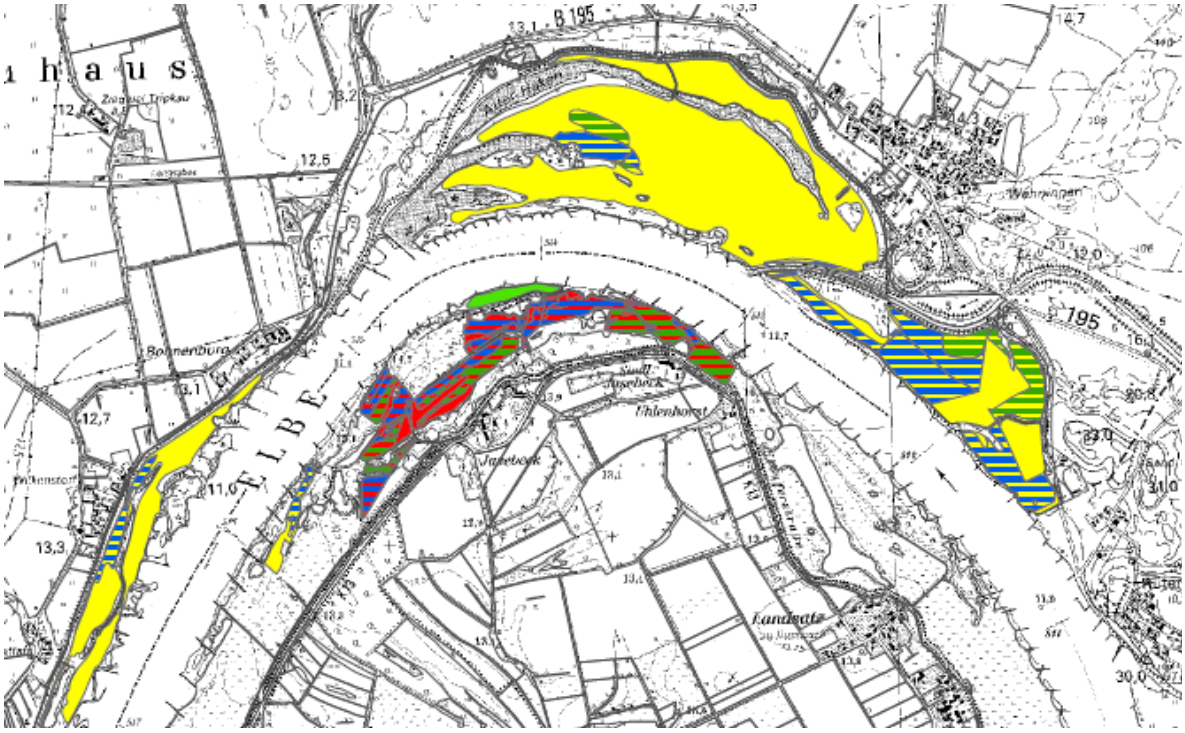
**Abb. 3: Flächen im Bereich von Wussegel:**
(Quelle: Landwirtschaftskammer Niedersachsen)



**Bereich Jasebeck:**

Die im Elbknick unterhalb der Elbe liegenden Flächen sind dem Bereich Jasebeck zugeordnet und haben einen sehr hohen Schutzstatus. Eine Rückführung an Gärresten aus dem Monovergärungsprojekt ist auf diesen Flächen nahezu nicht möglich. Der überwiegende Teil der Flächen liegt auf einem höher gelegenen Areal und wird daher erst bei einem mittleren bis hohen Hochwasser überflutet. Zu Beginn des Projektes waren die Flächen in einem schlechten Pflegezustand. Auf zahlreichen Flächen befand sich noch der nicht geerntete zweite Aufwuchs aus dem Jahr zuvor. Für die Bereitstellung eines qualitativ hochwertigen Rohstoffs waren unter diesen Bedingungen keine optimalen Voraussetzungen gegeben. Vom Relief ist die Mahdfähigkeit bei zahlreichen Flächen eingeschränkt.

**Abb. 4: Flächen im Bereich von Jasebeck und Wehningen:**
(Quelle: Landwirtschaftskammer Niedersachsen)




**Bereich Wehningen:**

Die im Elbknick oberhalb der Elbe liegenden Flächen sind dem Bereich Wehningen zuzuordnen. Auf einem kleineren Teil des Flächenareals befinden sich besondere Lebensraumtypen. In der Kartendarstellung sind die Flächen grün und blau schraffiert. Eine Gärrestaufbringung ist auf diesen Flächen nicht zulässig. Der überwiegende Teil der Flächen ist für eine Mahd gut bis sehr gut geeignet. Vom Relief sind zahlreiche Teilareale tief gelegen. Diese tiefer gelegenen Flächenareale befinden sich auch entlang des Deiches. Das gesamte Flächenareal wird durch Bracks, Buschreihen und massige Eichen aufgelockert, was für die Beerntung nicht immer förderlich war. Im Zentrum des Flächenareals befindet sich ein relativ hochgelegenes Areal, was lediglich bei einem extremen Hochwasser überflutet wird. Der Pflegezustand der Fläche war gut.

**Bereich Damnatz:**

Auf den Flächen, die dem Bereich Damnatz zuzuordnen sind, wurden auf einem Teilbereich der Flächen auch besondere Lebensraumtypen kartiert. Auch hier gilt, dass eine Rückfüh-

rung an Gärresten aus der Monovergärung auf den in der Karte schraffierten Flächen nicht zulässig ist. Vom Relief sind die Flächen relativ eben und somit für eine Mahd sehr gut geeignet. Der Aufwuchs auf der Fläche war im Frühjahr kurzrasig und in einem sehr guten Pflegezustand. Das waren beste Voraussetzungen, um einen relativ hochwertigen Rohstoff produzieren zu können.

**Abb. 5: Flächen im Bereich von Damnatz:**
(Quelle: Landwirtschaftskammer Niedersachsen)

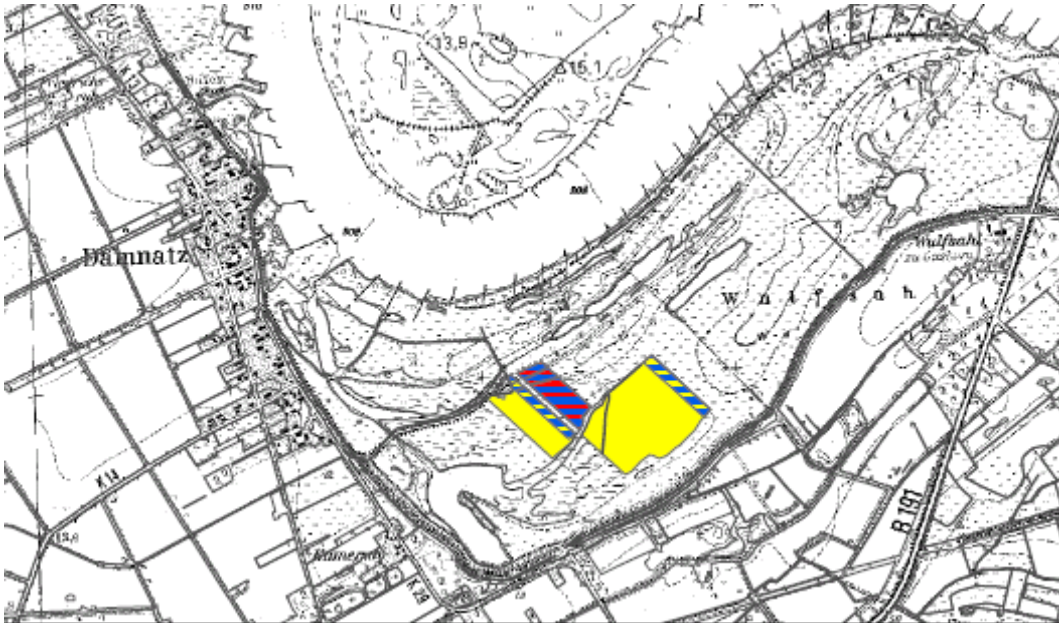
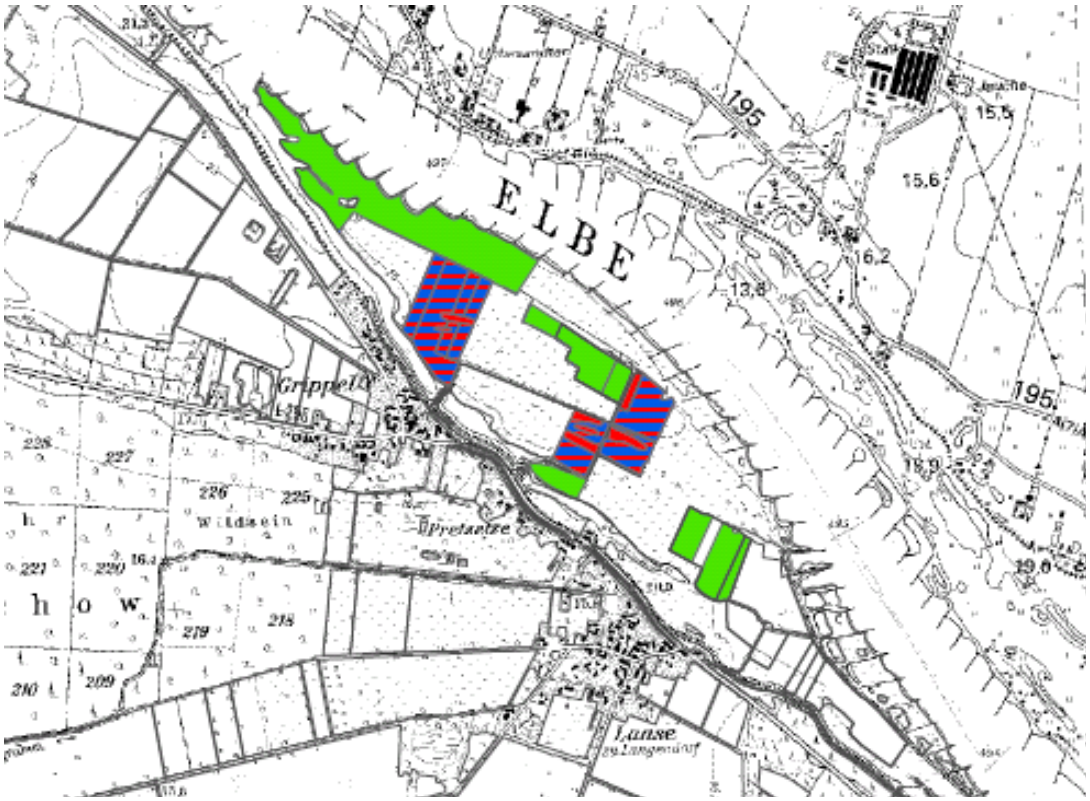



**Abb. 6: Flächen im Bereich von Grippel:**
(Quelle: Landwirtschaftskammer Niedersachsen)



**Bereich Grippel:**

Die im unmittelbaren Bereich zur Elbe grün hervorgehobenen Flächen, aber auch die Flächen, die sich unmittelbar entlang des Deiches an einem Altarm der Elbe befinden, werden bei einem auflaufenden Hochwasser frühzeitig überschwemmt. Nur ein geringer Teil der Flächen befindet sich in diesem Gebiet auf einem höher gelegenen Areal. Der Pflegezustand des Aufwuchses auf den Flächen war mit Beginn des Projektes als mäßig zu bewerten. Vom Relief ist der überwiegende Teil der Flächen relativ eben und somit für eine Mahd sehr gut geeignet. Durch das zum Teil sehr tiefe Höhenniveau der Flächen zur Elbe, war die Tragfähigkeit der Grasnarbe bei der Beerntung jedoch nicht immer zufrieden stellend gegeben.

### 4.2.4 Qualitäten der gelieferten Grassilagen

Von den Qualitäten wurden von den fünf teilnehmenden landwirtschaftlichen Betrieben sehr heterogene Grassilagen als Rohstoff für das Monovergärungsverfahren geliefert. Dadurch wurde möglicherweise der Prozessverlauf bei der Verstoffwechselung der Biomasse über die Mikroorganismen im Prüffermenter negativ beeinträchtigt.

Bei der Planung des Projektes wurde davon ausgegangen, dass von den fünf teilnehmenden landwirtschaftlichen Betrieben ein annähernd qualitativ gleichwertiger Rohstoff geliefert wird. Vor diesem Hintergrund wurde der analytische Umfang vorrangig auf die im Projekt zu beantwortende Frage des Schadstofftransfers ausgerichtet. Hinsichtlich der ernährungsphysiologischen Qualitätsbewertung der Silagen für Wiederkäuer, stehen daher nur wenige analytische Daten, mit den Parametern, Wasser, Rohasche, Rohprotein, Rohfett B, Rohfaser und NfE zur Verfügung.

Um dennoch eine qualitative Einstufung der gelieferten Grassilagen vornehmen zu können, wurden die vorliegenden Parameter zur Energiebewertung (Trockenmasse, Rohasche, Rohprotein, Rohfaser, Rohfett), der Mineralstoffzusammensetzung (Calcium, Magnesium, Kalium, etc.) und die organoleptische Eingangskontrolle (Aussehen, Farbe, Geruch, Häckselläng e, etc) für eine Qualitätsbewertung ermittelt und beurteilt.

#### 4.2.4.1 Energiegehalte

Zur Ermittlung der Energiegehalte in den Grassilagen bzw. für die Bewertung der Biogasausbeute im Labor wurden 3 Grassilagen beprobt und untersucht (siehe Tab. 1).

Qualitativ hochwertige Grassilagen weisen folgende Kenndaten auf: 30-40% Trockenmasse, < 10% Rohasche, 15-17% Rohprotein, 22-25% Rohfaser, > 6,4 MJ NEL/kg TM. Die Verdaulichkeit der organischen Masse beträgt bei einer energiereichen Grassilage etwa 78% (Pries, 2009). Zu erreichen ist ein hoher Verdaulichkeitsgrad mit einem frühen Schnittzeitpunkt bei der Silagebereitung.

Die hohe Verdaulichkeit ist von Bedeutung, da die nutzbare Energie grundsätzlich aus dem Zellmaterial sowie aus den vorwiegend im Zellinneren gelösten Substanzen geliefert wird. Zellmaterial besteht vor allem aus Cellulose und Hemicellulose. Im Zellinneren befinden sich überwiegend gelöste Kohlenhydrate, wie zum Beispiel Zucker oder ein großer Teil der im Pansen leicht abbaubaren Proteine.

Mit zunehmendem Alter des Pflanzenbestandes, verschiebt sich das Verhältnis zwischen Zellwandmaterial und Zellinnerem zunehmend in Richtung der Zellwand. Der Anteil der langsam abbaubaren Cellulose und Hemicellulose nimmt zu und der Anteil der leicht löslichen Substanz entsprechend ab. Hinzu kommt, dass mit zunehmender Alterung nicht nur die Zellwanddicke anwächst, sondern gleichzeitig auch noch Vernetzungsvorgänge innerhalb

der Zellwände stattfinden, die die Abbaubarkeit des Futters nochmals heruntersetzen. Die Ferulasäure spielt hierbei eine nicht unerhebliche Rolle, in dem sie verschiedene Cellulosemoleküle über so genannte Querspangen verbindet und so wesentlich zur Verholzung des Materials beiträgt, womit es wiederum zu einer verringerten Verdaulichkeit kommt (Pries, 2009).

**Tab. 1: Ergebnisse zur Ermittlung des Futterwertes der Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe für Wiederkäuer oder für die Bewertung der Biogasausbeute**

| Standort der Flächen | Probenahme | TS-Gehalt | Rohasche | Rohprotein | Rohfett | Rohfaser | NfE[1] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | % TM | | | | | | |
| Wussegel (2. Schnitt, 28.06.2008) | 27.07.2009 | 44,3 | 10,8 | 14,0 | 3,6 | 28,7 | 42,9 |
| Jasebeck (1. Schnitt, 02.06.2009) | 09.11.2009 | 75,9 | 6,7 | 9,0 | 2,9 | 30,4 | 51,0 |
| Grippel (1. Schnitt, 05.06.2009) | 25.05.2010 | 27,3 | 10,6 | 12,2 | 3,6 | 28,1 | 45,5 |

Von hoher Bedeutung ist auch die Anwelkdauer. Zumal zu beobachten ist, dass beim Anwelken durch die Pflanzenzellen noch eine Restatmung stattfindet, wodurch vor allem leichtlösliche, hochverdauliche Kohlenhydrate aus dem Zellinneren verbraucht werden. Eine lange Feldlagerdauer führt daher in der Regel zu weniger leicht verdaubaren Grassilagen. Zudem werden die für die Silierung erforderlichen Zuckerverbindungen verringert, was nachteilig für den Siliervorgang sein kann. (Pries, 2009)

Vergleich man die Qualität der im Deichvorland der Elbe geernteten Grassilagen mit den Optimalwerten, so handelt es sich bei der Grassilage aus Jasebeck eher um eine Heusilage. Mit einem TS-Gehalt von 75,9% und einem hohen Rohfasergehalt von 30,4% sowie nur geringen Werten an Rohprotein und Rohfett, fällt diese Silage absolut aus dem Rahmen. Aber auch die anderen beiden Silagen mit einem Rohfasergehalt von 28,1 und 28,7% sowie einem Rohproteingehalt von 12,2 und 14%, weisen mittlere Qualitäten auf.

### 4.2.4.2 Mineralstoffgehalte

Der Mineralstoffgehalt in Substraten unterliegt einer Reihe von Einflussfaktoren. Außer pH-Wert und geologischer Herkunft des Bodens sind dies die Düngung, der Schnitttermin sowie der Kräuter- und Kleeanteil (TLL, 2003). Für die Fütterung der Wiederkäuer üben Mineralstoffe eine wichtige Funktion beim Stoffwechsel aus. Aber auch bei der Biogasgewinnung versucht man über eine ausgewogene Konzentration an Mineralstoffen, den biologischen Abbauprozess im Fermenter einer Biogasanlage positiv zu beeinflussen.

Die LUFA Nord-West (2005) und die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (2003) haben mehr als 4.500 Grassilageproben ausgewertet. Im Mittel wurden Mineralstoffkonzentrationen von 7,9 kg $P_2O_5$, 32,9 kg $K_2O$ und 3,6 kg MgO pro t TS ermittelt.

[1] NfE = stickstofffreie Extraktstoffe

Bei dem Phosphatgehalt und dem Magnesiumoxidgehalt wurden im Mittel bei der Untersuchung der Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe vergleichbare Konzentrationen analysiert, wie es die LUFA und die TLL in ihrer Auswertung ermittelt haben. Der Kaliumoxidgehalt ist im Vergleich zu der Auswertung der LUFA und der TLL bei den Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe lediglich halb so hoch (siehe Untersuchungswerte in der Tab. 2).

Eine gute Gärqualität bei Silagen ist gegeben, wenn im Mittel ein pH-Wert von kleiner 4,5 erreicht wurde. Dieses Maß wurde bei den Grassilagen aus Wussegel mit 4,8 und aus Damnatz mit 4,9 nur bedingt erreicht. Bei der Grassilage aus Jasebeck wurde mit einem pH-Wert von 6,0 kein ausreichend saurer Zustand erreicht. Die Ursache hierfür ist scheinbar der hohe TS-Gehalt, die dann fehlenden gelösten Kohlenhydrate und eine unzureichende Rückverfestigung der Biomasse beim Aufsetzen der Silagemiete. Das Ziel einer guten Gärqualität wurde verfehlt.

Ferner wird die Siliereigenschaft mit steigendem Rohaschegehalt ($_{min}$TS) beeinträchtigt.

„DRECK MACHT NICHT FETT“ (Nussbaum, 2007).

Schmutzarme Silagen sollten nicht mehr als 80 bis 100 Gramm Rohasche bzw. nicht mehr als 15 Gramm Sand je Kilogramm Trockenmasse aufweisen (Nussbaum, 2007, 2). Die im Deichvorland der Elbe geernteten Silagen haben einen Rohaschegehalt zwischen 76 bis 200 Gramm in der TM. Ohne Berücksichtigung des höchsten und niedrigsten Rohaschegehaltes beträgt der Rohaschegehalt in den Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe im Mittel 9,6% in der TM.

Hohe Rohaschegehalte beeinträchtigen durch Zunahme der Pufferkapazität den Futterwert und die Siliereignung des Erntegutes. Mit der Zunahme des Rohaschegehaltes steigt zugleich das Risiko einer Buttersäuregärung an, zumal Buttersäurebakterien (Clostridien) bodenbürtige Gärschädlinge sind (Nussbaum, 2007, 2). Eine hohe Verschmutzung in Silagen wirkt sich auf die Verstoffwechselung durch Mikroorganismen im Fermenter negativ aus.

Eine Verschmutzung erfolgt im Wesentlichen durch Aufspritzen von Bodenpartikeln (Regentropfenaufprall), Aufwirbeln (Winderosion), Überschwemmungen und ungewolltes Beimischen während der Ernte. Das Beimischen von Boden während der Ernte ist nicht vollständig vermeidbar, jedoch können durch standort- und witterungsangepasste Verfahren die Verschmutzungsanteile deutlich begrenzt werden. Das gelingt auf mineralischen und humusarmen Standorten besser als auf anmoorigen oder Moorböden, da bei trockenen Bodenverhältnissen geerntet werden kann.

Eine geringere Verschmutzung ist zu erreichen, wenn ein hoher Bodendeckungsgrad mit Pflanzenbewuchs erreicht wird. Auf Grünlandflächen wird dieser durch die Narbenpflege wie Abschleppen und bei Bedarf auch durch Walzen im Frühjahr, eine Nachsaat mit standortangepassten Mischungen und Sorten sowie standortangepasste Nutzungsintensität und –frequenz gesteuert. Dichte und grasreiche Grasnarben sind somit Voraussetzung für schmutzarme Silagen. Lückige und krautreiche Grünlandbestände erhöhen das Risiko einer Verschmutzung (Nussbaum, 2007, 3). Die vorgenannten Maßnahmen sind jedoch aufgrund des Biosphärenreservatsgesetzes im Deichvorland der Elbe nicht zulässig. Daher muss der landwirtschaftliche Betriebsleiter für sich abwägen, unter welchen Voraussetzungen und gegebenen Bedingungen eine verschmutzungsarme Beerntung erfolgen kann. Gegebenenfalls ist die Beerntung auf ungeeigneten Flächenarealen auszusparen, ein Hochschnitt von > 8 cm anzustreben und eine Beerntung nur bei einem absolut trockenen Untergrund durchzuführen. (siehe Anhangtabelle 5, Merkblatt zur Bewirtschaftung der Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe …).

**Tab. 2: Mineralstoffe in den Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe**

| Standort | Probe-nahme | TS | $_{org}$TS | $_{min}$TS | pH-Wert | N | $NH_4$-N | $P_2O_5$ | $K_2O$ | MgO | S |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | % | % in der TM | | | kg/t TM | | | | | |
| **Grippel** 2. Schnitt Häcksler aus 2007 | 18.05. 2009 | 29,9 | 80,0 | 20,0 | 4,1 | 15,3 | 1,5 | 7,7 | 11,7 | 4,9 | 2,3 |
| **Wussegel** 2. Schnitt Ladewagen 28.06.2008 | 09.07. 2009 | 38,1 | 89,8 | 10,2 | 4,8 | 26,3 | 3,2 | 7,1 | 18,6 | 4,3 | 2,5 |
| **Jasebeck** 1. Schnitt Ladewagen 01.06.2009 | 09.10. 2009 | 76,1 | 93,8 | 6,2 | 6,0 | 15,5 | 0,3 | 4,4 | 19,4 | 2,6 | 1,5 |
| **Wehningen** 1. Schnitt Häcksler Mai 2009 | 29.10. 2009 | 48,3 | 90,4 | 9,6 | 4,6 | 19,8 | 1,8 | 6,7 | 21,9 | 3,4 | 2,3 |
| **Wehningen** 1. Schnitt Häcksler Mai 2009 | 11.02. 2010 | 36,7 | 92,4 | 7,6 | 4,2 | 24,9 | 1,7 | 6,9 | 17,0 | 3,5 | 2,4 |
| **Damnatz** 1. Schnitt Häcksler Mai 2009 | 01.04. 2010 | 37,6 | 91,5 | 8,5 | 4,9 | 19,1 | 1,8 | 6,1 | 19,4 | 3,4 | 2,0 |
| **Grippel** 1. Schnitt, Häcksler 05.06.2009 | 25.05. 2010 | 29,8 | 88,4 | 11,6 | 4,1 | 19,2 | 1,8 | 6,1 | 17,0 | 4,3 | 2,3 |
| **Grippel** 2. Schnitt Ladewagen Juli 2010 | 06.09. 2010 | 24,8 | 90,2 | 9,8 | 4,0 | 21,9 | 1,0 | 6,8 | 15,6 | 6,1 | 3,4 |

### 4.2.4.3 Sensorische Beurteilung

Mit der sensorischen Beurteilung (Farbe, Geruch, Feuchte, Gefüge, Konsistenz, …) lassen sich Silagen schnell einstufen. Der sensorische Befund ist das gemittelte Ergebnis der visuellen und geruchlichen sowie sonstigen sensorischen Einschätzung eines Futtermittels.

Auf Grundlage der in der Anhangtabelle 1 bis 4 von Steinhöfel et al. aufgeführten Parameter zur sensorischen Bewertung von Grobfuttermitteln, wurden die aus dem Deichvorland der Elbe für das Projekt gelieferten Grassilagen bewertet (Steinhöfel, 2007, 53 - 56).

Bei der sensorischen Bewertung erhält jede Silage zunächst 100 Pluspunkte. Entsprechend der Bewertungskriterien erfolgt dann ggf. ein Punktabzug. Die Summe aller Punktabzüge wird von dem gegebenen Pluswert 100 abgezogen. Je höher der positive Restpunktwert ist,

desto besser ist die Silagequalität. Die Häckselqualität wird bei diesem Verfahren nicht bepunktet.

**Tab. 3: Sensorischer Befund der Bewertung zur Silagequalität**

| **Standort, Ware** | **Befund**<br>Geruch, Farbe, Verunreinigung, Gefüge, Häckselqualität | **Punktabzug** |
|---|---|---|
| **Grippel:**<br>2. Schnitt,<br>Häcksler,<br>geerntet 2007 | ▪ untypischer nicht arteigener Geruch<br>▪ bräunliche Färbung<br>▪ deutliche Verunreinigung wahrnehmbar<br>▪ leicht gestörtes Gefüge der Stängel und Blätter<br>▪ mäßige Häckselqualität<br>Qualitätsurteil => ungenügend | 40<br>15<br>30<br>10<br>---<br>5 |
| **Grippel:**<br>1. Schnitt,<br>Häcksler,<br>geerntet 05.06.09 | ▪ angenehm saurer Geruch / kein Essig- oder Buttersäuregeruch<br>▪ grünliche bis braune Färbung<br>▪ geringe Verunreinigung wahrnehmbar<br>▪ intaktes Gefüge der Stängel und Blätter<br>▪ gute Häckselqualität<br>Qualitätsurteil => gut | 0<br>0<br>10<br>0<br>---<br>90 |
| **Grippel:**<br>2. Schnitt,<br>Ladewagen,<br>geerntet Juli 2010 | ▪ frischer Geruch<br>▪ grünliche Färbung / leicht vergilbt<br>▪ geringe Verunreinigung wahrnehmbar<br>▪ intaktes Gefüges der Stängel und Blätter<br>▪ mäßige Häckselqualität<br>Qualitätsurteil => gut | 0<br>5<br>10<br>0<br>---<br>85 |
| **Wussegel:**<br>2. Schnitt,<br>Ladewagen,<br>geerntet 28.06.08 | ▪ arteigener Geruch<br>▪ gelbliche bis braune Färbung<br>▪ geringe Verunreinigung wahrnehmbar<br>▪ intaktes Gefüges der Stängel und Blätter<br>▪ mäßige Häckselqualität<br>Qualitätsurteil => befriedigend | 0<br>10<br>10<br>0<br>---<br>80 |
| **Wussegel:**<br>1. Schnitt,<br>Häcksler,<br>geerntet 26.05.09 | ▪ frischer Geruch<br>▪ grünliche Färbung<br>▪ keine Verunreinigung wahrnehmbar<br>▪ intaktes Gefüges der Stängel und Blätter<br>▪ gute Häckselqualität<br>Qualitätsurteil => sehr gut | 0<br>0<br>0<br>0<br>---<br>100 |
| **Jasebeck:**<br>1. Schnitt,<br>Ladewagen,<br>geerntet 02.06.09 | ▪ leicht muffiger Geruch<br>▪ gelbliche bis braune Färbung<br>▪ keine Verunreinigung wahrnehmbar<br>▪ intaktes Gefüges der Stängel und Blätter<br>▪ schlechte Häckselqualität (sehr lang)<br>Qualitätsurteil => ausreichend | 40<br>10<br>0<br>0<br>---<br>50 |
| **Wehningen:**<br>1. Schnitt,<br>Häcksler,<br>geerntet Mai 2009<br>Lieferung in 2009 | ▪ frischer Geruch<br>▪ grünliche bis braune Färbung<br>▪ geringe Verunreinigung wahrnehmbar<br>▪ intaktes Gefüges der Stängel und Blätter<br>▪ gute Häckselqualität | 0<br>0<br>10<br>0<br>--- |

| Standort, Ware | Befund<br>Geruch, Farbe, Verunreinigung, Gefüge, Häckselqualität | Punkt-abzug |
|---|---|---|
| | Qualitätsurteil => gut | 90 |
| **Wehningen:**<br>1. Schnitt,<br>Häcksler,<br>geerntet Mai 2009<br>Lieferung in 2010 | ▪ angenehm saurer Geruch / kein Essig- oder Buttersäuregeruch<br>▪ grünliche bis braune Färbung<br>▪ keine Verunreinigung wahrnehmbar<br>▪ intaktes Gefüge der Stängel und Blätter<br>▪ gute Häckselqualität<br>Qualitätsurteil => sehr gut | 0<br>0<br>0<br>0<br>---<br>100 |
| **Damnatz:**<br>1. Schnitt,<br>Häcksler,<br>geerntet Mai 2009 | ▪ frischer Geruch<br>▪ grünliche Färbung<br>▪ keine Verunreinigung wahrnehmbar<br>▪ intaktes Gefüge der Stängel und Blätter<br>▪ sehr gute Häckselqualität<br>Qualitätsurteil => sehr gut | 0<br>0<br>0<br>0<br>---<br>100 |

### 4.2.4.4 Schadstoffe in den Grassilagen

Über Jahrzehnte wurden mit Schadstoffen befrachtete Industrieabwässer in die Elbe eingeleitet. Dabei handelt es sich u. a. um Dioxine (PCDD/PCDF), dl-PCB und Schwermetalle. Die Schadstoffe sind auf den Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe an den Bodenpartikeln und im Bereich des Flussbettes der Elbe an den Sedimentpartikeln adsorbiert. Auch wenn die Einleitung industrieller Abwässer schon Jahrzehnte zurückliegt, findet auch heute noch bei einem Hochwasser eine Verfrachtung dieser Schadstoffe mit Sedimenten statt.

Durch die Verfrachtung der mit Schadstoffen angereicherten Sedimente, erfolgt bei jedem Hochwasser eine Verschmutzung der im Deichvorland wachsenden Biomasse. Bei der Erntegutaufbereitung bzw. Ernteguteinbringung werden über Sedimente und Bodenpartikel anhaftende Schadstoffe in das Erntegut eingemischt und bei der Verfütterung dem Tier zugeführt.

Auch wenn nur geringe Anteile an Bodenpartikeln in das Erntegut eingemischt werden, so ist auf jeden Fall die Konzentration an Dioxinen in dem Futtermittel aus dem Deichvorland der Elbe deutlich höher als von unbelasteten Flächen. Das lässt sich bei einer Grundbelastung von 100 bis 2.500 ng I-TEQ (NATO) pro Kilogramm Boden im Rahmen der Grünlandbewirtschaftung im Deichvorland der Elbe auch gar nicht vermeiden (Severin, 2004, 8 ff.).

Folglich ist es nur bedingt möglich, die zulässigen Höchstgehalte nach dem Futter- und Lebensmittelrecht einzuhalten. Aber auch bei der mikrobiellen Verstoffwechselung der Biomasse im Fermenter stellt sich die Frage, ob bei der Verwendung einer Biomasse mit einer erhöhten bis sehr hohen Schadstoffkonzentration nicht eine Prozessbeeinträchtigung eintritt. Mit Sicherheit wird es durch den Abbau an Biomasse zu einer Konzentration an Schadstoffen im Gärrest kommen. Inwiefern ein solcher Gärrest noch tolerabel auf landwirtschaftlich genutzten Flächen im Binnendeichbereich eingesetzt werden kann, wird im Kapitel 8, Nähr- und Schadstoffe im Gärrest behandelt.

Nach der FuttMV 2010, Anlage 5 zu den §§ 23, 23a, 24 und 26 sind folgende Höchstgehalte für unerwünschte Stoffe bei der Verwendung von Grassilagen einzuhalten:

**Tab. 4: Höchstgehalte an unerwünschten Stoffen in Grassilage nach FuttMV,** Auszug

Die aufgeführten Gehalte an unerwünschten Stoffen beziehen sich auf Futtermittel mit **88 v. H. Trockenmasse**. Die Gehalte werden, soweit Dioxine betroffen sind, in **Nanogramm TEQ je Kilogramm**, im Übrigen in **Milligramm je Kilogramm** angegeben[2].

| unerwünschter Stoff | Futtermittel | Höchstgehalt (siehe Vorbemerkung) |
|---|---|---|
| **Arsen** | Einzelfuttermittel | 2 |
| **Blei** | Heu, Silage und frisches Gras | 30 |
| **Quecksilber** | Einzelfuttermittel | 0,1 |
| **Cadmium** | Einzelfuttermittel | 1 |
| **Dioxine** | Einzelfuttermittel | 0,75 |
| **Dioxine + dl-PCB** | Einzelfuttermittel | 1,25 |

In der Tabelle 5 sind die analysierten Schadstoffe in den Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe aufgeführt. Eine besonders hohe Kontamination mit Schadstoffen wurde für die Grassilage aus Grippel, 2. Schnitt aus dem Jahre 2007 nachgewiesen. Die zulässigen Höchstgehalte nach FuttMV sind für die Elemente Cadmium, Quecksilber, Arsen und bei den Dioxinen deutlich überschritten. Aber auch die sonstigen Schwermetalle ergaben Konzentrationen, die sich deutlich von den Werten der anderen untersuchten Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe abheben. Mit hoher Wahrscheinlichkeit ist ein ursächlicher Zusammenhang mit der sehr hohen Verschmutzung der Grassilage mit Boden gegeben (siehe Tab. 2).

Eine Überschreitung des zulässigen Höchstwertes nach FuttMV für Cadmium wurde auch bei der Grassilage aus Grippel vom Juli 2010 mit einem Wert von 1,13 mg pro kg bei 88% TS analysiert. Die Belastung mit Cadmium bei den Grassilagen weist eine Spannbreite von 0,33 bis 1,65 mg pro kg bei 88% TS auf. Somit überschreiten 25% der untersuchten Grassilagen den zulässigen Höchstwert nach Futtermittelrecht beim Cadmium.

Die Quecksilberwerte sind in den Grassilagen nach FuttMV, bis auf den einen Extremwert in der Grassilage aus dem Jahre 2007, durchgängig gering.

Bis auf den einen Wert der untersuchten Grassilage aus dem Jahre 2007, wird bei keiner weiteren Grassilage der zulässige Höchstwert für Arsen nach FuttMV überschritten.

Bei den dioxinähnlichen polychlorierten Biphenylen (dl-PCB) ergab die Untersuchung der Grassilagen eine Spannbreite von 0,12 bis 0,19 ng TEQ pro kg TM. Die Grassilage mit dem höchsten Verschmutzungsgrad weist auch bei den dl-PCB den höchsten Wert auf. Jedoch wurde auch bei zwei Grassilagen mit einem relativ geringen Verschmutzungsgrad eine Konzentration im Bereich von 0,14 bis 0,16 ng TEQ pro kg TM analysiert. Dies lässt den Schluss zu, dass es bei den dl-PCB keine Korrelation zum Verschmutzungsgrad der Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe gibt. Aufgrund der geringen Spannbreite der analysierten Werte und der geringen Konzentration im Vergleich zum Aktionswert[3] 0,35 ng TEQ pro kg TM wird

[2] Details zur Abgrenzung der rechtlichen Definition siehe Anhang, Anhangtabelle 2
[3] Wird der Aktionswert überschritten, ist ein Handlungsbedarf zur Ursachenermittlung gegeben.

gefolgert, dass die dl-PCB als Schadstoff für die Flächen im Deichvorland der niedersächsischen Elbe von Schnackenburg bis Geesthacht praktisch keine Bedeutung haben.

**Tab. 5: Schadstoffe in den Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe**

| Standort | Probe-nahme | Pb | Cd | Cr | Cu | Ni | Hg | Zn | As | TEQ dl-PCB[4] | TEQ PCDD/F[5] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | mg/kg TM | | | | | | | | ng/kg TM | |
| **Grippel** 2. Schnitt Häcksler aus 2007 | 18.05. 2009 | 16,0 | 1,88 | 11,0 | 22,0 | 8,0 | 0,58 | 191 | 5,78 | 0,19 | 39,5 |
| **Wussegel** 2. Schnitt Ladewagen 28.06.2008 | 09.07. 2009 | 0,57 | 0,38 | < 1 | 7,5 | 2,6 | 0,02 | 48 | 0,36 | 0,12 | 1,01 |
| **Jasebeck** 1. Schnitt Ladewagen 01.06.2009 | 09.10. 2009 | 0,33 | 0,44 | 1,4 | 9,0 | 3,4 | 0,02 | 75,0 | 0,23 | 0,12 | 0,76 |
| **Wehningen** 1. Schnitt Häcksler Mai 2009 | 29.10. 2009 | 2,00 | 0,42 | 2,0 | 11,0 | 2,0 | 0,06 | 102 | 0,81 | 0,14 | 2,56 |
| **Wehningen** 1. Schnitt Häcksler Mai 2009 | 11.02. 2010 | 1,00 | 0,59 | 1,0 | 12,0 | 4,0 | 0,02 | 140 | 0,64 | 0,16 | 0,25 |
| **Damnatz** 1. Schnitt Häcksler Mai 2009 | 01.04. 2010 | < 2[6] | 0,55 | 2,0 | 10,0 | 3,0 | 0,04 | 96,0 | 0,82 | 0,12 | 0,65 |
| **Grippel** 1. Schnitt, Häcksler 05.06.2009 | 25.05. 2010 | 3,00 | 0,62 | 5,0 | 13,0 | 4,0 | 0,08 | 96,0 | 1,05 | 0,15 | 1,40 |
| **Grippel** 2. Schnitt Ladewagen Juli 2010 | 06.09. 2010 | < 2 | 1,28 | 2,0 | 7,0 | 4,0 | 0,07 | 121 | 0,67 | 0,13 | 2,11 |

Die Kontamination der Grassilagen mit Dioxinen ist hoch. Bei fünf von acht Proben wurde eine Überschreitung der zulässigen Höchstwerte nach FuttMV analysiert. Vom Ergebnis durften somit 62,5% der Grassilagen nicht verfüttert werden. Bei zwei weiteren Grassilagen wurde der Aktionswert von 0,5 ng TEQ pro kg TM für Dioxine überschritten und lediglich eine Grassilage wies eine geringe Belastung auf. Die Spannbreite der analysierten Werte bei den Dioxinen reicht von 0,22 bis 34,8 ng TEQ pro kg TM (siehe Tabelle 5, Werte wurden nicht auf Basis der FuttMV mit einem TS-Gehalt von 88% umgerechnet).

[4] TEQ (WHO 1997) dl-PCB
[5] TEQ (NATO/CCMS) PCDD/PCDF
[6] < Bestimmungsgrenze

# 5 Der vierstufige Abbau von Biomasse in einer Biogasanlage – Stand des Wissens

In einer Biogasanlage wird das biogene Substrat unter anaeroben Bedingungen durch spezielle Bakteriengemeinschaften zu Biogas umgesetzt. Der Vergärungsprozess, auch Fermentation genannt, verläuft dabei unter Ausschluss von Luft und Licht in vier Stufen.

Bei dem Vergärungsvorgang wird die von Pflanzen durch Photosynthese mit Sonnenenergie aufgebaute Kohlenstoffbindung wieder aufgespalten und als Methan freigesetzt, das der Energieerzeugung durch Verbrennung dienen kann. Insofern ist die Biogasnutzung im weiteren Sinne eine besondere Form der Sonnenenergienutzung.

**Abb. 7: Der vierstufige Gärverlauf in einer Biogasanlage:**
[Quelle: modifiziert nach Besgen 2005, 28]

| Phase | Prozessprodukte |
|---|---|
| 1. **Hydrolyse** (Exoenzyme)<br>2. **Acidogenese** / Säurebildung (acidogene Bakterien)<br>3. **Acetogenese** / Säureabbau (acetogene Bakterien)<br>4. **Methanogenese** (methanogene Bakterien) | Ausgangsprodukt = **Proteine, Kohlenhydrate, Fette** ↓ **Aminosäuren, Zucker, Fettsäuren** ↓ **organische Säuren, Alkohole** ↓ **Essigsäure, Wasserstoff, Kohlendioxid** ↓ Endprodukt = **Methan** |

Die energetische Freisetzung der über Photosynthese aufgebauten Molekularstruktur der organischen Masse, erfolgt in einem Fermenter durch eine spezielle Bakterienmischkultur. In einer ersten Phase werden die hochmolekularen Strukturen gespalten und mineralisiert, wodurch niedermolekulare Verbindungen entstehen, indem organische Feststoffe wie Eiweiße, Kohlenhydrate und Fette zu Fettsäuren und Alkoholen abgebaut werden (siehe Abb. 7:).

## 5.1 Enzymatische Hydrolyse / Verflüssigung (aus Polymere werden Monomere)

Während der Hydrolyse oder auch Verflüssigung werden hochmolekulare, organische Substanzen wie Eiweißkörper, Kohlenhydrate oder Cellulose durch extrazellulare Enzyme von Bakterien in wasserlösliche, niedermolekulare Verbindungen umgeformt. Dabei werden organische Materialien durch Enzyme aufgeschlossen, die von hydrolytischen Bakterien ausgeschieden werden. Da diese Enzyme an der Außenseite der Bakterien haften bleiben, werden sie Exoenzyme genannt.

Bei der Verflüssigung der organischen Bestandteile des Substrates werden diese in kleine wasserlösliche Bestandteile aufgespalten. Es handelt sich bei der Hydrolyse um eine Umwandlung von Polymeren in Monomere. Die Hydrolyse von komplexen organischen Materialien ist ein langsamer Prozess, der von der Aktivität der extracellularen Enzyme wie Cellula-

sen, Amylasen, Proteasen und Lipasen abhängig ist. Der Vorgang wird wesentlich durch den pH-Wert und die Verweilzeit beeinflusst. Der optimale pH-Wert für die Hydrolyse variiert dabei in Abhängigkeit von den abzubauenden Substanzen.

Bei der Hydrolyse vollziehen sich folgende Abbauprozesse:

Nukleinsäuren ⟶ Basen
Kohlenhydrate ⟶ Zucker (Mono-, Disaccharide)
Fette ⟶ Fettsäuren, Glyceride
Proteine ⟶ Aminosäuren

## 5.2 Acidogenese / Versäuerung (aus Monomere werden Fettsäuren, Alkohole)

Bei der Versäuerung findet eine weitere Umwandlung der in der Hydrolyse entstandenen Stoffe statt. Verantwortlich für die Versäuerung sind säurebildende (acidogene) Bakterien. Bei diesem Prozess werden Monomere in die Zellen der Bakterien eingeschleust, wo sie in Fettsäuren und Alkohole umgewandelt werden. Die Umwandlung der Monomere in Fettsäuren und Alkoholen erfolgt durch fakultativ anaerobe Bakterien, die den noch verbliebenen Sauerstoff verbrauchen und so die notwendigen anaeroben Bedingungen für die Methanbakterien schaffen. Bei der Umwandlung werden hauptsächlich kurzkettige Carbonsäuren (Essig-, Ameisen-, Butter-, Propionsäure), niedermolekulare Alkohole wie Ethanol und Gase wie Kohlendioxid, Wasserstoff, Schwefelwasserstoff und Ammoniak erzeugt. Der Prozess der Umwandlung verläuft optimal bei einem pH-Wert zwischen 6,0 bis 7,5.

## 5.3 Acetogenese / Essigsäurebildung

In der dritten Phase des anaeroben Abbaus biogener Substanzen werden die während der Hydrolyse und Acidogenese gebildeten niederen Fett- und Carbonsäuren und die niederen Alkohole, durch acetogene Mikroorganismen primär zu Essigsäure bzw. dessen gelöstem Salz, dem Acetat umgewandelt. Der Stoffwechsel in der acetogenesen Phase vollzieht sich durch sehr temperaturempfindliche protonenreduzierende Bakterien. Es handelt sich an dieser Stelle um den kompliziertesten Schritt innerhalb des gesamten thermodynamischen Systems. Nur bei ausreichend hoher Temperatur können die Bakterien die endogenen Reaktionen durchführen und gleichzeitig dem eigenen Wachstum nachkommen.

## 5.4 Methanogenese

Bereits während der dritten Phase des Vergärungsprozesses bzw. Biomasse-Abbaus entstehen methanogene Verbindungen, die in der vierten Abbauphase von den Methanbakterien zu Biogas abgebaut werden. Dabei wird die während der Acetogenese gebildete Essigsäure gespalten und das gebildete Kohlendioxid mittels Wasserstoff reduziert. In dieser Phase werden ca. 90% des gesamten Methans produziert.

Das entstehende Methan wird zu etwa 70% aus Essigsäure produziert und zu etwa 30% aus der Reduktion von Kohlendioxid mit Wasserstoff. Darüber hinaus können einige methanogene Bakterien zur Herstellung von Methangas auch Methanol oder Ameisensäure nutzen.

Dieser Vorgang spielt eine untergeordnete Rolle. Im Allgemeinen sind die methanogenen Bakterien von allen Bakterienpopulationen, die in diesem Prozess involviert sind, die sensibelsten im Hinblick auf pH-Wert, Temperatur, Schadstoffe usw.

Der optimale pH-Wert für die methanogenen Bakterien liegt bei pH 7. Ein stabiler anaerober Vergärungsprozess kann jedoch nur dann ablaufen, wenn die methanogenen Bakterien in dem Abbauprozess stabil sind. Ein stabiler Abbauprozess trägt dazu bei, dass die methanogenen Bakterien den pH-Wert nicht zu hoch ansteigen lassen und die Säuren beseitigt werden, die sich schon in früheren Phasen gebildet haben. Luftsauerstoff hemmt die Stoffwechseltätigkeit der Bakterien bzw. tötet sie gar ab.

Es ist anzumerken, dass eine genaue Trennung der vier Phasen in Wirklichkeit nicht existiert, da die Methan- und Säurebakterien in einer Symbiose miteinander verbunden sind. Die Prozesse laufen räumlich sowie zeitlich parallel ab und beeinflussen sich gegenseitig durch ihren komplexen Zusammenhang. Die lokalen Bedingungen von Temperatur, Substratzusammensetzung und weitere prozessbedingte Faktoren beeinflussen das System. Lediglich eine Abgrenzung der ersten Stufe, der Hydrolyse ist möglich, indem ein zweistufiges System mit einem kleineren vorgeschalteten Gärbehälter und einem daran anschließenden Fermenter errichtet wird. Diese Bauform ist jedoch in der Praxis weniger häufig zu finden (der vierstufige Abbau der Biomasse wurde in Teilen entnommen aus Simone Besgen 2005, S. 27 – 30).

Die Biogasanlage in Breese in der Marsch arbeitet verfahrenstechnisch einstufig. Es findet bei dieser Anlage keine räumliche Trennung der verschiedenen Prozessphasen (Hydrolyse, Versäuerung, Essigsäurebildung und Methanbildung) statt.

# 6 Die Monovergärung von Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe – Ergebnisse zum technischen Betrieb der Biogasanlage

Der Begriff Monovergärung setzt sich aus den Wortteilen „Mono“ und „Vergärung“ zusammen. Mono ist aus dem griechischen monos abgeleitet und steht für „allein“, „einzig“. Die Vergärung beschreibt die mikrobielle Verstoffwechselung einer Biomasse in einem Fermenter bei der Biogasproduktion. Demzufolge geht es bei der Monovergärung um die mikrobielle Umsetzung eines einzigen biogenen Substrates zur Biogasgewinnung.

Die mikrobielle Verstoffwechselung, also die Aufnahme, der Transport und die chemische Umwandlung von Stoffen in einem Organismus sowie die Abgabe von Stoffwechselprodukten an die Umgebung, lassen sich für die Prozesse in einem Fermenter einer Biogasanlage im Detail nur bedingt bewerten. Die Schwierigkeit liegt darin, dass der biologische Prozess jeweils nur zeitversetzt über Messdaten verfolgt werden kann. Weisen die Messdaten nun heterogene und somit abweichende Daten auf, so kann von einer Störung des biologischen Prozesses ausgegangen werden.

Bei Störungen muss der Betreiber einer Biogasanlage rasch erkennen, wodurch die Störung hervorgerufen wird. Bei einer Flüssigvergärungsanlage wird ggf. aus dem Fermenter eine Probe der Gärmaische entnommen. Im hauseigenen Labor der Biogasanlage wird die Probe dann auf prozessbeeinflussende Leitparameter untersucht. Die Leitparameter geben Aufschluss darüber, wie und mit welchen Maßnahmen die Stabilität des mikrobiellen Prozesses wieder erreicht werden kann.

Bei einer Feststoffvergärungsanlage im Batch-Verfahren kann eine Nachjustierung im laufenden Prozess nur bedingt erfolgen. Um die Prozessbiologie bei einer solchen Anlage zu stabilisieren, könnte man vorübergehend das Gärmaterial im Fermenter mit einer höheren Dosis an Perkolat[7] über in der Decke eingebaute Düsen besprühen.

Ansonsten gilt, die Prozessbiologie über Messdaten bis zu einem vorher selbst bestimmten kritischen Punkt genau zu beobachten und dann kurzfristig einen Substrataustausch vorzunehmen. Der Substratwechsel muss jedoch zu einem Zeitpunkt erfolgen, bevor der mikrobielle Stoffwechselprozess inaktiv wird.

## 6.1 Stoffwechselprozesse im Fermenter 7

Während der gesamten Projektlaufzeit wurden tagesgenaue Aufzeichnungen der Biogasmengen vorgenommen. Die Tagesgasmengen wurden für den Zeitraum eines Wechselintervalls summiert und es wurde aus der Summe ein mittlerer Tagesgaswert errechnet. Die mittlere Tagesgasmenge wurde ins Verhältnis zur kalkulatorischen Zielgröße von 770 $m^3$ Biogas pro Tag und Fermenter gesetzt. Für die gesamte Projektlaufzeit lässt sich so die mittlere relative Tagesgasmenge als Graph darstellen (Abb. 8).

Mit dem Substrataustausch am 28.07.2009 hat quasi der Echtbetrieb der reinen Monovergärung begonnen. In der Zeit vom 18.05. bis 27.07.2009 wurden drei Substratwechsel vorgenommen. Dabei wurde jeweils 40% vom alten Substrat gegen frisches Substrat ausgetauscht (siehe auch Kapitel 3, Substratwechsel).

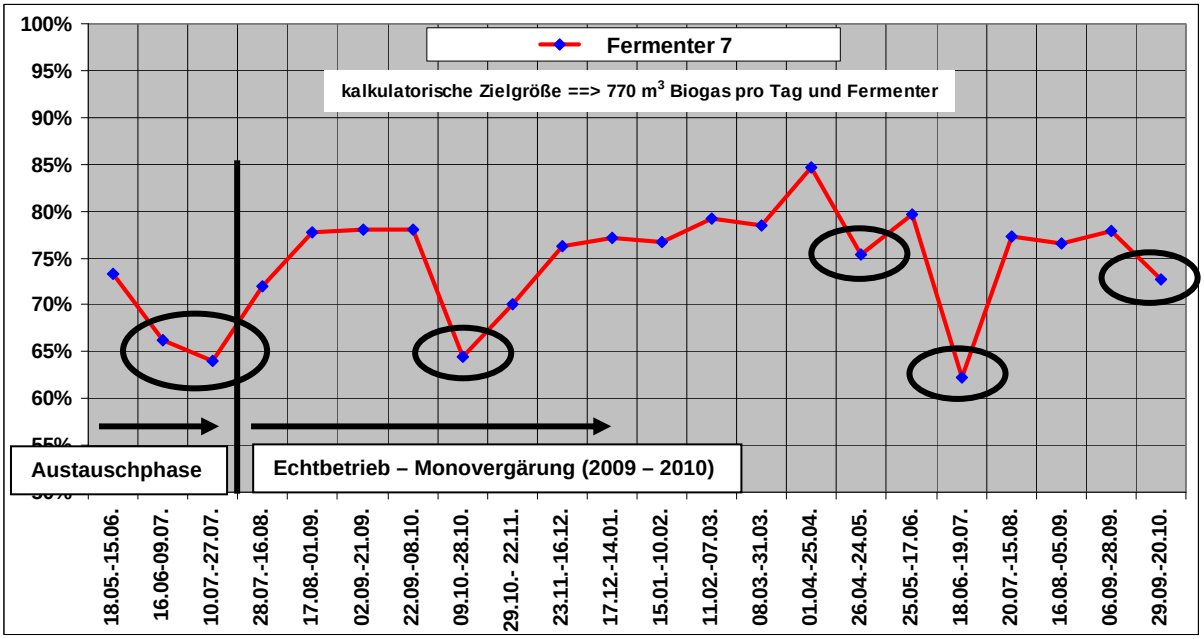
Der Graph der relativen Tagesgasmenge für den Fermenter 7 lässt erkennen, dass während des Projekts die Prozessbiologie fünf Störungen aufweist. Drei Störungen waren erheblich.

Nach der sensorischen Bewertung wurde am 18.05. und 16.06. (Grippel, 2. Schnitt, 2007) eine Grassilage eingesetzt, die von der Qualität als ungenügend eingestuft war. Ferner wies der analytische Befund für diese Grassilage einen Rohaschegehalt von 20% aus. Die schlechte Qualität der Grassilage und die Umstellung auf das Monovergärungsverfahren mit ausschließlich nur noch Grassilagen als Inputstoff, dürfte die Ursache der aufgetretenen biologischen Prozessstörung sein. Inwiefern die sehr hohe Schadstoffkonzentration in der Grassilage einen Anteil an der Prozessstörung hatte, lässt sich anhand der vorliegenden Parameter nicht ableiten.

Am 10.07.2009 wurde eine Grassilage (Wussegel, 2. Schnitt, 2008) mit der Qualitätsbewertung befriedigend eingesetzt. Die relative Biogasertragsmenge ist auch mit dieser Grassilage weiter gesunken. Erst mit der Verwendung einer qualitativ sehr guten Grassilage (Wussegel, 1. Schnitt, 2009) ab dem 28.07.2009 hat sich eine stabile Gasproduktion eingestellt. Dieses ist sicherlich auch der Tatsache geschuldet, dass nach dem zweiten Teilaustausch des Gärmaterials mit guter bis sehr guter Grassilage günstigere Bedingungen für die mikrobielle Verstoffwechselung im Fermenter eingetreten waren.

[7] Bei der mikrobiellen Umsetzung der Biomasse platzen die Pflanzenzellen und es werden Pflanzensäfte freigesetzt. Die Pflanzensäfte durchsickern das im Fermenter eingebrachte Substrat. Diesen Vorgang nennt man auch Perkolation. Dabei werden Mineralien herausgelöst bzw. gefällt. Das flüssige Gemisch (Perkolat) wird über Öffnungen im Boden des Fermenters einem Perkolatspeicher zugeführt. Nach einem Substratwechsel und bei Bedarf wird die Gärmasse im Fermenter über eingebaute Deckendüsen mit dem Perkolat besprüht.
Die hohen Gehalte an gelösten Mineralien und organischen Säuren im Perkolat bewirken durch das Besprühen der Biomasse im Fermenter eine hohe biologische Aktivität. Durch das Animpfen der frischen Biomasse mit Perkolat wird die Biogasproduktion rasch auf Maximalleistung gebracht. Nicht benötigtes Perkolat wird mit einem Güllefass auf landwirtschaftlich genutzte Flächen zum Zwecke der Düngung aufgebracht.

**Abb. 8: Mittlere relative Tagesmenge an Biogas für ein Wechselintervall**




Ganz massive Probleme gab es mit der Prozessbiologie ab dem 09.10.2009 nach dem Einsatz einer Grassilage (Jasebeck, 1. Schnitt, 2009) deren Qualität noch mit ausreichend bewertet wurde. Aufgrund des hohen TS-Gehaltes mit 76,1% in der Grassilage und der strohigen Struktur sowie dem sehr hohen Rohfasergehalt drohte der biologische Prozess inaktiv zu werden. Um hier entgegen zu wirken, wurde das Substrat im Fermenter mit großen Mengen Perkolat besprüht. Da die eigene Menge an Perkolat nicht ausreichte, wurde noch von einer benachbarten Biogasanlage zusätzlich Perkolat mit eingesetzt.

Mit dem Substratwechsel am 29.10.2009 wurde eine andere Strategie angewandt. Die strohige Grassilage (= Heusilage) wurde bei dem anstehenden Substratwechsel lediglich noch mit 15% der auszutauschenden Tonnage berücksichtigt. Aufgrund der vertraglichen Verpflichtung musste diese eigentlich ungeeignete Heusilage bis zum Ende des Projektes mit eingesetzt werden. Dabei betrug der Anteil an der auszutauschenden Tonnage jeweils 14 bis 20%.

Nach dem Gärsubstratswechsel am 26.04.2010 nahm die Gasproduktionsmenge von einem sehr hohen Niveau ausgehend deutlich ab. Auf Basis der eingesetzten Grassilagen gibt es hierfür keine Erklärung. Denn wie bereits am 01.04.2010 wurden auch am 26.04.2010 anteilig die gleichen Grassilagen (Damnatz, 1. Schnitt, 2009 und Jasebeck, 1. Schnitt, 2009) eingesetzt. Anhand der zugänglichen Daten lässt sich die eingetretene Störung der Prozessbiologie nicht erklären.

Am 18.06.2010 wurden drei Grassilagen (Jasebeck, 1. Schnitt, 2009, Grippel, 1. Schnitt, 2009 und Grippel, 2. Schnitt, 2008) mit unterschiedlichen Qualitätsmerkmalen gleichzeitig eingesetzt. Zugleich wurde erstmalig eine relativ große Menge mit 111 t FM an Grassilage ausgetauscht. Außerdem waren die Grassilagen aus Grippel relativ nass. In der Kombination all dieser Faktoren ist der mikrobielle Prozess nach dem Schließen der gasdichten Tore während der gesamten Gärphase nicht richtig in Gang gekommen. Es hat nach Auskunft des Biogasbetreibers eine Versäuerung stattgefunden. In der Folge ist die Biogasproduktion massiv zurückgegangen.

Nach dem Substratwechsel am 29.09.2010 weist die abfallende mittlere relative Tagesmenge an Biogas auf eine Störung der biologischen Aktivität hin. Mit dem eingesetzten Substrat ist dies nicht zu erklären. Denn von den Grassilagen (Jasebeck, 1. Schnitt, 2009 und Grippel, 2. Schnitt, 2010), der Austauschmenge an Frischmasse und der anteiligen Tonnage, gibt es keine Änderung zur eingesetzten Biomasse vom 06.09.2010.

Eine Erklärung ist möglicherweise aus der Tatsache abzuleiten, dass die Grassilage aus Grippel mit 24 % TS-Gehalt relativ nass war. Durch das nasse Substrat lagert die Grassilage nach einem Substrataustausch im Fermenter relativ dicht. Im Inneren der aufgeschichteten Biomasse können dadurch möglicherweise die Acetogenese, also der Säureabbau, und der weitere Prozess der Methanogenese nur eingeschränkt erfolgen. Dies würde auch erklären, weshalb die Methankonzentration im Biogas während dieser Gärphase auf 43,9% abgesunken ist.

**Zusammenfassend ist der vierstufige Abbau von Biomasse auf Basis der Monovergärung wie folgt zu bewerten**:

Während des gesamten Projektes gab es keine so erhebliche Störung, dass die mikrobielle Verstoffwechselung inaktiv wurde. Ob hohe Schadstoffkonzentrationen in den Grassilagen einen Einfluss auf die Prozessbiologie hatten, konnte anhand der vorliegenden Parameter nicht belegt werden. Wenn es einen Einfluss gab, wurde dieser von den anderen Faktoren überlagert.

Wenn die nach naturschutzfachlichen Vorgaben produzierten Grassilagen standardisierte Qualitätsnormen erfüllen, lässt sich auch mit diesen Grassilagen ein stabiler biologischer Prozess bei der Fermentation der eingesetzten Biomasse in einer Biogasanlage erreichen.

Die Grassilagen sollten mindestens folgende Anforderungen erfüllen: Der erste Schnitt sollte bereits Ende Mai erfolgen, nur so lässt sich der Rohfasergehalt auf 22 bis 25% in der Trockenmasse begrenzen. Der Trockensubstanzgehalt sollte sich in einem Bereich von 30 bis maximal 40% bewegen. Der Verschmutzungsgrad an Rohasche sollte 10% nicht überschreiten. Das Erntegut ist nach dem Schwaden von einem Häcksler aufzunehmen und auf eine Schnittlänge von < 4 cm kurz zu häckseln. Die Silierung des Futtergutes hat nach den Vorgaben der guten fachlichen Praxis (z.B. Verfestigung mit einem Walzschlepper und unverzügliche Abdeckung des Silos mit zwei Silofolien nach Beendigung der Silobefüllung und Verdichtung, etc.) zu erfolgen. Für die kontinuierliche Lagerung der Grassilage sollte eine feste Siloplatte mit luftdichten Seitenwänden in unmittelbarer Nähe zu den Grünlandflächen errichtet werden.

## 6.2 Biogaserträge im Fermenter 7 und in den Fermentern 1 bis 6

### 6.2.1 Produkteigenschaft von Grassilage für die Biogasproduktion

Der wirtschaftliche Erfolg einer Biogasanlage hängt ganz wesentlich davon ab, welche Biogaserträge mit welcher Qualität und in welcher Zeiteinheit aus der eingesetzten Biomasse produziert werden kann. Der flächenabhängige Energieertrag von Grassilagen für die Nutzung in Biogasanlagen ist wie bereits beschrieben, ganz wesentlich von der Produkteigenschaft abhängig. Je nach Bestandszusammensetzung und insbesondere in Abhängigkeit vom Erntezeitpunkt können die Energiegehalte schwanken. In der Tabelle 6 wurde die Produkteigenschaft einer Grassilage für den Einsatz in der Biogasanlage als Vergleichsmaßstab übernommen.

**Tab. 6: Produkteigenschaften von Grassilage für Biogasanlagen**
(Quelle: KTBL - Datensammlung Energiepflanzen, 2006, 272)

| Produkteigenschaft | Einheit | Gehalt bzw. Ertrag |
|---|---|---|
| TM - Gehalt | % | 35 |
| davon oTM - Gehalt | % | 88 |
| Gasausbeute in $l_N$ pro kg org. Substanz | $l_N$/kg oTM | 560 |
| in $m^3$ pro t Frischmasse | $m^3$/t FM | 172 |
| Methangehalt | % | 54 |
| Methanertrag in $l_N$ pro kg org. Substanz | $l_N$/kg oTM | 302 |
| in $m^3$ pro t Frischmasse | $m^3$/t FM | 93 |
| in MJ pro t Frischmasse | MJ/t FM | 3.353 |
| in kWh bei 10 kWh/$m^3$ Methan | kWh/t FM | 931 |
| Ertrag el. Strom (el. Wirkungsgrad 32%) | kWh/t FM | 298 |

Die Tabelle 7 gibt Auskunft über flächenbezogene Energieerträge von Grassilagen. Sie wurde dahingehend modifiziert, dass auf Basis der mittleren Ertragserwartung für die Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe, die Energieerträge mit ausgewiesen wurden.

Im Vergleich zu einer intensiv geführten Grünlandfläche nach KTBL (hohes Ertragsniveau), ist die mittlere Ertragserwartung auf den Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe mit 170 dt Frischmasse pro Hektar nur halb so hoch. Dies hat Auswirkungen in gleicher Höhe auf den Methanertrag in Kubikmeter pro Hektar, die Energieleistung in GJ/ha, den Arbeitsertrag in kWh/ha und den Ertrag der elektrischen Stromleistung in kWh/ha.

**Tab. 7: Flächenbezogene Angaben zum Energieertrag von Grassilage für Biogasanlagen** (Quelle: KTBL - Datensammlung Energiepflanzen, 2006, 273, modifiziert durch Heuer)

| flächenabhängige Angaben | Einheit | Ertragsniveau | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | sehr niedrig[8] | niedrig | mittel | hoch |
| Ertrag | dt FM/ha | 170 | 200 | 280 | 340 |
| Ertrag (32% TS-Gehalt) | dt TM/ha | 54 | 64 | 90 | 109 |
| Lagerungsverlust[9] | % | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Methanhektarertrag in $m^3$ | $m^3$/ha | 1.391 | 1.639 | 2.344 | 2.811 |
| in GJ | GJ/ha | 50 | 59 | 84 | 101 |
| in kWh bei 10 kWh/$m^3$ Methan | kWh/ha | 13.928 | 16.392 | 23.441 | 28113 |
| Ertrag el. Strom (el. Wirkungsgrad 32%) | kWh/ha | 4.457 | 5.246 | 7.501 | 8.996 |

[8] Mittlere Erträge auf den Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe
[9] Enthält Trockenmasseverluste von 6%, Randverluste von 5% und Entnahmeverluste von 1%; Sickersaft wird in die Biogasanlage rückgeführt.

### 6.2.2 Biogaserträge der eingesetzten Grassilagen

Anhand von Lieferdaten, vorhandenen Untersuchungsdaten und Standardwerten (Faustzahlen) wurde die Energieleistung der eingesetzten Grassilagen bewertet. Dies konnte nur näherungsweise erfolgen, da bei jedem Substratwechsel gut zwei Drittel des Altmaterials im Fermenter verbleiben. Die Gasleistung, die vom Altmaterial noch ausgeht, lässt sich als Größe in der Praxisanlage nicht abgreifen.

Um eine Vergleichbarkeit herstellen zu können, wurde daher die Annahme getroffen, dass die Gasproduktionsquote des Altmaterials immer gleich hoch ist. Vor diesem Hintergrund wurde die Gasproduktionsquote für das Altmaterial gleich Null gesetzt. Die während einer Gärperiode gemessene Biogasmenge wurde dann vollständig der zu Beginn der Gärperiode neu eingebrachten Grassilage zugerechnet.

Nach allgemeinen Standardwerten kann mit einer Grassilage eine Biogasmenge in Höhe von 560 $l_N$/kg oTM und ein Methanertrag von 302 $l_N$/kg oTM (siehe auch Tab. 6) erzielt werden. Die Methankonzentration beträgt für eine derartige Grassilage im Mittel 54%. Für eine Grassilage mit einem Trockensubstanzgehalt von 32% errechnen sich Ertragsmengen an Biogas von 158 $m^3$ und an Methan von 85 $m^3$ pro t Frischmasse (siehe Tab. 6).

**Tab. 8: Summen und gemittelte Mengen – Grassilage, organische Trockenmasse, Biogasertrag, Methanertrag über die gesamte Projektlaufzeit**
(siehe auch Anhangtabelle 3-1 bis 3-4)

| Kalenderjahr | Jahr | 2010 | **Projektlaufzeit** |
|---|---|---|---|
| Gärprozess | Zeitabschnitt | 29.09.-20.10. | **Summen und Mittelwerte** |
| Dauer der Gärphase | Tage | 22 | **520** |
| Grassilage zugeführt | t FM | 98,03 | **1.565,03** |
| TS-Gehalt (gew. arith. Mittel) | % | 30,47 | **40,63** |
| Grassilage zugeführt (32% TS) | t FM | 93,34 | **1.987,03** |
| TM Grassilage | t TM | 29,87 | **635,85** |
| davon oTM (88% in TM) | t TM org. | 26,29 | **559,57** |
| Biogasmenge (Gärphase) | $m^3$ | 12.324,20 | **297.936,50** |
| Tagesmenge - Biogas | $m^3$ | 560,2 | **573** |
| Biogas $m^3$ pro t FM (32% TS) | $m^3$ | 132,04 | **149,94** |
| Biogas in $l_N$ pro kg oTM | Liter | 468,78 | **532,44** |
| Methangehalt ($CH_4$) | % | 43,9 | **48,95** |
| Methanertrag (Gärphase) | $m^3$ | 5.410,32 | **145.843,39** |
| Methanertrag pro Tag | $m^3$ | 245,92 | **280,47** |
| $CH_4$ in $l_N$ pro kg oTM | Liter | 205,79 | **260,63** |
| $CH_4$ in $m^3$ pro t FM (32% TS) | $m^3$ | 57,96 | **73,4** |
| Herkunft der Grassilagen und wertgebende Angaben | | Jasebeck<br>9,08 t FM<br>TS 76,1%<br>1. Schnitt 2009<br><br>Grippel<br>66,24 t FM<br>TS 27,6%<br>1. Schnitt 2009 | |

Die Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe, die während der gesamten Projektlaufzeit eingesetzt wurden, lieferten im Mittel einen Biogasertrag von 532 $l_N$/kg oTM und einen Methanertrag von 261 $l_N$/kg oTM (siehe Tab. 8). Im Vergleich zur Produkteigenschaft einer Grassilage nach KTBL, haben die eingesetzten Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe im Mittel einen Minderertrag an Biogas in Höhe von 5% und an Methan in Höhe von 14% gebracht. Die Methankonzentration im Biogas der eingesetzten Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe betrug im Mittel 48,95%.

Zwischen den Wechselintervallen, also im Verlauf einer Gärphase, schwankte der Biogasertrag zwischen 415 bis 817 $l_N$/kg oTM und der Methanertrag zwischen 206 bis 395 $l_N$/kg oTM (siehe Anhangtabellen 3-1 bis 3-4). Die Schwankungsbreite des Biogasertrages und des Methanertrages betrug fast einhundert Prozent. Die Konzentration der im Biogas enthaltenen Methangehalte schwankte im Verlauf der einzelnen Gärphasen zwischen 43,9 bis 53%.

**Höchster Biogasertrag und höchster Methanertrag**

Der höchste Biogasertrag mit 817 sowie der höchste Methanertrag mit 415 $l_N$/kg oTM wurde während der Gärphase vom 20.07. bis 15.08.2010 erzielt. Aufgrund der qualitativen Einstufung (ausreichend und gut) der am 20.07. eingesetzten Grassilagen aus dem Bezugsraum Jasebeck und Grippel war ein so gutes Ergebnis nicht zu erwarten.

Mit hoher Wahrscheinlichkeit kann auch ausgeschlossen werden, dass die sehr guten Gaserträge ausschließlich nur der am 20.07. eingesetzten Grassilagen zuzurechnen sind, zumal während der Gärphase vom 18.06. bis 19.07.2010 eine gestörte mikrobielle Aktivität gegeben war. Anschaulich wird die gestörte mikrobielle Aktivität durch den Verlaufsgraphen der relativen Biogasproduktion für die Zeit vom 18.06. bis 19.07.2010 in der Abbildung 9 gezeigt.

Mit dem eingesetzten Substrat während der Gärphase zwischen dem 18.06. bis 19.07.2010 wurde erst zum Ende der Gärphase eine Biogasproduktionsquote von knapp 70% erreicht. Zu Beginn der Fermentation schwankte die Tagesgasquote zwischen 45 bis 50% und wurde zudem immer wieder durch massive Störungen beeinträchtigt, wie der Kurvenverlauf in der Abbildung 9 es belegt. Während dieser Gärphase verlief die Biogasproduktion auch insgesamt nur sehr verhaltend. Dies führte schließlich dazu, dass während der Gärphase vom 18.06. bis 19.07.2010 das vorhandene Biogaspotenzial nicht bzw. nur im geringen Umfang ausgeschöpft wurde. Erst mit dem Durchmischen am 20.07. mit frischem Material und im Verlauf der Gärphase vom 20.07. bis 15.08.2010 wurde das nicht genutzte Biogaspotenzial im Altmaterial freigesetzt. Im Rahmen des Projektes wurde auf dieser Basie daher der höchste Biogas- und Methanertrag in $l_N$/kg oTM erzielt.

In der Abbildung 10 wurde der Verlauf der relativen Biogasproduktion vom 20.07. bis 15.08.2010 dargestellt. Anhand des Kurvenverlaufs wird deutlich, dass mit dem Substratwechsel am 20.07.2010 und dem Durchmischen von Altmaterial mit frischem Material optimale Bedingungen geschaffen wurden. Durch die optimalen Bedingungen wurde auch bereits nach 3 Tagen eine Biogasproduktionsquote um die 80% erreicht. Mit leichten Schwankungen wurde dieses Niveau auch über einen längeren Zeitraum gehalten. Nach der Hälfte der Gärzeit gab es für einen Tag einen deutlichen Einbruch der Biogasproduktion. Jedoch bereits am nächsten Tag wurde das vorige Niveau wieder erreicht. Im weiteren Verlauf der Gärphase nahm die tägliche Biogasertragsmenge dann stetig ab. Dies entspricht einem normalen Verlauf zum Ende eines Gärprozesses (siehe im Anhang auch die Abb. 1 bis 21).

**Abb. 9: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 32 Tage vom 18.06. bis 19.07.2010 (mikrobielle Störung)**

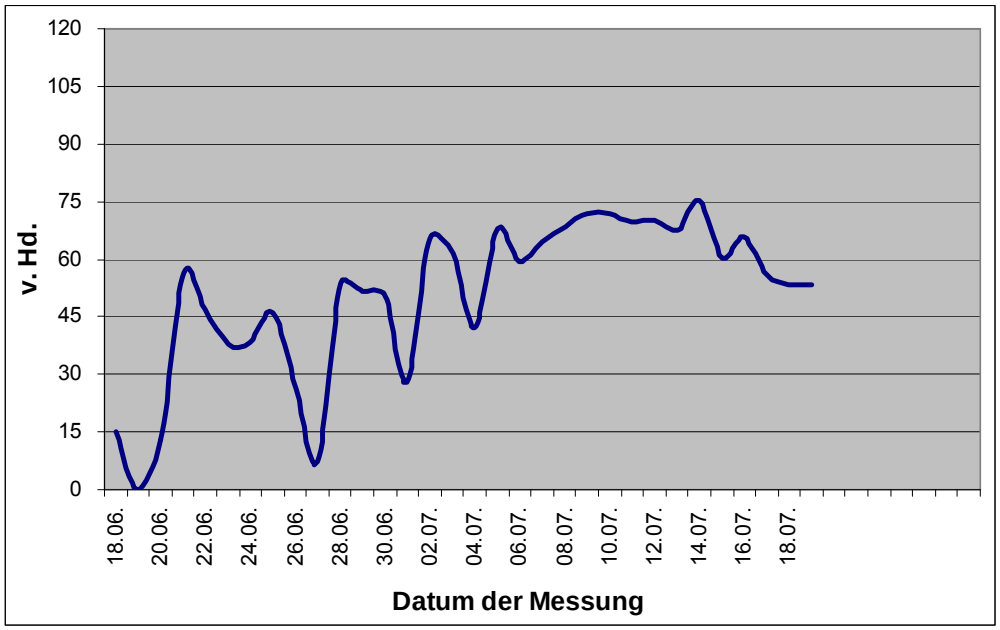
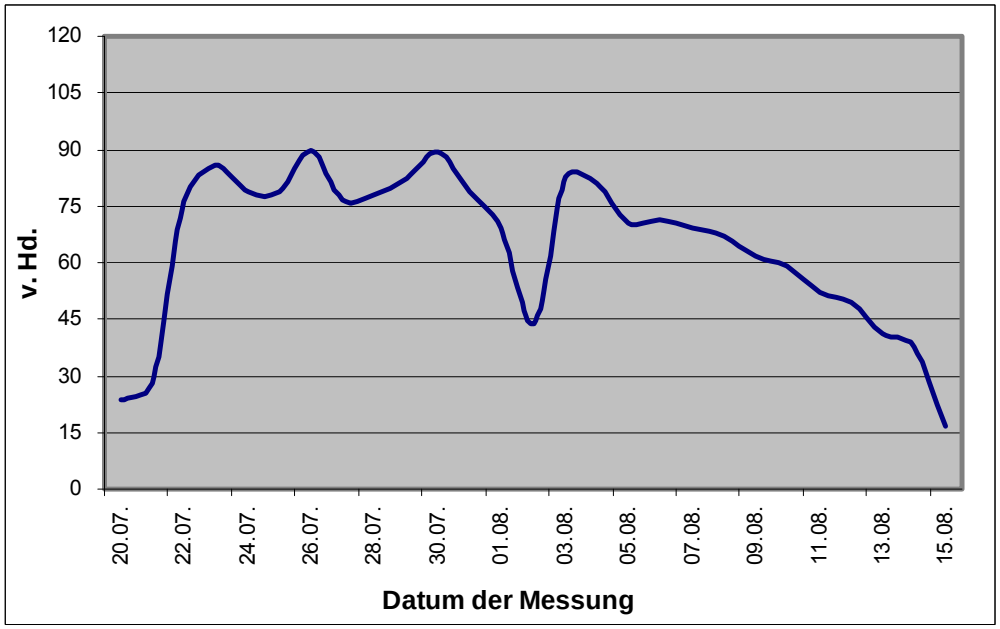



**Abb. 10: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 27 Tage vom 20.07. bis 15.08.2010 (normaler Verlauf einer Gasproduktion)**




**Geringster Biogasertrag und geringster Methanertrag**

Während der Gärphase vom 23.11. bis 16.12.2009 wurde im Rahmen des Projektes im Fermenter 7 die geringste Menge an Biogas mit 414,68 $l_N$/kg oTM und die geringste Menge an Methan mit 207,34 $l_N$/kg oTM produziert. Die Verlaufskurve der relativen Biogasproduktion

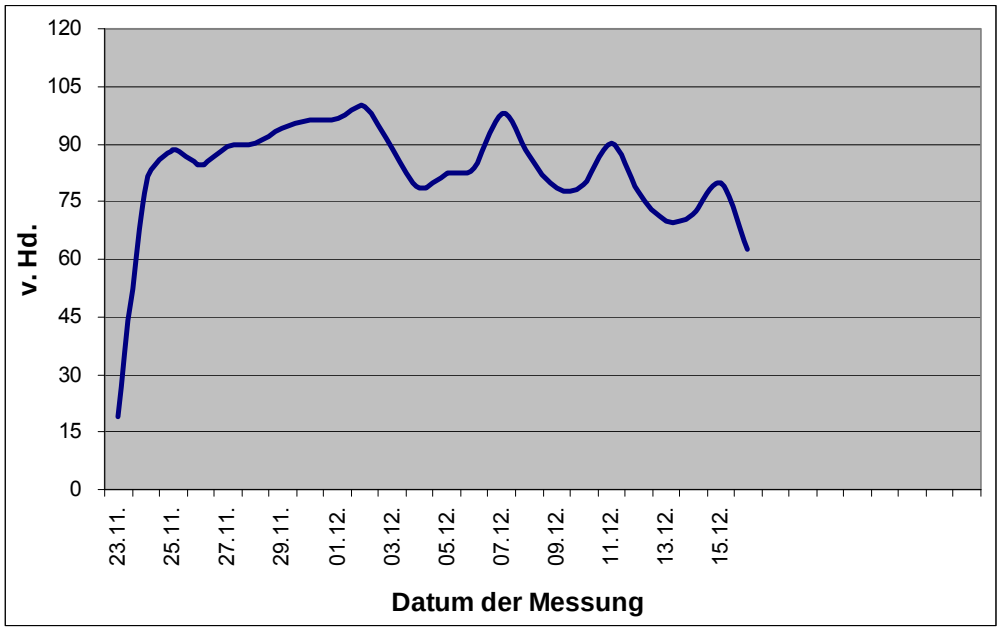
vom 23.11. bis 16.12.2009 lässt keine mikrobielle Störung erkennen (siehe Abb. 11). Auch lässt die Biogasproduktionskurve keine Rückschlüsse auf das energetische Leistungspotenzial der eingesetzten Grassilagen zu. Das eher geringe Leistungspotenzial der eingesetzten Grassilagen wurde erst durch die Auswertung der eingesetzten Inputmenge deutlich.

So wurde mit dem Substratwechsel am 23.11. erstmalig eine sehr hohe Inputmenge mit ca. 34 t oTM dem Fermenter zugeführt. Die hohe Inputmenge an organischer Biomasse hat mit hoher Wahrscheinlichkeit dazu beigetragen, dass bereits nach kurzer Zeit eine hohe Biogasproduktionsquote um die 90% erreicht wurde und dieses Niveau auch über einen längeren Zeitraum gehalten werden konnte. Das augenscheinlich hohe Niveau wurde erst durch die Verrechnung der eingesetzten Tonnage an organischer Trockenmasse und der über 24 Tage produzierten Biogasmenge relativiert. Im Ergebnis wurde während dieser Gärphase sogar die geringste Biogas- und Methanmenge in Liter pro kg/oTM produziert. Das lässt den Schluss zu, dass mit den eingesetzten Grassilagen nur eine geringe Biogasausbeute erzielt werden konnte.

Zu belegen ist die getroffene Feststellung auch über einen erweiterten energetischen Leistungsvergleich der eingesetzten Grassilagen. So wurden in der Zeit vom 29.10.2009 bis 10.02.2010 aus dem Bezugsraum Jasebeck und Wehningen (siehe Tab. 9) durchgängig identische Grassilagen mit einem annähernd gleichen Mischungsverhältnis eingesetzt. Im Mittel wurde mit den eingesetzten Grassilagen für den Vergleichzeitraum eine Tagestonnage von 1,26 t oTM dem Monovergärungsfermenter zugeführt. Mit der mittleren Tagestonnage an organischer Trockenmasse konnte ein Biogasertrag von 461 $l_N$/kg oTM produziert werden.

Im Vergleich zu einer Grassilage nach KTBL mit 560 $l_N$/kg oTM Biogas errechnet sich für den angegeben Zeitabschnitt und den Grassilagen aus dem Bezugsraum Jasebeck und Wehningen ein energetischer Minderertrag von 18%.

**Abb. 11: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 24 Tage vom 23.11. bis 16.12.2009 (hohe Produktionsquote)**



**Tab. 9: Summen und gemittelte Mengen – Grassilage, organische Trockenmasse, Biogasertrag, Methanertrag über die gesamte Projektlaufzeit**
(siehe auch Anhangtabelle 3-1 bis 3-4)

| Kalenderjahr | Jahr | 2009 | 2009 | 2009/10 | 2010 | 2010 | 2010 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Gärprozess | Zeitab-schnitt | 29.10.-22.11. | 23.11.-16.12. | 17.12.-14.01. | 15.01.-10.02. | 11.02.-07.03. | 08.03.-31.03. |
| Dauer der Gärphase | Tage | 25 | 24 | 29 | 27 | 25 | 24 |
| Grassilage zugeführt | t FM | 61,12 | 74,53 | 78,69 | 74,9 | 62,30 | 65,79 |
| TS-Gehalt (gew. arith. Mittel) | % | 52,36 | 51,81 | 51,82 | 51,52 | 43,14 | 42,64 |
| Grassilage zugeführt (32% TS) | t FM | 100,01 | 120,67 | 127,43 | 120,59 | 83,99 | 87,67 |
| TM Grassilage | t TM | 32,00 | 38,61 | 40,78 | 38,59 | 26,88 | 28,05 |
| davon oTM (88% in TM) | t TM org. | 28,16 | 33,98 | 35,89 | 33,96 | 23,65 | 24,68 |
| **oTM/d (88% in TM)** | **t TM org.** | **1,13** | **1,42** | **1,24** | **1,26** | **0,95** | **1,03** |
| Biogasmenge (Gärphase) | $m^3$ | 13.471,50 | 14.090,70 | 17.213,90 | 15.955,80 | 15.247,90 | 14.493,30 |
| Tagesmenge - Biogas | $m^3$ | 538,9 | 587,1 | 593,6 | 591 | 609,9 | 603,9 |
| Biogas $m^3$ pro t FM (32% TS) | $m^3$ | 134,7 | 116,77 | 135,09 | 132,31 | 181,54 | 165,32 |
| Biogas in $l_N$ pro kg oTM | Liter | 478,39 | 414,68 | 479,63 | 469,84 | 644,73 | 587,25 |
| Methangehalt ($CH_4$) | % | 48,8 | 50,0 | 48,3 | 47,6 | 46,4 | 47,2 |
| Methanertrag (Gärphase) | $m^3$ | 6.574,09 | 7.045,35 | 8.314,31 | 7.594,96 | 7.075,03 | 6.840,84 |
| Methanertrag pro Tag | $m^3$ | 262,96 | 293,56 | 286,7 | 281,29 | 283 | 285,04 |
| $CH_4$ in $l_N$ pro kg oTM | Liter | 233,45 | 207,34 | 231,66 | 223,64 | 299,16 | 277,18 |
| $CH_4$ in $m^3$ pro t FM (32% TS) | $m^3$ | 65,73 | 58,39 | 65,25 | 62,98 | 84,24 | 78,03 |
| Herkunft der Grassilagen und wertgebende Angaben | | Jasebeck 8,87 t FM TS 76,1% 1. Schn. 09<br>Wehningen 52,25 t FM TS 48,33% 1. Schn. 09 | Jasebeck 9,33 t FM TS 76,1% 1. Schn. 09<br>Wehningen 65,20 t FM TS 48,33% 1. Schn. 09 | Jasebeck 9,88 t FM TS 76,1% 1. Schn. 09<br>Wehningen 68,81 t FM TS 48,33% 1. Schn. 09 | Jasebeck 8,65 t FM TS 76,1% 1. Schn. 09<br>Wehningen 66,25 t FM TS 48,33% 1. Schn. 09 | Jasebeck 10,20 t FM TS 76,1% 1. Schn. 09<br>Wehningen 52,10 t FM TS 36,69% 1. Schn. 09 | Jasebeck 9,92 t FM TS 76,1% 1. Schn. 09<br>Wehningen 55,87 t FM TS 36,69% 1. Schn. 09 |

Für ein Mischsubstrat würde der Kurvenverlauf der Biogasproduktionsquote identisch verlaufen, wie er in der Abbildung 11 für die Biogasproduktionsquote einer Grassilage dargestellt wurde. Jedoch bei einem Mischsubstrat (Maissilage, Grassilage, Stallmist) wird unmittelbar mit Beginn der Fermentation eine Biogasmenge zwischen 1.000 bis 1.270 $m^3$ pro Tag produziert. Dies entspricht einer Biogasproduktionsquote zwischen 130 bis 165%. Im Verlauf der Gärphase nimmt die tägliche Biogasproduktion dann kontinuierlich ab. Zum Ende der Gärphase werden vor einem erneuten Substratwechsel lediglich noch 500 bis 650 $m^3$ Biogas pro Tag produziert. Im Durchschnitt wird bei einem derartigen Verlauf eine Biogasproduktionsquote zwischen 100 bis 105% erreicht.

Bei der Verwendung von Mischsubstraten (Rindermist, Maissilage, Grassilage) wird in der Regel mit jedem Substratwechsel angestrebt, dass dem Fermenter im Mittel ca. 115 t Frischmasse zugeführt werden. Dies entspricht einer zugeführten Tonnage an organischer Trockenmasse von ca. 33,02 t. Bei einer mittleren Gärphase von 25 Tagen können somit im Mittel ca. 1,32 t organische Trockenmasse pro Tag und Fermenter in Biogas umgewandelt werden.

Aus der Tabelle 8 ist zu entnehmen, dass im Rahmen der Monovergärung über die eingesetzten Grassilagen im Mittel eine Tonnage von 1,08 t oTM pro Tag dem Fermenter 7 zur Umwandlung in Biogas zur Verfügung stand.

### 6.2.3 Vergleich der Biogaserträge und wirtschaftlicher Erfolg

**Wirtschaftlichkeit**

Die Wirtschaftlichkeit einer Biogasanlage hängt wesentlich vom Arbeitsertrag ab. Der Arbeitsertrag setzt sich zusammen aus der Biogasmenge (770 $m^3$/d x Fermenter) x 2 kWh/$m^3$ Biogas x 0,22 €/kWh. Von der BBM werden 60% des Arbeitsertrages für die getätigte Investition in Ansatz gebracht. Für die Entlohnung der Rohstoffe, des eingesetzten Personals und des Gewinns verbleiben 40% des Arbeitsertrages.

**Biogaserträge**

Um die Biogaserträge vergleichen zu können, wurden vor der Zuführung des Biogases an das BHKW über Sonden, die tägliche Biogasmenge und deren Zusammensetzung elektronisch erfasst. Die tägliche Biogasmenge und deren Zusammensetzung wurden auf Basis der einzelnen Gärphasen für den Fermenter 7 abschnittsweise zusammengefasst. Die sich so ergebene Messperiode wurde als identischer Zeitabschnitt auf die Fermenter 1 bis 6 übertragen.

Die Messdaten einer Messperiode wurden für die Fermenter 1 bis 6 und für den Fermenter 7 summiert und gemittelt. Danach erfolgte die Mittelwertbildung aus den Fermentern 1 bis 6. Mit den gebildeten Mittelwerten lässt sich ein Durchschnittsfermenter darstellen. Der kalkulatorische Durchschnittsfermenter 1-6 wird in der Abb. 12 dem Fermenter 7 gegenübergestellt, so dass ein Vergleich der Biogasproduktion über eine Zeitperiode möglich ist.

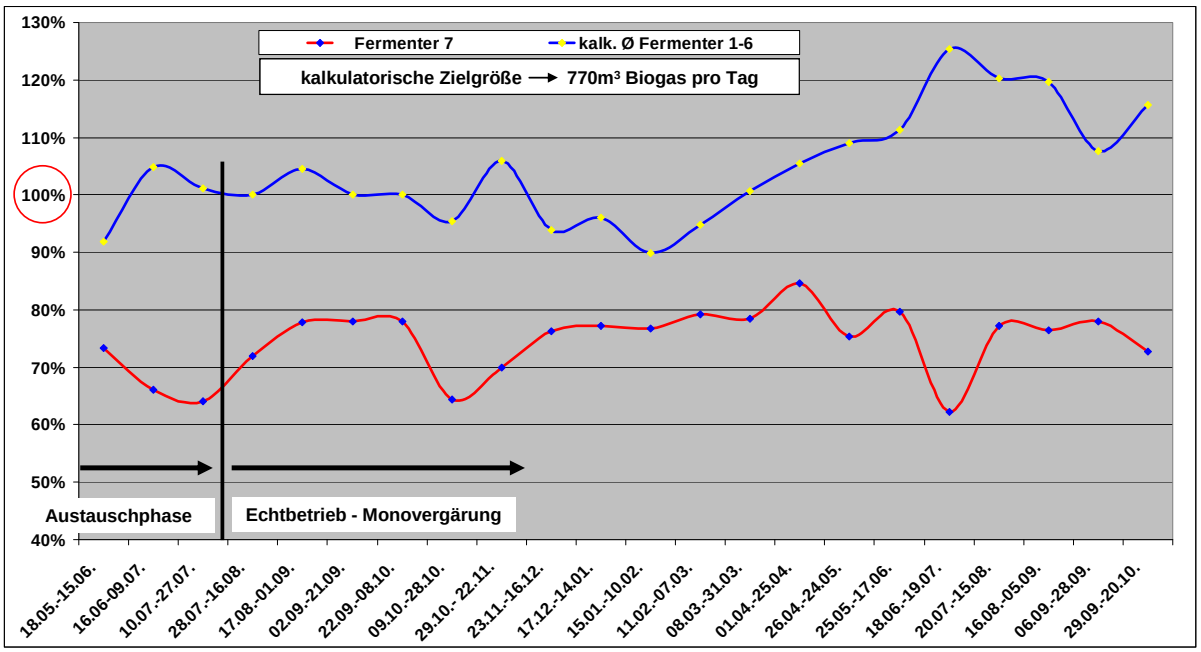
Die für die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlage angehaltene Leistungsgröße von 770 $m^3$ Biogas pro Tag und Fermenter entspricht der Zielgröße von einhundert Prozent. In der Abbildung 12 wurde der relative Tageswert für den Fermenter 7 (roter Graph) und der gemittelte Wert der Fermenter 1 bis 6 (blauer Graph) vergleichend gegenübergestellt.

Der Verlauf der relativen Tagesgasmenge für den Fermenter 7 zeigt, dass nach der Austauschphase des zuvor eingesetzten Mischsubstrates die Biogasproduktion fast durchgängig auf einem gleich hohen Niveau erfolgte. Im Mittel wurde im Monovergärungsverfahren mit

den eingebrachten Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe eine relative Tagesbiogasmenge in einer Größenordung von 74,4% produziert (siehe Tab. 8).

Lediglich nach der Zuführung einer Grassilage mit einem TS-Gehalt von 76,1% brach die Biogasproduktion in dem Zeitraum vom 09.10. bis 28.10.2009 und aufgrund einer Prozessstörung in der Zeit vom 18.06. bis 19.07.2010 erheblich ein. Auf die möglichen Ursachen wurde bereits im Kapitel 6.1 „Stoffwechselprozesse im Fermenter 7“ im Detail eingegangen.

**Abb. 12: Vergleich der relativen Biogasmenge des Fermenters 7 mit der mittleren Biogasmenge der Fermenter 1 bis 6**




Der mittlere Referenzwert der Fermenter 1 bis 6 (siehe Abb. 12) weist mit Beginn des Projektes bis zum Einsetzen der kälteren Jahreszeit eine Biogasquote um die einhundert Prozent auf. In den Wintermonaten hat die Biogasproduktion nachgelassen und sackte während der Gärphase vom 15.01. bis 10.02.2010 auf eine Biogasquote um die 90% ab. Zu diesem Zeitpunkt erreichte die Vorzüglichkeit der Biogasproduktion der Fermenter 1 bis 6 gegenüber dem Monovergärungsverfahren im Fermenter 7 lediglich noch eine Wertigkeit von 14%.

Der Rückgang der Biogasproduktionsquote in den Fermentern 1 bis 6 wurde vom Biogasanlagenbetreiber zum Anlass genommen, dem Mischsubstrat auch Hühnertrockenkot beizumischen. Dies führte zu einem Anstieg der Biogasproduktionsquote auf über 120%. Zu diesem Zeitpunkt konnte der anfallende Biogasertrag vom BHKW nicht mehr im vollen Umfang verstromt werden. Um hier gegenzusteuern, musste vorübergehend auch Biogas abgefackelt werden. Mit der Zumischung von Hühnertrockenkot erreichte die Vorzüglichkeit auf Basis der einzelnen Produktionslinien den größten Abstand.

## Vorzüglichkeit

Über eine Differenzrechnung wurde die Vorzüglichkeit der eingesetzten Biomasse in den Fermentern 1 bis 6 gegenüber dem Monovergärungsverfahren mit ausschließlicher Verwendung von Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe ermittelt.

Im Ergebnis der ermittelten Vorzüglichkeit wurde während der gesamten Projektlaufzeit beim Monovergärungsverfahren gegenüber dem herkömmlichen Verfahren im Mittel eine geringe-

re Biogasmenge von 29,4% und von 31,3% beim Methan erzielt. Die Mindererträge der Vorzüglichkeit beim Biogas schwanken dabei zwischen 14,8 bis 50,3% und bei der Menge an Methan zwischen 14,8 bis 53,9% (siehe Tab. 10). Die geringste Differenz wurde während der Gärphase vom 15.01. bis 10.02.2010 und die höchste Differenz in der Zeit vom 18.06. bis 19.07.2010 aufgezeichnet.

Für die rasa hinterlegten Felder, konnte Aufgrund von technischen Problemen mit der Messtechnik in der jeweiligen Zeitperiode keine Messung bzw. kein Vergleich vorgenommen werden.

**Tab. 10: Vorzüglichkeit der Biogasproduktion der Fermenter 1 bis 6 gegenüber dem Monovergärungsverfahren**
(siehe auch Anhangtabelle 4-1 bis 4-8, Biogasparameter)

| Verweilzeit | | | Vorzüglichkeit | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Beginn | Ende | Tage | Ø Temperatur in °C F1 - F6 | **Differenz** Biogasmenge $m^3/d$ Ø F7 zu F1-F6 | **Differenz** $CH_4$ (100%) $m^3/d$ Ø F7 zu F1-F6 |
| 18.05.09 | 14.06.09 | 28 | | -20,04% | |
| 16.06.09 | 09.07.09 | 24 | 42,9 | -36,86% | -39,13% |
| 10.07.09 | 27.07.09 | 18 | 44,6 | -36,61% | -36,23% |
| 28.07.09 | 16.08.09 | 20 | 44,4 | -28,06% | -26,18% |
| 17.08.09 | 01.09.09 | 16 | 43,8 | -25,59% | -29,95% |
| 02.09.09 | 21.09.09 | 20 | | | |
| 22.09.09 | 08.10.09 | 17 | | | |
| 09.10.09 | 28.10.09 | 20 | 43,0 | -32,53% | -32,93% |
| 29.10.09 | 22.11.09 | 25 | 41,9 | -33,93% | -36,66% |
| 23.11.09 | 16.12.09 | 24 | 40,9 | -18,82% | -19,48% |
| 17.12.09 | 14.01.10 | 29 | 39,7 | -19,68% | -22,25% |
| 15.01.10 | 10.02.10 | 27 | 37,6 | -14,83% | -14,84% |
| 11.02.10 | 07.03.10 | 25 | 39,2 | -16,46% | -21,53% |
| 08.03.10 | 31.03.10 | 24 | 40,8 | -22,07% | -25,39% |
| 01.04.10 | 25.04.10 | 25 | 42,1 | -19,71% | -19,86% |
| 26.04.10 | 24.05.10 | 29 | | -30,86% | |
| 25.05.10 | 17.06.10 | 24 | 42,7 | -28,48% | -22,17% |
| 18.06.10 | 19.07.10 | 32 | 43,8 | -50,34% | -53,86% |
| 20.07.10 | 15.08.10 | 27 | 44,2 | -35,71% | -38,88% |
| 16.08.10 | 05.09.10 | 21 | 44,7 | -36,07% | -40,16% |
| 06.09.10 | 28.09.10 | 23 | 43,6 | -27,60% | -29,92% |
| 29.09.10 | 20.10.10 | 22 | 42,2 | -37,15% | -44,93% |
| Wechselintervalle | | | Ø | gewogene Mittelwerte | |
| | 22 | | 42,3 | -29,42% | -31,31% |

## Zusammenfassend sind die Biogaserträge im Fermenter 7 im Vergleich zu den Fermentern 1 bis 6 wie folgt zu bewerten:

Das Leistungsvermögen pro Hektar an Grünmasseertrag, Biogasertrag und Methanertrag ist bei der Grassilage aus dem Deichvorland der Elbe im Vergleich zu einer intensiv geführten Grünlandfläche nur halb so hoch. Das geringere Leistungsvermögen pro Hektar wird durch naturschutzfachliche Vorgaben bei der Bewirtschaftung der Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe maßgeblich beeinflusst. Die landwirtschaftlichen Betriebe erhalten für die Bewirtschaftungseinschränkung auf dem Grünland einen finanziellen Ausgleich.

Die Grassilagen der extensiv bewirtschafteten Grünlandflächen aus dem Deichvorland haben im Vergleich zu einer Grassilage nach KTBL im Mittel 5% weniger Biogas und 14% weniger Methan in $l_N$/kg oTM geliefert.

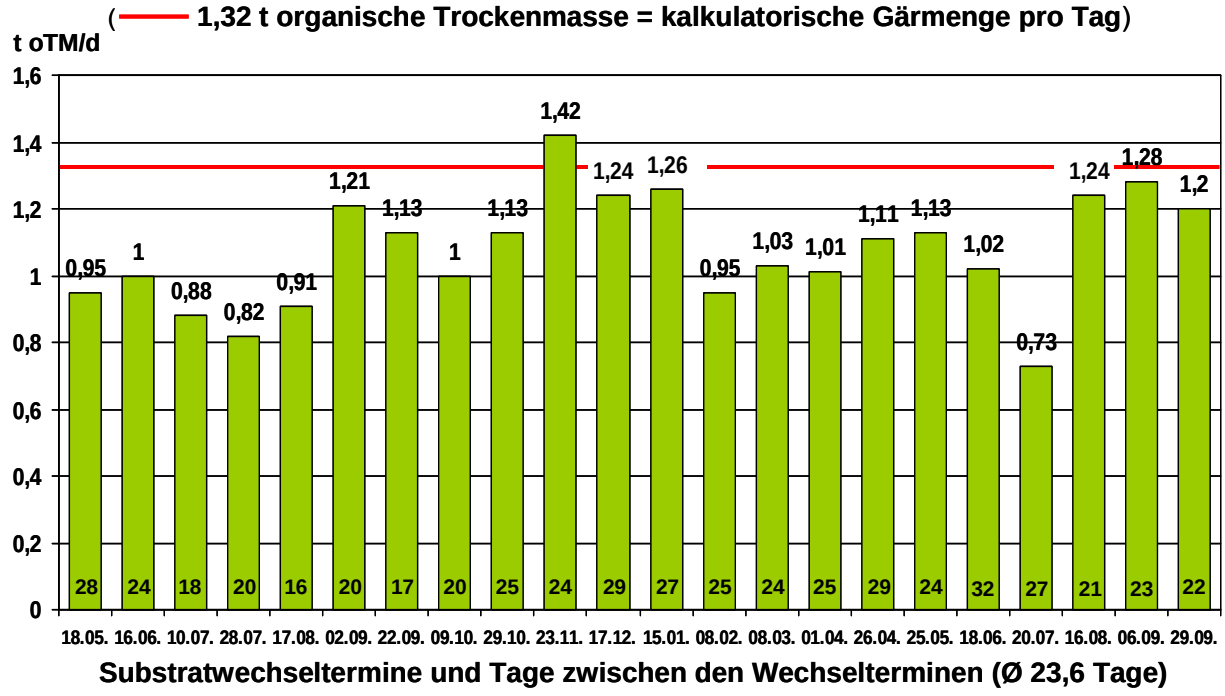
Die für die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlage angehaltene Leistungsgröße von 770 $m^3$ Biogasertrag pro Tag und Fermenter, wurde mit den eingesetzten Grassilagen im Mittel um 25,6% unterschritten.

Neben der heterogenen Qualität, die die Grassilagen aus dem Deichvorland aufwiesen, ist eine Ursache für den Minderertrag an Biogas auch darin zu sehen, dass lediglich 1,08 t oTM pro Tag für die mikrobielle Umsetzung zur Verfügung standen. Mit einem Mischsubstrat, wie es bei der Biogasanlage BBM zum Einsatz kommt, stehen im Mittel 1,32 t organische Trockenmasse pro Tag und Fermenter für eine Biogasproduktion zur Verfügung.

Die Differenz zwischen eingesetzter Biomasse mit Mischsubstraten und der eingebrachten Biomasse auf Basis der Monovergärung mit Grassilagen beträgt 0,24 t oTM pro Tag. Dies entspricht einer nicht zugeführten Menge von 18,2% an organischer Trockenmasse pro Tag.

Die geringere Einbringungsmenge an organischer Trockenmasse pro Tag ist damit zu begründen, dass die Grassilage im Vergleich zur Maissilage eine geringere Schüttdichte hat und beim Aufschichten im Fermenter ein größeres Volumen einnimmt. Vor diesem Hintergrund und in Abhängigkeit vom TS-Gehalt konnte deshalb zeitweise gerade mal 55% der erforderlichen Menge an organischer Biomasse in den Fermenter eingebracht werden (siehe Abb. 13).

**Abb. 13: Tonnage an organischer Trockenmasse der eingesetzten Grassilage zum Wechseltermin**




**Substratwechseltermine und Tage zwischen den Wechselterminen (Ø 23,6 Tage)**

Aus der Materialeigenschaft der Grassilage leitet sich ab, dass ein technischer und wirtschaftlicher Betrieb nach dem Monovergärungsverfahren erreicht werden kann, wenn die Dimensionierung der Fermenter um 30% vergrößert wird. Zur Vergrößerung des Fermenters kommen zwei unterschiedliche Baumaßnahmen in betracht:

a) Den Fermenter um 2 Meter zu verbreitern. Dadurch wird erreicht, dass die erforderliche Menge an organischer Trockenmasse in den Fermenter eingebracht werden kann und

eine größere Oberfläche beim organischen Umsetzungsprozess gegeben ist. Leichtabbaubare Kohlenhydrate und Zucker können sich dadurch in kürzerer Zeit umsetzen. Dies wirkt sich positiv auf die angestrebte Biogasquote aus und es wird sich zu Beginn der Biogasproduktion, wie bei einem Mischsubstrat mit Maissilage, eine Biogasquote in Höhe von 130 bis 150% ergeben. Im Mittel der Gärphase kann dadurch eine Biogasquote um die 100 bis 105% erreicht werden.

Bei einem verbreiterten Fermenter dürften sich die Herstellungskosten für den umbauten Raum nach einer Einschätzung des Biogasanlagenbetreibers um ca. 15% erhöhen. Zum Einsatz sollten bei einem verbreiterten Fermenter lediglich sehr kurz gehäckselte Grassilagen kommen.

b) Den Fermenter um 1,50 Meter zu erhöhen. Dadurch wird ebenfalls erreicht, dass die erforderliche Menge an organischer Trockenmasse in den Fermenter eingebracht werden kann. Bei einer zugeführten Menge von ca. 33,02 t oTM pro Wechselintervall wird sich rechnerisch eine Biogasquote um die einhundert Prozent einstellen. Durch das höhere Stapeln der Grassilage beim Einbringen in den Fermenter besteht jedoch die Gefahr, dass gerade bei einer Grassilage mit einem geringen TS-Gehalt oder wenn diese sehr kurz gehäckselt wurde, eine Dichtlagerung im Fermenter droht. Die Dichtlagerung bewirkt, dass im Zentrum der gestapelten Biomasse die biologischen Umsetzungen nur sehr gebremst ablaufen. Dadurch wird weniger Methan gebildet und die Methanabgabe an den nicht mit Biomasse gefüllten Gärraum wird in einer verminderten Menge erfolgen. Obwohl Batch-Anlagen in der Regel mit 3 mbar Unterdruck arbeiten, kann der Nachteil der Dichtlagerung durch das Absaugen nur bedingt ausgeglichen werden.

   Bei einer höheren Bauweise würden sich nach einer Einschätzung des Biogasanlagenbetreibers die Herstellungskosten für den umbauten Raum (Fermenter) um ca. 7 bis 8% erhöhen. An Grassilagen sollten in einer ausgeglichenen Mischung kurz gehäckselte und langhalmige Grassilagen (mit dem Ladewagen aufgenommen) eingesetzt werden. Durch den Einsatz von langhalmigen Grassilagen dürfte sich jedoch der Biogasertrag wieder verringern.

Durch eine Vergrößerung des Volumens des umbauten Raums beim Monovergärungsverfahren wäre es möglich, die kalkulatorische Menge von 770 $m^3$ Biogas pro Tag und Fermenter zu produzieren. Unter dieser Voraussetzung kann der erforderliche Biogasertrag produziert werden, um die erforderlichen Erträge für Investition und für die Rohstoffbereitstellung zu erwirtschaften.

Der wirtschaftliche Erfolg ist jedoch auch von der Bereitstellung qualitativ hochwertiger Rohstoffe abhängig. Mit Maissilagen lässt sich von den nachwachsenden Rohstoffen der höchste Energieertrag pro Tonne organischer Trockenmasse erzielen. Grassilagen liefern in der Regel einen geringeren Energieertrag.

Dementsprechend muss bei Grassilagen gegenüber dem Auszahlungspreis für Maissilagen ein Abschlag in Höhe von ca.15 bis 20% vorgenommen werden. Die höheren Herstellungskosten für den vergrößerten Fermenterraum, die geringere Biogasausbeute bei Grassilagen von extensiv geführten Grünlandflächen und eine anspruchsvollere Logistik bei der Abnahme von Grassilagen aus dem Deichvorland gegenüber dem sonstigen Rohstofflieferraum, belasten die Rohstoffbereitstellung zusätzlich mit Kosten in Höhe von ca. 5 bis 10%. In der Gesamtbetrachtung ergibt sich so gegenüber dem Auszahlungspreis für Maissilagen, ein verminderter Auszahlungspreis von ca. 20 bis 30% für Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe.

Für die Rohstoffbereitstellung sind folgende Qualitätsmerkmale vorzugeben:

a) Es sind frühe und somit optimale Schnitttermine anzustreben, um Gräser mit einem geringen Rohfasergehalt (optimal 22 bis 25%) und mit einer hohen Energiedichte zu ernten. Optimal ist in dieser Hinsicht eine Beerntung der Grünlandflächen bereits Mitte bis Ende Mai.
b) Das Erntegut ist nach dem Schwaden von einem Häcksler aufzunehmen und auf eine Schnittlänge < 4 cm zu häckseln. Der Einsatz eines Ladewagens ist in dieser Hinsicht nicht geeignet.
c) Der Trockensubstanzgehalt der Grassilage sollte sich in einem Bereich zwischen 30 bis 40% bewegen.
d) Der Verschmutzungsgrad, gekennzeichnet durch den Rohaschegehalt, sollte 10% nicht überschreiten.
e) Nach dem Abdecken der Silagemiete, also dem Verschließen des Siliergutes, sollte vor dem erstmaligen Einsatz in einer Biogasanlage ein Zeitraum von 6 bis 9 Monaten vergangen sein, damit sich die entsprechenden Säuren in der Grassilage bilden konnten, wodurch der Gärprozess in der Biogasanlage begünstigt wird (Bischoff, M., 2010).

Wenn die Rahmenbedingungen stimmen, kann sich der Betreiber der Biogasanlage in Breese in der Marsch, Herr Jörg Heinrich Siemke nach den Erfahrungen aus dem Projekt durchaus vorstellen, dass er weitere Biogasanlagen nach dem Prinzip der Monovergärung errichten und ggf. auch betreiben würde, in denen ausschließlich nur Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe eingesetzt werden.

Als Rahmenbedingung muss für die Standortfindung der Biogasanlage zuvor das Biomassepotenzial ermittelt werden. Am Standort der Biogasanlage muss sich ein Wärmenutzungskonzept realisieren lassen. Die Rohstoffbereitstellung muss über einen langen Zeitraum kontinuierlich und gesichert erfolgen. Aufgrund der geringen Transportwürdigkeit des Grasschnittes ist die Entfernung der Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe zur Biogasanlage zu berücksichtigen, damit eine wirtschaftliche Rohstoffbereitstellung ermöglicht wird. Ferner wird ausschlaggebend sein, wie nach der Modifizierung des EEGs der rechtliche und wirtschaftliche Rahmen ausgestaltet sein wird.

# 7 Untersuchung von Grassilagen und Gärresten zur Ermittlung des theoretischen Gasertrages nach Baserga und über ein Batchverfahren im Labor

Für die Prüfung der Biogas- und Methanerträge der eingesetzten Grassilagen und der abgegebenen Gärreste wurden drei Grassilage- und zwei Gärrestproben entnommen und zur Untersuchung an die LUFA Nord-West weitergeleitet. Die Menge an Biogas und Methan wurde über die Weender Futtermittelanalyse nach Baserga und im praktischen Gärversuch über ein labortechnisches Batchverfahren ermittelt.

**Weender Futtermittelanalyse nach Baserga**

Mit der Weender Futtermittelanalyse nach Baserga lässt sich anhand der Ergebnisse eines relativ einfachen Analysenganges der potenzielle Biogasertrag abschätzen (Reuters, R., 2011). Die Weender Analyse zur Bewertung von Futtermitteln in der Viehzucht wurde bereits 1860 im Göttinger Stadtteil Weende von W. Henneberg und F. Strohmann entwickelt. Die Methode basiert darauf, dass in einem einfachen Analysengang die jeweiligen Anteile der Rohnährstoffgruppen bestimmt werden. Dabei wird jedoch der organische Anteil nicht direkt gemessen, sondern berechnet.

Urs Baserga hat 1998 auf Basis gesammelter Werte aus bestehenden Biogasanlagen einen Durchschnittswert für unterschiedliche Stoffgruppen, nämlich für Kohlenhydrate, Eiweiße und Fette errechnet.

Genau diese Rohnährstoffe werden bei der Weender Analyse bestimmt und sind Ausgangspunkt zur Berechnung eines Biogas- und Methanertrages in einem Substrat. Die Berechnung erfolgt näherungsweise aus Futterwerttabellen mit den ermittelten Rohnährstoffgehalten und einem Verdauungsquotienten. Die so ermittelten Gehalte an verdaulichen Kohlenhydraten, Rohproteinen und Fetten in kg/kg oTS werden mit den Werten von Baserga multipliziert. Im Ergebnis erhält man für jeden Rohstoff die Gasausbeute in l/kg oTS und den Methananteil in Volumen-%.

**Tab. 11: Gasausbeute nach Baserga (1998) – Multiplikationswerte**

| Stoffklasse | Gasausbeute l/kg oTS | Methankonzentration |
|---|---|---|
| Kohlenhydrate | 790 | 50% |
| Fette | 1.250 | 68% |
| Proteine | 700 | 71% |

**Praktischer Gärversuch im labortechnischen Batchverfahren**

Zur Ermittlung des Gärpotenzials sowie der Überprüfung auf Eignung als Substrat zum Betrieb einer Biogasanlage wurde bei der LUFA Nord-West ein Gärversuch in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 4630 durchgeführt. Generell wird das Probenmaterial gemäß der Richtlinie mit Klärschlamm oder ausgefaulter Gülle (einer Mischung von Substraten verschiedener Biogasanlagen) angeimpft (siehe Versuchsbeschreibung beim Ansetzen der Proben), um die gewünschten Methanbildner in das Probenmaterial einzuführen. Anschließend wird diese Mischung in einem Fermenter bei ca. 38 °C bebrütet. Die anfallende Gasmenge wird täglich abgelesen und zusammen mit der Temperatur und dem Luftdruck dokumentiert. Aus der gebildeten Gasmenge wird das tatsächliche Volumen durch Abzug des mitgeführten Blindwertes berechnet und auf Normalbedingungen (0 °C und 1013 mbar) umgerechnet. Alle im Untersuchungszeugnis ausgewiesenen Volumenangaben erfolgen in „Normlitern“, um einen objektiven Vergleich mit anderen Messwerten zu gewähren (Bischoff, 2010).

## 7.1. Ergebnisse der Gasausbeute in den Grassilagen

Die theoretische Gasausbeute nach Baserga in den untersuchten Grassilagen wurde in der Tabelle 12 zusammengestellt.

**Tab. 12: Theoretische Gasausbeute nach Baserga in den Grassilagen**

| Herkunft/Eigenschaft | Theoretischer Biogasertrag | | | Methan |
|---|---|---|---|---|
| | $l_N$ / kg FM | $l_N$ / kg TS | $l_N$ / kg oTS | Vol.-% |
| **Wussegel:** 2. Schnitt, Ladewagen, geerntet 28.06.08, beprobt 27.07.09 | 221 | 500 | 560 | 53,6 |
| **Jasebeck:** 1. Schnitt, Ladewagen, geerntet 010.6.09, beprobt 29.10.09 | 399 | 526 | 564 | 52,5 |
| **Grippel:** 1. Schnitt, Häcksler, geerntet 05.06.09, beprobt 25.05.10 | 137 | 503 | 562 | 53,4 |

**Grassilage aus Wussegel**

Der praktische Gärversuch für das Material aus Wussegel wurde über 56 Tage durchgeführt (siehe Tab. 13). Anhand des Gärverlaufs sind keine negativen Einflüsse auf den Gärprozess in einer Biogasanlage erkennbar.

Bedingt durch den allgemein hohen Proteinanteil in der Grassilage wird während des Gärprozesses durch den Abbau der Proteine vermehrt Ammonium-Stickstoff gebildet. Dieser kann bei zu großen Mengen zu einer Hemmung der Bakterien durch freigesetztes Ammoniak führen. Mit einem festgestellten Ammonium-Stickstoffgehalt von 0,33% und einem pH-Wert von 8,1 bei Abbruch des Gärversuchs, ist der geringere Biogasertrag im Vergleich zum theoretischen Wert zu erklären. Die Bakterien können sich auch an hohe Ammonium-Stickstoffgehalte anpassen, brauchen dafür aber in der Regel deutlich längere Zeiträume als in diesem Versuch zur Verfügung standen.

Ein weiterer Faktor bezüglich der geringen Gasausbeute im praktischen Gärversuch ist der hohe Rohfasergehalt in dieser Grassilage. Mit 28,7% in der Trockenmasse liegt der Gehalt erheblich oberhalb der Zielwerte von 22 – 25% in der Trockenmasse für eine „normale“ Grassilage – 1. Schnitt. Dies bedeutet eine wesentlich schlechtere Verdaulichkeit des Materials.

Einen weiteren großen Einfluss auf die Verdaulichkeit hat neben den oben genannten Parametern auch die Schnittlänge. Damit wird ausgedrückt, wie viel Angriffsfläche den Bakterien zur Verfügung steht. Da es sich bei dem vorliegenden Material um Ladewagensilage handelt, ist auch hier eine schlechtere Umsetzung zu Biogas zu erwarten. Zu überlegen wäre daher, ob man den Zerkleinerungsgrad zukünftig erhöhen kann, um damit aus dem per se schlecht verdaulichen Material (später Schnittzeitpunkt) eine höhere Gasausbeute zu generieren. Alternativ könnte man auch den Anteil des Impfsubstrates erhöhen, um damit die Verweilzeit des Materials zu erhöhen.

**Tab. 13: Praktisch ermittelte Gasausbeute in den Grassilagen (Batchverfahren)**

| Herkunft/Eigenschaft | Biogasertrag | | | Methan |
|---|---|---|---|---|
| | $l_N$ / kg FM | $l_N$ / kg TS | $l_N$ / kg oTS | Vol.-% |
| **Wussegel:** 2. Schnitt, Ladewagen, geerntet 28.06.08, beprobt 27.07.09 | 170 | 383 | 429 | 52,6 |
| **Jasebeck:** 1. Schnitt, Ladewagen, geerntet 01.0.6.09, beprobt 29.10.09 | 321 | 423 | 454 | 50,9 |
| **Grippel:** 1. Schnitt, Häcksler, geerntet 05.06.09, beprobt 25.05.10 | 145 | 519 | 567 | 55,6 |

**Grassilage aus Jasebeck**

Der praktische Gärversuch des Materials aus Jasebeck wurde über 63 Tage durchgeführt (siehe Tab. 13). Anhand des Gärverlaufs sind keine negativen Einflüsse auf den Gärprozess in einer Biogasanlage erkennbar.

Eine Ursache der geringen Gasausbeute im praktischen Gärversuch ist der hohe Rohfasergehalt in dieser Grassilage. Mit 30,4% in der Trockenmasse liegt der Gehalt erheblich oberhalb der Zielwerte von 22 – 25 % in der Trockenmasse für eine „normale“ Grassilage – 1. Schnitt. Dies bedeutet eine wesentlich schlechtere Verdaulichkeit des Materials.

Einen weiteren großen Einfluss auf die Verdaulichkeit hat neben den oben genannten Parametern auch die Schnittlänge. Diese beeinflusst die Angriffsfläche, welche den Bakterien zur Verfügung steht. Da es sich um Ladewagensilage mit großer Schnittlänge handelt, ist auch hier eine schlechtere Umsetzung zu Biogas zu erwarten.

Auch für diese Grassilage gilt, den Zerkleinerungsgrad bei zukünftigen Ernten zu erhöhen, um damit aus dem per se schlecht verdaulichen Material eine höhere Gasausbeute zu generieren.

**Grassilage aus Grippel**

Für diese Grassilage wurden keine ergänzenden Anmerkungen im Rahmen der Untersuchung mitgeteilt.

**Tagesgärverlauf der Grassilagen**

Der Tagesgärverlauf der geprüften Grassilagen wurde anhand der ermittelten Werte im praktischen Gärversuch mit den Zielwerten der Praxisanlage in Breese in der Marsch verglichen. Der Praxisbetrieb ist darauf ausgerichtet, dass bei einem Regelbetrieb von 25 Tagen und einer zugeführten Menge von ca. 1,32 Tonnen organischer Trockenmasse pro Tag, im Durchschnitt täglich ca. 770 $m^3$ Biogas pro Fermenter produziert werden. Dies entspricht einer mittleren Produktionsleistung an Biogas von ca. 584 $m^3$ pro Tonne organischer Trockenmasse. Bei einer Verweilzeit von 25 Tagen pro Gärphase werden auf dieser Basis im Mittel ca. 23,36 Liter an Biogas pro Tag und Kilogramm organischer Trockenmasse produziert.

Anhand des Kurvenverlaufs der Einzelmessung (siehe Abbildung 22 bis 24 im Anhang) sind die Grassilagen wie folgt zu bewerten:

**Wussegel**

Ab dem zweiten und dritten Tag wurde mit dem eingesetzten Material eine Biogasmenge um die 20 Liter pro Kilogramm organischer Trockenmasse produziert. Am vierten und fünften Tag stieg die Produktionsmenge auf ca. 36 Liter Biogas an. Vom 6. bis 8. Tag wurde noch eine Produktionsmenge um die 27 Liter gemessen. Am 9. und 10. Tag ergab die Messung ca. 23 Liter Biogas. Am 11. und 12. Tag waren es dann noch ca. 18 Liter. Um den 13. bis 15. Tag waren es gerade noch 10 Liter. Ab 11. bis zum 25. Verweiltag wurden durchgängig ca. 7 Liter Biogas pro Tag produziert.

In der Summe wurden mit der Grassilage, 2. Schnitt aus Wussegel über einen Produktionszeitraum von 25 Tagen 372 Liter Biogas pro kg organischer Trockenmasse produziert. Auf Basis einer durchschnittlichen Bereitstellungsmenge von 1,32 t oTM/d kann über einen Zeitraum von 25 Tagen mit der Grassilage eine Biogasmenge von 491 $m^3$ (372 $m^3$/d x 1,32 t oTM = 491 $m^3$) produziert werden. Um im Rahmen der Fermentation mit dieser Grassilage 770 $m^3$ Biogas pro Tag produzieren zu können, müssten ca. 2,07 t oTM/d fermentiert werden.

**Jasebeck**

Bei der Fermentation im Laborfermenter wurde für diese Grassilage am 3. Tag eine Biogasmenge von 31 Liter gemessen. Ab dem 4. bis 10. Tag wurden ca. 17 Liter Biogas pro Tag gemessen. In der Zeit vom 12. bis 14. Tag wurden ca. 13 Liter an Biogas produziert. Vom 15. bis zum 25. Tag wurden fast durchgängig ca. 9 Liter ermittelt.

In der Summe wurden mit der Grassilage, 1. Schnitt aus Jasebeck über einen Produktionszeitraum von 25 Tagen 338 Liter Biogas pro kg organischer Trockenmasse produziert. Auf Basis einer durchschnittlichen Bereitstellungsmenge von 1,32 t oTM/d kann über einen Zeitraum von 25 Tagen mit der Grassilage eine Biogasmenge von 446 $m^3$ produziert werden. Um im Rahmen der Fermentation mit dieser Grassilage 770 $m^3$ Biogas pro Tag produzieren zu können, müssten ca. 2,28 t oTM/d fermentiert werden.

**Grippel**

Der Verlauf der Tagesgasproduktion war zunächst sehr erfreulich. Am dritten Tag wurde eine Tagesgasleistung von ca. 51 Liter erreicht. Ein hohes Niveau um die 40 Liter pro Tag wurde bis zum 8. Tag beibehalten. Danach fiel die Biogasproduktion kontinuierlich auf zunächst 30 Liter, 18 Liter und 12 Liter ab. Am 16. Tag lieferte die Grassilage bis zum 25. Tag im Mittel um die 7 Liter Biogas pro Tag.

In der Summe wurden mit der Grassilage, 1. Schnitt aus Grippel über einen Produktionszeitraum von 25 Tagen 517 Liter Biogas pro kg organischer Trockenmasse produziert. Auf Basis einer durchschnittlichen Bereitstellungsmenge von 1,32 t oTM/d kann über einen Zeitraum von 25 Tagen mit der Grassilage eine Biogasmenge von 682 $m^3$ produziert werden. Um im Rahmen der Fermentation mit dieser Grassilage 770 $m^3$ Biogas pro Tag produzieren zu können, müssten ca. 1,49 t oTM/d fermentiert werden.

Bezogen auf die kalkulatorische Zielmenge von 770 $m^3$ Biogas pro Tag und Fermenter errechnet sich auf Basis der ermittelten Biogasmenge von 682 $m^3$ für die Grassilage aus Grippel eine energetische Leistung von 88,6%.

Mit einem Mischsubstrat, wie es vom Biogasanlagenbetreiber BBM in der Regel eingesetzt wird, lassen sich im Vergleich zu einer Grassilage nach KTBL ca. 5% mehr an Biogas pro Kilogramm organischer Trockenmasse produzieren. Wie es im Kapitel 6 ausgeführt wurde, ist der Ertrag an Biogas aus Grassilage von extensiv geführten Grünlandflächen um ca. 5 bis 7% geringer. In der Summe dieser beiden Aspekte ergibt sich eine Differenz von ca. 12% zwischen einer Grassilage von extensiv geführten Grünlandflächen und dem bei der BBM eingesetztem Mischsubstrat.

Mit dem praktischen Gärversuch im Labor wird die maximale Energieleistung des zu prüfenden Substrates ermittelt. Um jedoch auch einen wirtschaftlichen Aspekt berücksichtigen zu können, erscheint es sinnvoll zu sein, die täglichen Biogasmengen lediglich für eine feste Gärphase von z.B. 25 Tagen zu addieren. Nur mit dieser Abgrenzung wurde deutlich, dass die geprüften Grassilagen aus Wussegel (2. Schnitt) und Jasebeck (1. Schnitt) keine guten Voraussetzungen für eine mikrobielle Umsetzung zu Biogas hatten. Lediglich die Grassilage aus Grippel, 1. Schnitt, gehäckselte Ware, konnte eine noch zu definierende Mindestanforderung erfüllen.

Keine Unterschiede konnten mit der Methode der theoretischen Gasausbeute nach Baserga für die untersuchten Grassilagen auf Basis des ausgewiesenen Wertes **$l_N$ / kg oTS** nachgewiesen werden.

## 7.2. Ergebnisse der Gasausbeute im Gärrest

Die Überprüfung des Potentials an Restgas in einem Gärrest wurde ebenfalls in der LUFA Nord-West in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 4360 durchgeführt. Der ermittelte theoretische Gasertrag nach Baserga ist bei einem Gärrest mit 50% zu bewerten.

**Tab. 14: Theoretische Gasausbeute nach Baserga im Gärrest**

| Herkunft/Eigenschaft | Theoretischer Biogasertrag | | | Methan |
|---|---|---|---|---|
| | $l_N$ / kg FM | $l_N$ / kg TS | $l_N$ / kg oTS | Vol.-% |
| **BBM-Gärrest (fest):** beprobt 27.07.09 | 46 | 187 | 278 | 54,3 |
| **BBM-Gärrest (fest):** beprobt 29.10.09 | 44 | 188 | 176 | 54,8 |

**Tab. 15: Praktisch ermittelte Gasausbeute im Gärrest**

| Herkunft/Eigenschaft | Biogasertrag | | | Methan |
|---|---|---|---|---|
| | $l_N$ / kg FM | $l_N$ / kg TS | $l_N$ / kg oTS | Vol.-% |
| **BBM-Gärrest (fest):** beprobt 27.07.09 | 33 | 138 | 205 | 51,8 |
| **BBM-Gärrest (fest):** beprobt 29.10.09 | 18 | 78 | 114 | 62,3 |

Die Ausgasung der Gärreste erfolgte für den Gärrest vom 27.07.2009 über einen Zeitraum von 98 Tagen und für den Gärrest vom 29.10.2009 über 105 Tage.

Mit dem Gärrest vom 27.07.2009 (siehe Verlaufskurve Abb. 25 im Anhang) konnte über einen Zeitraum von 25 Tagen noch eine tägliche Biogasmenge im Mittel von ca. 4 $l_N$/kg oTS produziert werden. Ab dem 25. Tag ist die Biogasproduktionsmenge auf unter 2 $l_N$/kg oTS gefallen. Für 2 Tage wurde am 4. und 5. Tag des angesetzten Versuches noch eine Biogasmenge von 10 Litern registriert. In der Summe konnten somit über einen Produktionszeitraum von 25 Tagen noch ca. 100 Liter Biogas pro kg organischer Trockenmasse mit dem entnommenen Gärrest produziert werden.

Mit dem Gärrest vom 29.10.2009 (siehe Verlaufskurve Abb. 26 im Anhang) konnte über einen Zeitraum von 25 Tagen noch eine tägliche Biogasmenge im Mittel von ca. 3 $l_N$/kg oTS produziert werden. Ab dem 25. Tag ist die Biogasproduktionsmenge auf

1 $l_N$/kg oTS gesunken. Bei diesem Gärrest wurde der höchste Biogaswert am 4. Tag mit 4,25 $l_N$/kg oTS gemessen. In der Summe konnten somit über einen Produktionszeitraum von 25 Tagen noch ca. 75 Liter Biogas pro kg organischer Trockenmasse mit dem entnommenen Gärrest produziert werden.

Bei einer durchschnittlichen Biogasproduktionsmenge von 532 Litern Biogas pro Kilogramm organischer Trockenmasse, wie es für die im Projekt eingesetzten Grassilagen ermittelt wurde, errechnet sich auf Basis der Gärrestuntersuchung eine nicht wirtschaftlich genutzte Biogasmengen von unter 20%.

# 8 Nähr- und Schadstoffe im Gärrest

Durch die hohe Grundbelastung an Schwermetallen und Dioxinen in den Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe, werden bei der Beerntung der Flächen auch Schadstoffe in die Grassilagen mit eingetragen (siehe Kapitel 4.2.4.4). Über die mikrobielle Aktivität bei der Vergärung der Grassilagen im Fermenter wird organische Substanz in Biogas umgesetzt, und es wird dabei Pflanzensaft freigesetzt.

## 8.1. Nährstoffe im Gärrest

Der Pflanzensaft wird als so genanntes Perkolat einem Perkolatlager zugeführt. Für die Begleitung und Stabilisierung des Gärprozesses wird Perkolatflüssigkeit dem Lager wieder entnommen und als Impfstoff eingesetzt. Nicht benötigte Perkolatüberschüsse werden zum Zwecke der Düngung auf den betriebseigenen Flächen des landwirtschaftlichen Betriebes Siemke aufgebracht.

Mit einem TS-Gehalt von 6,7% hat das Perkolat eine vergleichbare Konsistenz wie eine Schweinegülle. Von der Stickstoffkonzentration entspricht das Perkolat ebenfalls einer Schweinegülle und von der Kaliumkonzentration einer Rindergülle. Alle anderen Nährstoffkonzentrationen sind eher mit einer Schweinejauche vergleichbar (siehe Tab. 16).

**Tab. 16: Mineralstoffgehalte im Perkolat – Biogasanlage BBM**

| Probenahme | TS % | $_{org}$TS | $_{min}$TS | pH-Wert | N | $NH_4$-N | $P_2O_5$ | $K_2O$ | MgO | S |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | % in der TM | | | kg/t TM | | | | | |
| 01.04.2010 | 6,7 | 71,3 | 28,7 | 8,0 | 92,7 | 46,6 | 12,6 | 130,0 | 5,7 | 4,9 |
| | | | | | kg/t FM | | | | | |
| | | | | | 6,2 | 3,1 | 0,8 | 8,7 | 0,4 | 0,3 |

Der im Fermenter verbleibende Rest an organischer Substanz (lignin- und cellulosehaltige Pflanzenbestandteile, Dioxine, etc.) und anorganischer Substanz (Nährstoffe, Schwermetalle, Sand, etc.) wird am Ende des Gärprozesses als Gärrest dem Biogasreaktor entnommen und einem Gärrestelager zugeführt. Über die gesamte Projektlaufzeit wurden 1.286 t Gärrest mit einem mittleren TS-Gehalt von 25,4% abgegeben. Die über die Gärreste abgegebene

Trockenmasse setzte sich im Mittel aus 68,8% organischer Substanz und zu 31,2% aus mineralischer Substanz zusammen (siehe Tab. 17).

**Tab. 17: Abgegebene Gärrestmenge und deren Zusammensetzung**

| t Menge | TS-Gehalt arith. | % oTS arith. | % mTS arith. | t TM | t oTM | t mTM |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.286 | 25,4 | 68,8 | 31,2 | 327 | 225 | 102 |

An Grassilage aus dem Deichvorland der Elbe wurden über die gesamte Projektlaufzeit 559,57 Tonnen organische Trockenmasse im Fermenter 7 vergoren. 60% der organischen Trockenmasse wurden dabei in Biogas umgewandelt. Die über die Grassilage eingebrachte Menge von 635,85 Tonnen Trockenmasse hat sich vor diesem Hintergrund auf 327,11 Tonnen verringert. Der mittlere TS-Gehalt von 40,6% der eingesetzten Grassilagen hat sich auf 25,4% beim abgegebenen Gärrest reduziert. Die mit der Grassilage eingetragene mineralische Trockenmasse betrug 76,28 t. Mit dem Gärrest wurden 102 t mineralische Trockenmasse wieder abgegeben (siehe Tab. 18).

**Tab. 18: Vergleich der Ab- bzw. Zunahme von Produkteigenschaften bei der Verstoffwechselung der eingesetzten Grassilage aus dem Deichvorland der Elbe**

| Produkteigenschaft | Produkt | | Differenz | Differenz in % |
|---|---|---|---|---|
| | Grassilage | Gärrest | | |
| TM in t | 635,85 | 327,11 | - 308,74 | - 48,6 |
| oTM in t | 559,57 | 225,11 | - 334,46 | - 59,8 |
| mTM in t | 76,28 | 102,00 | 25,72 | 33,7 |
| TS-Gehalt (%) | 40,6 | 25,4 | - 15,2 | - 37,4 |

Der auf Basis der Monovergärung mit Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe produzierte Gärrest hat die Konsistenz und Struktur eines aus einem Tiefstall entnommenen Stallmistes. Von den Nährstoffgehalten (siehe Tab. 19) ist der feste Gärrest vergleichbar mit einem Rindermist (LWK Niedersachsen, 2011). Lediglich der Stickstoffgehalt ist im Gärrest fast doppelt so hoch im Rindermist. Der im festen Gärrest gelöste pflanzenverfügbare Anteil an Ammoniumstickstoff beträgt 30%. Unbelastete Gärreste werden daher gern als hochwertige organische Dünger auf landwirtschaftlich genutzten Flächen verwendet.

**Tab. 19: Mineralstoffgehalte im Gärrest – Biogasanlage BBM**

| Probenahme | TS | $_{org}$TS | $_{min}$TS | pH-Wert | N | $NH_4$-N | $P_2O_5$ | $K_2O$ | MgO | S |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | % | % in der TM | | | kg/t TM | | | | | |
| 09.07.2009 | 24,1 | 62,8 | 37,2 | 8,6 | 33,4 | 10,7 | 11,9 | 25,2 | 6,1 | 3,2 |
| 10.10.2009 | 26,8 | 65,4 | 34,6 | 8,5 | 34,4 | 10,7 | 13,3 | 36,9 | 7,3 | 3,7 |
| 17.12.2009 | 23,9 | 70,6 | 29,4 | 8,6 | 42,1 | 15,5 | 12,0 | 45,0 | 6,3 | 3,9 |
| 01.04.2010 | 27,4 | 72,0 | 28,0 | 8,4 | 36,6 | 8,17 | 12,3 | 36,8 | 5,8 | 3,5 |
| 06.09.2010 | 23,6 | 69,2 | 30,8 | 8,5 | 38,9 | 10,3 | 12,6 | 35,4 | 6,8 | 3,4 |
| 21.10.2010 | 27,3 | 64,0 | 36,0 | 8,9 | 33,1 | 6,8 | 17,5 | 27,8 | 10,7 | 4,4 |
| | | | | | | | | | | |
| Ø | 25,5 | 67,3 | 32,7 | 8,6 | 36,4 | 10,4 | 13,3 | 34,5 | 7,2 | 3,7 |
| | | | | | kg/t FM | | | | | |
| | | | | | 9,3 | 2,7 | 3,4 | 8,8 | 1,8 | 0,9 |

## 8.2. Schadstoffe im Gärrest

Bei der Verstoffwechselung im Biogasreaktor werden nach der allgemeinen Erkenntnis keine Schwermetalle und Nährstoffe abgebaut. Über einen nennenswerten Abbau von Dioxinen bei der Vergärung von Biomasse im Biogasreaktor liegen keine Erkenntnisse vor. Hier besteht Forschungsbedarf. Daher wird weiterhin davon ausgegangen, dass es auch hier zu keinem Abbau an Dioxinen im Biogasreaktor kommt.

Durch die Umsetzung von Biomasse zu Biogas reduziert sich der organische Anteil in der Trockenmasse und der mineralische Anteil erhöht sich proportional. Das proportionale Verhältnis von organischer zu anorganischer Substanz beträgt bei den im Rahmen der Monovergärung eingesetzten Grassilagen 1 : 7,3.

Durch den Abbau von ca. 60% organischer Substanz bei der Fermentation der Grassilagen verengt sich das proportionale Verhältnis im Gärrest auf 1 : 2,9. Bezogen auf die Trockenmasse, besteht der Gärrest somit rechnerisch anteilig aus 67% organischer und 33% anorganischer Substanz. Aufgrund der gegebenen Proportionalität wird rechnerisch die Konzentration an Schadstoffen nach der Fermentation der Grassilagen im Gärrest um den Faktor 2,75 ansteigen.

Der theoretische Ansatz konnte bezogen auf die gesamte Projektlaufzeit unter Bildung von Mittelwerten annähernd bestätigt werden. In der Tabelle 20 sind die mittleren Schadstoffgehalte in den Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe dargestellt.

Durch Multiplikation mit dem Proportionalitätsfaktor 2,75 wurde die mittlere Schadstoffkonzentration im Gärrest errechnet. Dies trifft annähernd für die Inhaltsstoffe Blei, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Arsen und Dioxine zu. Für die Inhaltsstoffe Cadmium, Nickel, Zink und den dl-PCB trifft dies nicht zu (siehe Tab. 16:). Bei den letztgenannten Schadstoffen führt die Multiplikation mit dem Proportionalitätsfaktor zu einem wesentlich höheren Wert, wodurch die

tatsächliche Konzentration bei Zink um ca. 30% und bei Cadmium, Nickel und den dl-PCB um ca. 60% überschritten wird. Auf Basis dieser Erkenntnis wurde ein Korrekturfaktor abgeleitet. Für Zink lautet der Korrekturfaktor 1,3 und für Cadmium, Nickel und den dl-PCB 1,6.

Die abweichenden Proportionalitätsfaktoren werden ermittelt, indem der allgemeine Proportionalitätsfaktor 2,75 durch den jeweiligen Korrekturfaktor dividiert wird. Mit dem so ermittelten Proportionalitätswert ist der in der Grassilage analysierte Zink- bzw. Cadmiumgehalt, etc. zu multiplizieren. Im Ergebnis erhält man einen Näherungswert, der Aufschluss darüber gibt, wie hoch die Konzentration des bewerteten Schadstoffes im Gärrest sein wird.

**Tab. 20: Mittlere Schadstoffgehalte in den Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe**

| | Pb | Cd | Cr | Cu | Ni | Hg | Zn | As | TEQ dl-PCB | TEQ PCDD/F |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | mg/kg TM | | | | | | | | ng/kg TM | |
| Ø | 2,9 | 0,77 | 3,1 | 11,4 | 3,9 | 0,11 | 109 | 1,3 | 0,14 | 6,03 |

Die beschriebene Vergleichsableitung einer proportionalen Schadstoffkonzentration in einem Gärrest nach einer Fermentation von Grassilagen basiert auf nur wenigen Untersuchungsergebnissen und sollte daher auch nur als Orientierungsrahmen genutzt werden. Bei der Bildung der Mittelwerte, wie es in der Tabelle 20 wiedergegeben wurde, konnten nicht alle Fachargumente berücksichtigt werden. Der Mittelwert ist jedoch als Orientierungsrahmen unabdingbar.

Sehr schwierig für die Interpretation war der Sachverhalt, dass zu Beginn des Projektes der Monovergärung eine Grassilage mit extrem hohen Gehalten an Schwermetallen und Dioxinen eingesetzt wurde (siehe Kapitel 4.2.4.4, Tab. 5). Diese Grassilage wurde noch bis zum 09.07.2009 dem Monovergärungsfermenter zugeführt.

Dies ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auch der Grund, dass von allen untersuchten Gärresten bei der Gärrestuntersuchung am 09.07.2009 die höchste Schadstoffkonzentration bei den Schwermetallen und den Dioxinen nachgewiesen wurde. Auffällig hohe Schadstoffkonzentrationen wurden auch noch ein halbes Jahr nach Beginn des Projektes analysiert, wie es die Gärrestuntersuchung vom 17.12.2009 aufzeigt (siehe Tab. 21). Vor dem Hintergrund der Schadstoffkonzentration im Deichvorland der Elbe hat die Gärrestuntersuchung vom 01.04.2010 erstmalig wieder moderate Schadstoffkonzentrationen im Gärrest ergeben.

Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang auch, dass vor der Entnahme der Gärrestprobe am 01.04.2010, im Vergleich zur eingesetzten Grassilage vom 18.05.2009 mit extremen Schadstoffgehalten, eher gering belastete Grassilagen über ein halbes Jahr eingesetzt wurden. Zugleich zeigt dies auch, dass das Altmaterial nach dem theoretischen Ansatz nicht bereits nach drei Wechselintervallen komplett ausgetauscht werden konnte.

**Tab. 21: Schadstoffgehalte in den Gärresten – Biogasanlage BBM**

| Probe-nahme | Pb | Cd | Cr | Cu | Ni | Hg | Zn | As | TEQ dl-PCB | TEQ PCDD/F |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | mg/kg TM | | | | | | | | ng/kg TM | |
| 09.07.2009 | 16,4 | 2,19 | 12,9 | 31,5 | 8,3 | 0,64 | 303 | 5,9 | 0,20 | 34,2 |
| 10.10.2009 | 9,7 | 1,24 | 9,0 | 31,0 | 7,0 | 0,36 | 256 | 3,8 | 0,19 | 26,2 |
| 17.12.2009 | 6,9 | 1,33 | 7,0 | 30,0 | 7,0 | 0,25 | 227 | 2,7 | 0,19 | 26,0 |
| 01.04.2010 | 3,0 | 0,82 | 4,0 | 23,0 | 4,0 | 0,12 | 166 | 1,7 | 0,39 | 5,2 |
| 06.09.2010 | 4,0 | 1,08 | 6,0 | 21,0 | 5,0 | 0,15 | 194 | 2,1 | 0,34 | 7,5 |
| 21.10.2010 | 6,0 | 1,35 | 13,0 | 28,0 | 10,0 | 0,11 | 226 | 2,2 | 0,14 | 2,2 |
| | | | | | | | | | | |
| Ø | 7,7 | 1,34 | 8,7 | 27,4 | 6,9 | 0,27 | 229 | 3,1 | 0,24 | 16,9 |

Die Werte der Schadstoffkonzentration im flüssigen Gärrest, also dem Perkolat, wurde in der Tabelle 22 zusammengestellt. Im Vergleich zum festen Gärrest, welcher am gleichen Tag wie das Perkolat entnommen wurde, sind die Gehalte im Perkolat an Kupfer um ca. 130%, bei Nickel um ca. 50% und beim Zink um ca. 70% höher.

Der Wert für Cadmium ist im Perkolat nur halb so hoch. Die Gehalte an dl-PCB und Dioxinen im Perkolat weisen dagegen eine 3- bis 7-fach geringere Konzentration im Vergleich zum entnommenen festen Gärrest des gleichen Tages auf.

Das Perkolat wurde dem Perkolatlager entnommen. Gespeist wird das Perkolatlager nicht nur über Perkolatflüssigkeit aus dem Fermenter 7, sondern auch die übrigen sechs Fermenter leiten ihre Perkolatflüssigkeit in das Lager ein. In den sechs übrigen Fermentern wird mit bis zu 40% Volumenanteil auch Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft eingesetzt.

Aus anderen Untersuchungen ist bekannt, dass in Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft eine erhöhte Konzentration an Kupfer und Zink gegeben ist. Dies erklärt möglicherweise auch, weshalb eine erhöhte Konzentration an Kupfer und Zink im Perkolat nachgewiesen wurde.

Eine getrennte Beprobung des Perkolats aus dem Fermenter 7 und der Fermenter 1 bis 6 war in der Praxisanlage nicht durchführbar.

**Tab. 22: Schadstoffe im Perkolat – Biogasanlage BBM**

| Probe-nahme | Pb | Cd | Cr | Cu | Ni | Hg | Zn | As | TEQ dl-PCB | TEQ PCDD/F |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | mg/kg TM | | | | | | | | ng/kg TM | |
| 01.04.2010 | 3,0 | 0,44 | 3,0 | 49,0 | 6,0 | 0,03 | 288 | 1,5 | 0,13 | 0,71 |

## 8.3. Düngerechtlicher Rahmen

**Düngemittelgesetz (DüngMG)**

Bei dem Gärrest, der im Rahmen der Monovergärung ausschließlich nur durch die Verwendung von Grassilagen aus dem Deichvorland hergestellt wurde, handelt es sich um einen Wirtschaftsdünger pflanzlicher Herkunft.

Im Düngemittelgesetz von 1977 wird Wirtschaftsdünger im § 1 wie folgt definiert: „Wirtschaftsdünger sind tierische Ausscheidungen, Gülle, Jauche, Stallmist, Stroh sowie ähnliche Nebenerzeugnisse aus der landwirtschaftlichen Produktion, auch weiterbehandelt, die dazu bestimmt sind, um als Düngemittel unmittelbar oder mittelbar Nutzpflanzen zugeführt zu werden, um ihr Wachstum zu fördern, ihren Ertrag zu erhöhen oder ihre Qualität zu verbessern“ (DüngMG, 1977).

Der Gärrest ist im Sinne des DüngMG ein Nebenerzeugnis aus der landwirtschaftlichen Produktion und fällt im Rahmen der energetischen Produktion in einer Biogasanlage an.

Die Beerntung der Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe und die Herstellung der Grassilagen erfolgten zielgerichtet, um aus dem landwirtschaftlichen Produkt einen energetischen Nutzen zu ziehen. Durch die Fermentation von ausschließlich nur Grassilagen handelt es sich bei dem Gärrest um einen Wirtschaftsdünger pflanzlicher Herkunft.

**Düngemittelverordnung (DüMV)**

Düngemittel dürfen nur in Verkehr gebracht werden, also als solche gehandelt und zum Zwecke der Düngung eingesetzt werden, wenn die Voraussetzungen nach der Düngemittelverordnung vorliegen. Eine Voraussetzung ist, dass der Stoff aus dem ein Düngemittel hergestellt werden soll, auch als Ausgangsstoff zur Herstellung eines Düngemittels in der Verordnung aufgeführt ist. Bei dem Gärrest handelt es sich vom Düngemitteltyp her, um einen organischen NPK-Dünger (siehe Abschnitt 3 der DüMV).

In der Anlage 2, Tab. 1.4. DüMV wird geregelt, dass Düngemittel nur in Verkehr gebracht werden dürfen, wenn die in der Tabelle genannten zulässigen Höchstgehalte für Schadstoffe nicht überschritten werden. Für die im Projekt untersuchten Schadstoffe sind es Arsen, Blei, Cadmium, Nickel und Quecksilber.

In der Tabelle 23 sind die nach DüMV vorgegebenen zulässigen Höchstgehalte aufgeführt. Ferner ist aus der Tabelle zu entnehmen, ab welcher Konzentration an Schadstoffen der analysierte Wert auf dem Warenbegleitschein zum Düngemittel auszuweisen ist.

Die Elemente Kupfer und Zink sind nach der DüMV von 2008 keine Schadstoffe, sondern Spurennährstoffe. Bei Wirtschaftsdüngern ist ab einem Gehalt von 0,05% Kupfer und von 0,1% Zink, bezogen auf die Trockenmasse, auf dem Warenbegleitschein zum Düngemittel der analysierte Gehalt anzugeben. Der Schwellenwert zur Ausweisung von Kupfer und Zink wurde bei den analysierten festen Gärresten und beim Perkolat nicht erreicht.

Eine Überschreitung des zulässigen Höchstwertes wurde beim Cadmium mit 1,88 mg/kg TM im Rahmen der Gärrestuntersuchung vom 18.05.2009 analysiert. Die Kennzeichnungsschwelle wurde bei der Gärrestuntersuchung am 18.05.2009 beim Quecksilber und am 06.09.2010 beim Cadmium erreicht.

**Tab. 23: Auswahl zulässiger Höchstgehalte und Schwellenwerte zur Kennzeichnung von Schadstoffen nach DüMV**

| Nebenbestandteil | Kennzeichnung ab … mg/kg TM | Toleranz in % des gekennzeichneten Wertes jeweils bis zu | Grenzwert mg/kg TM |
|---|---|---|---|
| **Arsen (AS)** | **20** | **50%** | **40** |
| **Blei (Pb)** | **100** | **50%** | **150** |
| **Cadmium (Cd)** | **1,0** | **50%** | **1,5** |
| **Nickel (Ni)** | **40** | **50%** | **80** |
| **Quecksilber (Hg)** | **0,5** | **50%** | **1,0** |

Die dl-PCB und auch die Dioxine sind in der aktuellen Düngemittelverordnung nicht geregelt. Daher kann ein Wirtschaftdünger oder auch ein Bioabfallstoff, der den rechtlichen Vorgaben nach der Bioabfallverordnung unterliegt, unabhängig von der analysierten Höhe an Dioxinen, als Düngemittel eingesetzt werden. Nach der Abfallklärschlammverordnung darf Klärschlamm ab einer Dioxinkonzentration von 100 ng TEQ pro kg TM nicht mehr als Düngemittel eingesetzt werden.

In Fachkreisen wird derzeit diskutiert, die Dioxinkonzentration in Düngemitteln auf 30 ng TEQ pro kg TM und bei der Anwendung auf Grünland- sowie Ackerfutterbauflächen auf 5 ng TEQ pro kg TM zu begrenzen (mündl. Dr. Severin, 2011) . Vor dem Hintergrund der erst kürzlich in Futtermitteln nachgewiesenen Dioxinkonzentrationen, wäre dies mit Sicherheit ein geeigneter Beitrag, um den Dioxineintrag in Böden von landwirtschaftlich genutzten Flächen zu unterbinden bzw. nachhaltig zu begrenzen.

**Düngeverordnung (DüV)**

Die Düngeverordnung regelt die Anwendung von Düngemitteln auf landwirtschaftlich und gartenbaulich genutzten Flächen. Ziel der Düngeverordnung ist es, durch einen schonenden Einsatz von Düngemitteln und eine Verminderung von Nährstoffverlusten langfristig die Nährstoffeinträge in Gewässer und andere Ökosystem zu verringern. Mit der Düngeverordnung wird den Landwirten die notwendige Rechtssicherheit für ihre Düngungsmaßnahmen gegeben, und die sachgerechten Düngevorschriften tragen dazu bei, die Ziele des Umwelt- und insbesondere des Gewässerschutzes zu unterstützen und Wettbewerbsverzerrungen zu vermeiden.

Allgemein gilt, Düngemittel mit einem wesentlichen Nährstoffgehalt (mehr als 1,5% N und mehr als 0,5% $P_2O_5$ in der TM) dürfen nicht ausgebracht werden, wenn der Boden überschwemmt, wassergesättigt, gefroren oder durchgängig höher als 5 cm mit Schnee bedeckt ist. Ferner ist bei der Ausbringung dafür zu sorgen, dass kein Eintrag und kein Abschwemmen in oberirdische Gewässer erfolgt.

Stallmist oder auch der feste Gärrest sind Düngemittel mit einem wesentlichen Nährstoffgehalt und somit sind die allgemein gültigen Regelungen anzuwenden. Für beide Dungstoffe gilt jedoch aufgrund der Konsistenz nicht das Verbot der Ausbringung (Sperrfrist) in der Zeit vom 15.11. bis 31.01. Als feste organische Düngemittel sind der Stallmist und auch der feste Gärrest nicht von der Mengenbegrenzung nach der Ernte der letzten Hauptfrucht betroffen.

Als sinnvolle Stallmistgabe wird von den landwirtschaftlichen Beratungsinstitutionen eine Gabe in Höhe von 150 bis 250 dt/ha empfohlen. Für den Gärrest der Monovergärung, welcher ausschließlich nur auf Basis von Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe produziert

wurde, gibt es bisher keine Empfehlungen einer geeigneten Aufbringungsmenge. Da der feste Gärrest identische Eigenschaften wie ein Rindermist aufweist, kann analog verfahren werden.

Grundsätzlich sollte bei der Düngung mit festen organischen Dungstoffen ein Termin ausgangs des Winters angestrebt werden. Je später gedüngt wird, desto wichtiger ist eine gute Vorrotte, um einer Futterverschmutzung und einem möglichen Abdecken der Narbe vorzubeugen. Ferner sollte nach der Aufbringung die Grünlandfläche abgeschleppt werden, um das Einrieseln in die Grasnarbe zu begünstigen. (LWK Nordrhein-Westfalen, 2010).

**Besonderheiten beim Einsatz auf den Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe**

Die Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe werden in den Wintermonaten regelmäßig und im Jahresverlauf auch mehrfach überschwemmt. Überschwemmungen treten bis ins zeitige Frühjahr auf. Erst wenn die Schneeschmelze in den Hochgebirgslagen der Elbezuflüsse abgeschlossen ist, kann eine allgemeine Überschwemmung der Deichvorlandflächen ausgeschlossen werden.

Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass die Schneeschmelze Ende März/Anfang April in der Regel abgeschlossen ist und eine Überschwemmung der Deichvorlandflächen aufgrund der Winterniederschläge nicht mehr eintreten wird. Dies ist zugleich auch der Zeitpunkt, dass eine Befahrbarkeit der Flächen gegeben ist und die Flächen im Deichvorland gedüngt oder mechanisch gepflegt werden können.

Eine Düngung mit Gärresten bereits zu Winterbeginn schließt sich aufgrund der regelmäßigen Überschwemmungen der Deichvorlandflächen der Elbe aus.

# 9 Feldversuch der Gärrestaufbringung auf einer Grünlandfläche im Deichvorland der Elbe

## 9.1. Rechtlicher Rahmen im Deichvorland der Elbe

Das auf niedersächsischer Seite befindliche Deichvorland der Elbe von Schnackenburg bis Hohnstorf befindet sich im Schutzgebietsteil C des Biosphärenreservates Niedersächsische Elbtalaue. Die naturschutzfachlichen Auswirkungen auf die Grünlandbewirtschaftung wurden bereits im Abschnitt 4.1 beschrieben. Auf die Zulässigkeit des Einsatzes von Düngemitteln wird näher eingegangen.

Nach dem Gesetz über das Biosphärenreservat „Niedersächsische Elbtalaue“ wird den Nutzern der Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe im Gebietsteil C eine organische Düngung mit Wirtschaftsdüngern **tierischer** Herkunft und die Düngung mit Sekundärrohstoffdüngern untersagt. Eine Düngung mit mineralischen Düngern und mit Wirtschaftsdüngern **pflanzlicher** Herkunft ist nicht untersagt und somit erlaubt.

Eine Düngung mit Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft kann die Biosphärenreservatsverwaltung im Einzelfall zulassen, soweit der Schutzzweck nicht erheblich beeinträchtigt wird und die Düngung nach der guten fachlichen Praxis beim Düngen auf einer hoch gelegenen, Fläche erfolgt.

Unabhängig von den hoheitlichen Einschränkungen zur Bewirtschaftung der Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe können die Nutzer dieser Flächen freiwillig weitergehende Bewirtschaftungseinschränkungen im Rahmen des Kooperationsprogramms Naturschutz

(KoopNat) eingehen. Aufgrund des Entgeltes (17 Punkte a´ 11€ = 187 €/ha Erschwernisausgleich), hat sich ein Großteil der Nutzer der Grünlandflächen im Deichvorland verpflichtet, gänzlich auf eine Düngung zu verzichten. Wer von den Nutzern der Grünlandflächen im Deichvorland eine derartige Verpflichtung eingegangen ist, darf keinen Wirtschaftsdünger pflanzlicher Herkunft und auch keinen Mineraldünger auf den vertraglich gebundenen Flächen einsetzen.

## 9.2. Methodik

Für die Durchführung des Feldversuches der Gärrestaufbringung wurde eine Grünlandfläche im Deichvorland ausgewählt, für die der teilnehmende landwirtschaftliche Betriebsleiter keine freiwilligen Bewirtschaftungseinschränkungen nach KoopNat vereinbart hatte. Besonders geeignet war die Fläche auch, weil nach der Versuchsdurchführung der gesamte Aufwuchs in der betriebseigenen Biogasanlage des landwirtschaftlichen Betriebsleiters als Grassilage einer energetischen Verwertung zugeführt werden konnte.

Die Feldversuchsfläche befindet sich in einem größeren Areal im Deichvorland der Elbe gegenüber der Ortschaft Pretzetze im Landkreis Lüchow-Dannenberg. Für die Durchführung des Versuchs wurden auf der Fläche drei Parzellen (SAWA 1 bis 3) mit einer Größe von ca. 9.000 $m^2$ heraus gemessen (siehe Abb. 14).

**Abb. 14: Feldversuchsfläche nordöstlich von Pretzetze im Deichvorland der Elbe**

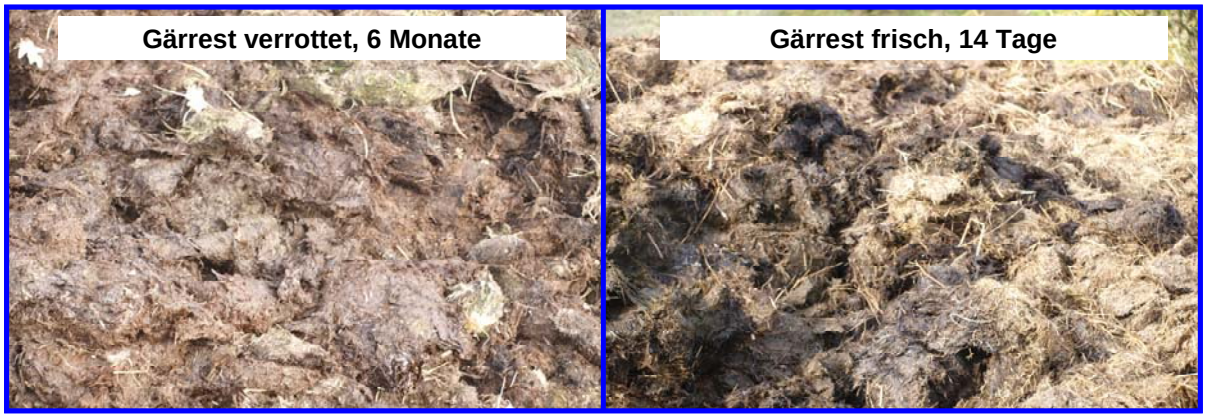
Vor der Gärrestaufbringung wurde auf allen drei Parzellen eine Mischprobe vom Boden in einer Tiefe von ca. 10 cm entnommen. Die Mischprobe setzt sich aus mindestens 25 Einzelproben zusammen. Die Einzelproben wurden über die gesamte Parzelle gleichmäßig verteilt entnommen.

Alle drei Bodenproben wurden auf folgende Eigenschaften untersucht: Bodenart, Humusklasse, pH-Wert, Phosphor-, Kalium- und Magnesiumgehalt in mg pro 100 g Boden. Bei zwei der entnommenen Bodenproben wurde zusätzlich noch die Konzentration an Schwermetallen und Dioxinen bestimmt.

Die Düngung der drei Parzellen erfolgte mit unterschiedlichen Düngemitteln. Es wurde eine Düngung mit verrottetem und frischem Gärrest sowie eine mineralische Kalkammon-Düngung durchgeführt. Die Düngung mit dem Kalkammondünger wurde zum gleichen Zeitpunkt vorgenommen, wie die Verteilung der Gärreste. Die Gärreste wurden auf den Versuchsparzellen mit einem handelsüblichen Großflächenstreuer durch einen Lohnunternehmer und die mineralische Düngung vom landwirtschaftlichen Betriebsleiter vorgenommen.

Der verrottete Gärrest konnte 6 Monate in einer Feldmiete reifen. Eine zwischenzeitliche Umsetzung bzw. Durchmischung, wie es bei einer Kompostierung üblich ist, erfolgte nicht. Der frische Gärrest wurde unmittelbar vor der Aufbringung von der BBM bereitgestellt. Vom Zersetzungsgrad war zwischen dem 6 Monate alten Gärrest und frischen Gärrest kein optischer Unterschied erkennbar.

**Abb. 15: Gärrestbeschaffenheit**




Die Grünlandmahd und das spätere Schwaden wurden vom Landwirt mit betriebseigenen Maschinen vorgenommen. Das angewelkte Erntegut wurde schwadweise von einem Häcksler mit Doppelmessersatz aufgenommen. Für die Beprobung des Häckselgutes wurde aus dem Kernbereich der jeweiligen Parzelle das Erntegut auf einen Ladewagen gehäckselt. Nach dem Entleeren des Ladewagens auf der Miete wurde vom Häckselgut eine Mischprobe entnommen und zur Untersuchung an die LUFA am Standort in Hameln weitergeleitet. Dort wurde das Häckselgut auf die vorgegebenen Parameter, wie Nährstoffe, Schwermetalle und Dioxine untersucht.

## 9.3. Bodenuntersuchung

Im Rahmen der Bodenuntersuchung wurde der Oberboden der Feldversuchsfläche als stark lehmiger Sand klassifiziert. Die Kalkversorgung (siehe Tab. 24) weist für alle drei Parzellen eine leichte Unterversorgung auf. Es wurde auf Basis der Bodenuntersuchung daher empfohlen, eine mineralische Aufkalkung mit ca. 6 dt CaO/ha durchzuführen. Die Versorgung mit Nährstoffen ergab für Phosphor eine Versorgung in der Gehaltsklasse C, für Kalium in der Gehaltsklasse B und für Magnesium in der Gehaltsklasse D. Die Nährstoffgehalte im Boden

sind im Vergleich mit anderen Bodenuntersuchungen als repräsentativ für die Region einzustufen.

> *<u>Nährstoffgehaltsklassen:</u> Die niedersächsischen Prüfberichte mit den Bodenuntersuchungsergebnissen geben Auskunft über die pflanzenverfügbaren Nährstoffgehalte im Boden. Die Gehalte werden sechs Gehaltsklassen zugeteilt. Anzustreben sind Gehalte der Klasse C. Dieser Bereich stellt sich mittelfristig bei ökonomisch optimaler Düngung ein und gewährleistet nachhaltige Erträge. Böden mit zu geringen Gehalten, (Klasse A und B) sollten bis zu dem Bereich der Klasse C aufgedüngt werden. Liegen die Werte in den Klasse D und E, so kann die Düngung vermindert werden bzw. gänzlich unterbleiben. Dadurch werden die Gehalte des Bodens verringert und in die Klasse C zurückgeführt.*

**Tab. 24: Nährstoffgehalte im Boden auf der Feldversuchsfläche – Probenahme 20.04.2010**

| Parzelle | Boden-art | Humus-klasse | pH-Wert | Kalk-bedarf dt/ha | Phosphor | | Kalium | | Magnesium | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | mg / 100g [10] | GK[11] | mg / 100g | GK | mg / 100g | GK |
| SAWA 1 | lIS | 2,00 | 5,4 | 6 | 8 | C | 7 | B | 21 | D |
| SAWA 2 | lIS | 2,00 | 5,3 | 6 | 7 | C | 8 | B | 22 | D |
| SAWA 3 | lIS | 2,00 | 5,2 | 6 | 7 | C | 8 | B | 22 | D |

Die Gehalte an Schadstoffen im Boden auf der Feldversuchsfläche wurden in der Tabelle 25 dargestellt. Die Probengewinnung erfolgte vom Oberbogen bis zu einer Tiefe von 10 cm, wie es bei einer Grundnährstoffuntersuchung auf Grünlandflächen üblich ist. Aufgrund des vorgegebenen Budgets wurde lediglich die Parzelle SAWA 1 und SAWA 3 auf Schadstoffe untersucht. Die Geländehöhe steigt von der Parzelle 3 bis zur Parzelle 1 leicht an.

Bei verhaltenem Hochwasser der Elbe wird daher die Parzelle 3 häufiger überschwemmt als die Parzelle 1. Besonders im Frühjahr 2010 war dies optisch wieder gut zu erkennen (siehe Abb. 16). Durch ein verhaltenes Hochwasser wurde ausgehend vom vorgelagerten Brack die Grünlandfläche nur bis zur Parzelle 3 überschwemmt. Nach dem Abfließen des Hochwassers blieb ein graubrauner Belag auf dem Aufwuchs zurück. Dadurch war ein erhöhter Schadstoffeintrag in das Futter bei der Ernte oder auch ein höherer Schadstoffeintrag in den Boden der Grünlandfläche gegeben.

Die Untersuchung auf Schadstoffe im Boden ergab für die Parzelle SAWA 3 im Vergleich zur Parzelle SAWA 1 eine deutlich höhere Konzentration. Die Parzelle 3 liegt tiefer als die Parzelle 1 und es werden daher auf der Parzelle 3 häufiger feinste Bodenpartikel abgelagert. An den Bodenpartikeln sind Schadstoffe adsorbiert. Durch die Ablagerung von größeren Mengen an Feinsedimenten auf den tiefer gelegenen Flächenarealen, findet auf diesen Arealen auch eine höhere Konzentration an Schadstoffen statt (Severin, et al., 2004).

[10] mg pro 100 Gramm Boden
[11] GK = Gehaltsklasse

**Abb. 16: Erhöhter Schadstoffeintrag nach einer Überschwemmung durch Auftrag von Bodenpartikeln auf den Aufwuchs**

Bei der Untersuchung auf Schwermetalle werden auf beiden Parzellen die Vorsorgewerte für Böden nach der Bundesbodenschutzverordnung für die Bodenart Lehm/Schluff überschritten (siehe Tab. 25). Keine Grenzwerte bzw. Vorsorgewerte gibt es bei einer landwirtschaftlichen Bodennutzung für Dioxine und den dl-PCB. In der Literatur wird als Hintergrundwert häufig ein Dioxingehalt im Boden von 5 bis 15 ng/kg Boden genannt. Der auf der Versuchsfläche im Boden analysierte Dioxinwert ist um 40fach höher als der Hintergrundwert für Dioxine. Für die Böden der Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe sind derartig hohe Dioxingehalte keine Besonderheit (Severin, 2004).

**Tab. 25: Schadstoffgehalte im Boden auf der Feldversuchsfläche – Probenahme 20.04.2010, Ausgangswerte**

| Parzelle | Pb | Cd | Cr | Cu | Ni | Hg | Zn | As | TEQ dl-PCB | TEQ PCDD/F |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | mg/kg Boden | | | | | | | | ng/kg TM | |
| SAWA 1 | 108 | 3,54 | 76,0 | 85,0 | 31,0 | 4,3 | 476 | 52,7 | 0,93 | 306 |
| SAWA 2 | keine Untersuchung durchgeführt | | | | | | | | | |
| SAWA 3 | 156 | 5,08 | 108,0 | 126,0 | 41,0 | 6,4 | 611 | 66,0 | 2,17 | 430 |
| | | | | | | | | | | |
| Ø | 132 | 4,31 | 92,0 | 105,5 | 36,0 | 5,4 | 544 | 59,4 | 1,55 | 368 |
| BBodSchV – Vorsorgewerte Bodenart Lehm/Schluff | 70 | 1,00 | 60 | 40 | 50 | 0,5 | 150 | --- | --- | --- |

## 9.4. Gärrestausbringung auf der Versuchsfläche

Der verrottete und auch der frische Gärrest wurden vor der Aufbringung auf Nährstoffe und Schadstoffe untersucht. Die Ergebnisse der Schadstoffuntersuchung sind in der Tabelle 26 und die Ergebnisse der Nährstoffuntersuchung in der Tabelle 27 dargestellt.

**Tab. 26: Schadstoffe in den Gärresten, die auf den Versuchsparzellen eingesetzt wurden – Probenahme am 01.04.2010**

| Material | Pb | Cd | Cr | Cu | Ni | Hg | Zn | As | TEQ dl-PCB | TEQ PCDD/F |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | mg/kg TM | | | | | | | | ng/kg TM | |
| verrotteter Gärrest | 7,7 | 1,57 | 10,0 | 35,0 | 10,0 | 0,25 | 267 | 2,4 | 0,31 | 17,7 |
| frischer Gärrest | 3,0 | 0,82 | 4,0 | 23,0 | 4,0 | 0,12 | 166 | 1,7 | 0,39 | 5,2 |

**Tab. 27: Nährstoffe in den Gärresten, die auf den Versuchsparzellen eingesetzt wurden – Probenahme am 01.04.2010**

| Material | TS % | $_{org}$TS | $_{min}$TS | pH-Wert | N | $NH_4$-N | $P_2O_5$ | $K_2O$ | MgO | S |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | % in der TM | | | kg/t TM | | | | | |
| verrotteter Gärrest | 21,0 | 66,5 | 33,5 | 7,7 | 38,6 | 1,8 | 18,4 | 27,4 | 10,3 | 4,7 |
| frischer Gärrest | 27,4 | 72,0 | 28,0 | 8,4 | 36,6 | 8,2 | 12,3 | 36,8 | 5,8 | 3,5 |
| | | | | | kg/t FM | | | | | |
| verrotteter Gärrest | | | | | 8,1 | 0,4 | 3,9 | 5,8 | 2,2 | 1,0 |
| frischer Gärrest | | | | | 10,0 | 2,3 | 3,4 | 10,1 | 1,6 | 1,0 |

Auf den Parzellen 1 und 2 wurden jeweils 12 $m^3$/ha Gärrest, d.h. ca. 10 t/ha aufgebracht.

**Parzelle 1**

Mit dem **verrotteten Gärrest** (6 Monate alt) wurde auf der Parzelle 1 pro Hektar somit eine Nährstoffgabe von 81 kg Gesamt-N, 4 kg Ammonium-N, 39 kg Phosphat, 58 kg Kalium, 22 kg Magnesium und 10 kg Schwefel verabreicht. Von dem organisch gebundenen Gesamtstickstoff dürften nach der Empfehlungstabelle der LWK Niedersachsen 2011 bei der Aufbringung von Mist auf Grünland ca. 20% im ersten Jahr pflanzenverfügbar sein, d.h. mit der vorgenommenen Gärrestgabe wurden ca. 16 kg N/ha als düngewirksame Stickstoffgabe verabreicht.

**Parzelle 2**

Der **frische Gärrest** (14 Tage alt) wurde auf der Parzelle 2 aufgebracht. Aufgrund der Nährstoffkonzentration errechnet sich eine verabreichte Nährstoffmenge pro Hektar von 100 kg Gesamt-N, 23 kg Ammonium-N, 34 kg Phosphat, 101 kg Kalium, 16 kg Magnesium und 10 kg Schwefel. An pflanzenverfügbarem Stickstoff wurde somit eine Menge von ca. 20 kg N/ha verabreicht.

**Parzelle 3**

Der landwirtschaftliche Betriebsleiter hatte zum gleichen Zeitpunkt auf der Parzelle 3 eine Düngung mit 2,4 dt **Kalkammonsalpeter (KAS)** pro Hektar vorgenommen. KAS enthält

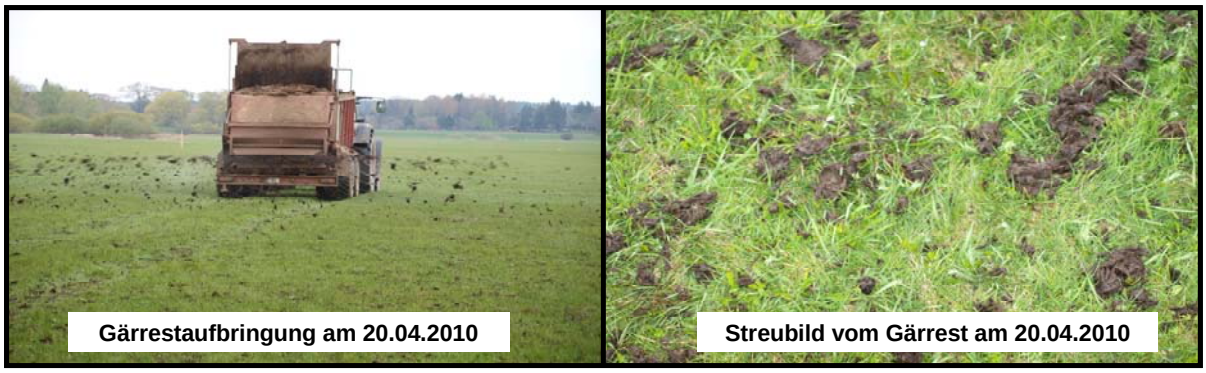
27% Gesamt-N, der sich zu 13,5% aus Nitratstickstoff (schnell wirkend) und zu 13,5% aus Ammoniumstickstoff (langsam wirkend) zusammensetzt. Pro Hektar wurden mit dem Mineraldünger 65 kg Stickstoff verabreicht. Die mineralische Stickstoffmenge ist komplett pflanzenverfügbar. Weitere Nährstoffe wurden nicht gedüngt.

**Aufbringung der Gärreste – Wüchsigkeit der Gräser – Ernte**

Die Aufbringung der organischen Gärreste erfolgte mit einem handelsüblichen Großflächenstreuer. Der Gärrest konnte mit diesem Gerät entsprechend der Arbeitsbreite gleichmäßig verteilt werden. Unbefriedigend war, dass das Material sehr grobklumpig ausgestreut wurde (siehe Abb. 17). Das Gerät war nicht in der Lage, den Gärrest ganz fein zu zerreißen und als dünnen Schleier auf der Grünlandfläche auszustreuen.

Unabhängig von der Zwischenlagerung gab es vom Streueffekt keinen Unterschied zwischen dem Gärrest mit sechsmonatiger Zersetzungsdauer und dem frischen Gärrest.

**Abb. 17: Gärrestaufbringung am 20.04.2010 auf der Feldversuchsfläche**




Mit dem Kalkammonsalpeter wurde im Vergleich zum verrotteten Gärrest die 4fache und im Vergleich zum frischen Gärrest die 3,3fache Menge an pflanzenverfügbarem Stickstoff verabreicht. Dementsprechend war die Wüchsigkeit der Gräser auf der Parzelle SAWA 3 stärker. Auf der mit KAS gedüngten Parzelle SAWA 3 hatte sich zum Erntetermin am 04.06.2010 ein üppiger und dichter Pflanzenbewuchs gebildet. Die Färbung der Pflanzen war dunkelgrün und die Samenträger der Gräser waren schon gut ausgebildet (siehe Abb. 18).

Auf der Parzelle SAWA 1 und SAWA 2 hatte sich in der gleichen Zeit lediglich eine geringe Masse an Pflanzenbewuchs gebildet. Die helle Färbung der Gräser zeigt deutlich, dass die Versorgung mit Stickstoff unzureichend war. Die Bildung von Samenträgern hatte zu diesem Zeitpunkt auf den Parzellen mit Gärrestdüngung bei nur wenigen Gräsern stattgefunden. Optisch gab es keinen Unterschied in der Aufwuchsleistung zwischen den Parzellen SAWA 1 und SAWA 2.

**Abb. 18: Wüchsigkeit der Gräser nach der Düngung mit einem Mineraldünger und der Düngung mit den Gärresten – 04.06.2010**

Nach der organischen Düngung mit den Gärresten setzte eine längere Trockenphase ein. Dies hat sich negativ auf den Düngeerfolg ausgewirkt, da die Ammoniumanteile ausgasen konnten, anstatt mit Niederschlägen in den Boden zu versickern. Mit dem Einsetzen des Höhenwachstums der Gräser wurden organische Gärreste emporgehoben. Dadurch wurde die Mineralisierung der Gärreste erschwert und die Düngewirkung war gering. Zum Erntezeitpunkt waren noch große Mengen an nicht zersetzten Gärresten auf den Parzellen zu finden. Mit der Mahd der Gräser und dem anschließenden Schwaden wurden daher größere Mengen nicht zersetzter Gärreste in das Erntegut eingemischt.

**Abb. 19: Nicht zersetzte Gärreste im Aufwuchs und auf der Fläche nach der Ernte am 04. und 05.06.2010**

## 9.5. Untersuchungsergebnisse im angewelkten Erntegut

Die Untersuchungsergebnisse für Nährstoffe und den Trockensubstanzgehalt (siehe Tab. 28) des nach dem Häckseln entnommenen, angewelkten Erntegutes wiesen keine besonderen Merkmale auf. Der TS-Gehalt des entnommenen Erntegutes der Parzelle SAWA 1 ist gegenüber dem beprobten Erntegut auf der Parzelle SAWA 3 um ca. 7% höher. Ein Zusammenhang zur geernteten Aufwuchsmenge ist jedoch nicht erkennbar. Andernfalls müsste

auch der TS-Gehalt im Erntegut der Parzelle SAWA 2 einen höheren Wert aufweisen, da der Auswuchs optisch vergleichbar war.

**Tab. 28: Mineralstoffe und TS-Gehalte im angewelkten Erntegut der Feldversuchsfläche – Probenahme 05.06.2010**

| Parzelle | TS | $_{org}$TS | $_{min}$TS | pH-Wert | N | $NH_4$-N | $P_2O_5$ | $K_2O$ | MgO | S |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | % | % in der TM | | | kg/t TM | | | | | |
| SAWA 1 | 29,9 | 92,0 | 8,0 | 4,5 | 16,3 | 0,37 | 6,5 | 15,5 | 4,2 | 1,7 |
| SAWA 2 | 24,8 | 91,0 | 9,0 | 4,5 | 19,8 | 0,40 | 6,9 | 19,9 | 4,1 | 1,9 |
| SAWA 3 | 23,1 | 92,7 | 7,3 | 4,3 | 19,9 | 0,78 | 7,5 | 13,1 | 5,1 | 2,3 |
| | | | | | | | | | | |
| Ø | 25,9 | 91,9 | 8,1 | 4,4 | 18,7 | 0,52 | 7,0 | 16,2 | 4,5 | 2,0 |

Die Konzentration der Schadstoffe im angewelkten Erntegut war verhältnismäßig gering. Dies war aufgrund der gegebenen Erntebedingungen nicht zu erwarten, da bei der Erntegutaufnahme größere Mengen des aufgebrachten Gärrestes in das Häckselgut mit eingemischt wurden.

Gerade für das Erntegut der Parzelle SAWA 1 wurde aufgrund der verabreichten Fracht von 37 ng TEQ PCDD/F und den Frachten an Schwermetallen pro Hektar (siehe Tab. 29) durch den aufgebrachten Gärrest eine besonders hohe Konzentration an Schadstoffen in dem geernteten Futter erwartet.

Hier ergeben sich jedoch bei den Schwermetallen des untersuchten Erntegutes im Vergleich zu den anderen Parzellen keine Auffälligkeiten. Lediglich die Dioxinkonzentration im Erntegut der Parzelle SAWA 1 wies gegenüber der Erntegutuntersuchung der anderen Parzelle einen höheren Wert auf (siehe Tab. 30).

**Tab. 29: Schadstofffrachten der eingesetzten Gärreste auf den Parzellen pro Hektar**

| Parzelle / Material | Pb | Cd | Cr | Cu | Ni | Hg | Zn | As | TEQ dl-PCB | TEQ PCDD/F |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | mg/ha | | | | | | | | ng/ha | |
| SAWA 1 verrotteter Gärrest | 16 | 3,3 | 21 | 74 | 21 | 0,5 | 561 | 5,0 | 0,65 | 37,2 |
| SAWA 2 frischer Gärrest | 8 | 2,3 | 11 | 63 | 11 | 0,3 | 455 | 4,7 | 1,1 | 14,3 |

Dies ist ein Indiz dafür, dass sich die auf der Parzelle SAWA 1 verabreichte höhere Dioxinfracht, gerade vor dem Hintergrund der bei der Ernte des Aufwuchses augenscheinlich in größeren Mengen eingemischten Gärreste, im gehäckselten Erntegut zu einer hohen Verunreinigung mit Dioxinen beigetragen hat. Die mit dem verrotteten Gärrest verabreichte höhere Fracht an Schwermetallen hatte im Vergleich zu den Erntegutuntersuchungen der anderen Parzellen keine Auswirkungen. Die Schwermetallkonzentration war im Erntegut der Parzellen

SAWA 1, SAWA 2 und SAWA 3 trotz unterschiedlicher Voraussetzungen identisch (siehe Tab. 30).

**Tab. 30: Schadstoffe im angewelkten Erntegut der Feldversuchsfläche – Probenahme 05.06.2010**

| Parzelle | Pb | Cd | Cr | Cu | Ni | Hg | Zn | As | TEQ dl-PCB | TEQ PCDD/F |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | mg/kg TM | | | | | | | | ng/kg TM | |
| SAWA 1 | --- | 0,81 | 2,0 | 10,0 | 5,0 | 0,04 | 105 | 0,57 | 0,28 | 1,67 |
| SAWA 2 | --- | 0,95 | --- | 10,0 | 5,0 | 0,03 | 107 | 0,18 | 0,23 | 0,46 |
| SAWA 3 | --- | 0,89 | 2,0 | 12,0 | 5,0 | 0,03 | 96 | 0,38 | 0,24 | 0,72 |
| | | | | | | | | | | |
| Ø | --- | 0,88 | 2,0 | 10,7 | 5,0 | 0,03 | 103 | 0,38 | 0,25 | 0,95 |

Die Bleikonzentration war im angewelkten Erntegut bei allen drei Proben unterhalb der Bestimmungsgrenze von 2 mg/kg TM. Der Cadmiumgehalt im Erntegut ergab im Mittel einen Wert von 0,88 mg/kg TM. Im Vergleich zu den eingesetzten Grassilagen, die im Rahmen des Projektes eingesetzt wurden, ist die Cadmiumkonzentration im Erntegut der Feldversuchsfläche auffällig hoch. Unter Anwendung des erarbeiteten Proportionalitätsfaktors bei einer Monovergärung der Grassilagen, würde sich beim Cadmium für die untersuchten Grassilagen der Parzellen SAWA 1 bis 3 eine Konzentration einstellen, die den zulässigen Höchstwert nach DüMV erreichen würde. Bei allen anderen Schwermetallgehalten ergaben sich keine besonderen Auffälligkeiten gegenüber durchschnittlichen Grassilagen.

Die Konzentration an dl-PCB ergab im Mittel einen Wert von 0,25 ng TEQ/kg TM. Im Vergleich zu den im Projekt eingesetzten Grassilagen ist die analysierte Konzentration an PCB im Erntegut der Feldversuchsfläche doppelt so hoch.

Bei den Dioxinen wurde der zulässige Futtermittelgrenzwert für das Erntegut der Parzelle SAWA 1 überschritten. Im Erntegut der Parzellen SAWA 2 und SAWA 3 wurde der zulässige Höchstgehalt für Dioxine nach Futtermittelrecht eingehalten. Für das Erntegut der Parzelle SAWA 2 wurde sogar der Auslösewert für Dioxine nach Futtermittelrecht unterschritten. Von der Dioxinkonzentration im Erntegut der Parzellen SAWA 2 und 3 waren nach Futtermittelrecht die Voraussetzungen gegeben, das Erntegut auch zu verfüttern.

Aufgrund des Frühjahrshochwassers und der dadurch einhergehenden Überschwemmung der Parzelle SAWA 3 wurde angenommen, dass die Schadstoffanreicherung im Erntegut dieser Parzelle besonders hoch sein würde. Zumal nach dem Abfließen des Hochwassers der Gräseraufwuchs mit einem graubraunen Schmutzschleier überzogen war. Vom Untersuchungsergebnis konnte hier kein Zusammenhang nachgewiesen werden.

## 9.6. Abschlussdiskussion zum Feldversuch

Der teilnehmende landwirtschaftliche Betriebsleiter war mit dem Ergebnis der Feldversuchsreihe höchst unzufrieden und lehnt auf Basis der gemachten Erkenntnisse zum Feldversuch, eine Düngung mit Gärresten auf dem Grünland im Deichvorland der Elbe ab.

An Erkenntnissen wurde folgendes zusammengetragen: Die technische Verteilung auf der Fläche klappte einwandfrei. Jedoch war der Streuer nicht in der Lage den Gärrest so fein zu zerreißen, dass der Gärrest als dünner Schleier auf der Fläche abgelegt werden konnte. Durch die langstrohige Konsistenz des Gärrestes, ob nun sechs Monate alt oder in einem frischen Zustand, wurde der Gärrest klumpenartig auf die Grünnarbe aufgetragen.

In diesem Zustand konnte der Gärrest nicht in die Grasnarbe einrieseln und hat sich auch nahezu nicht umgesetzt. Durch die klumpige und dicke Auflage wurden die Gräser unterhalb dieser Auflage geschädigt. Ferner wurde von den aufwachsenden Gräsern ein Teil der Gärreste emporgehoben. Was bei der Erntegutaufnahme dazu führte, dass nicht zersetzte Gärreste in das Erntegut eingemischt wurden. Eine derartige Futterverschmutzung ist nicht tolerabel. Mit hoher Wahrscheinlichkeit hat das Einmischen von Gärresten in das Futtergut auch dazu beigetragen, dass die Dioxingehalte im Futtergut der Parzelle SAWA 1 einen hohen Wert ergaben.

Eine unmittelbare Stickstoffwirkung war durch den Einsatz der Gärreste auf den Grünlandparzellen SAWA 1 und SAWA 2 nicht feststellbar. Der Bestand an Gräsern machte zum Zeitpunkt der anstehenden Mahd optisch den Eindruck, als hätte man gänzlich auf eine Düngung verzichtet. Um hier eine adäquate pflanzenverfügbare Stickstoffmenge, wie mit einem mineralischen Dünger verabreichen zu können, müsste eine Gärrestgabe in Höhe von ca. 30 t pro Hektar erfolgen.

Bei der Verabreichung von 30 t Gärrest pro Hektar würde man eine relativ dicke Schicht an Gärrest auf der Grünlandfläche aufbringen. Eine dicke Auflage an Gärrest wird möglicherweise dazu beitragen, dass die Gräserentwicklung geschädigt wird und somit die gewünschte Wüchsigkeit nicht einsetzt.

Aus der Literatur zur Stallmistausbringung (Klapp 1954) sind wichtige Empfehlungen zur Düngung von Grasnarben zu entnehmen. Klapp empfiehlt lediglich eine streubare Stallmistmenge von 8 bis 12 t/ha zu verabreichen. Diese Menge ist geeignet, um eine zu dicke Auflage zu vermeiden, wodurch das Ersticken der Grasnarbe und somit eine Schädigung der Narbe ausgeschlossen werden kann.

Klapp weist auch darauf hin, dass man mit einer Stallmistdüngung nicht den vollen Nährstoffbedarf des Grünlandes decken kann. Er betont die positiven Eigenschaften einer Stallmistgabe, wie eine schützende Wirkung bei Kahlfrösten. Auch trage eine Stallmistgabe dazu bei, die Humusbildung im Boden und eine belebende Wirkung auf die Organismen im Boden zu fördern. Die Nährstoffnachwirkung bei einer Düngung mit Stallmist sei nachhaltig.

Bereits 1954 hat man erkannt, dass eine gute Stallmistverteilung auf der Fläche nicht ausreichend ist. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass nach einer Stallmistgabe auf dem Grünland ein Verreiben oder Vereggen nach Regen oder Frost mit einer Dornschleppe, einem Fladenverteiler oder einer Ringelwalze vorzunehmen ist.

Eine derartige Maßnahme haben wir im Rahmen des Feldversuches nicht durchgeführt. Möglicherweise wäre es uns dadurch gelungen, die klumpigen Gärreste auf der Fläche fein zu verteilen, in die Grasnarbe einzureiben und so zu verhindern, dass aufgebrachte Gärreste mit dem Gräserwuchs emporwachsen können.

Um den Rottegrad des Gärrestes zu verbessern wäre ein Kompost-Umsetzer hilfreich gewesen, der im Rahmen des Projektes nicht geprüft wurde. Mit einem Kompost-Umsetzer (siehe Abb. 20) kann der Gärrest mechanisch zerkleinert, gelockert und mietenartig abgelegt werden. Das mechanische Zerkleinern und das Einmischen von Luft regen den Rotteprozess in-

tensiv an. Nach weiteren 3 Monaten der Rotte, lässt sich das dann hoffentlich mürbe Material mit einem Großflächenstreuer nahezu klumpenfrei verteilen.

Im Anschluss an der Gärrestaufbringung sollte auf jeden Fall eine Wiesenschleppe folgen, um den Gärrest in die Grasnarbe einzureiben.

**Abb. 20: Kompost-Umsetzer – Menart** (Foto: Pascal Fickers)

Unter Einbeziehung der von Klapp gemachten Hinweise und der Nutzung eines Kompost-Umsetzers scheint eine Anwendung von Gärresten auf den Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe möglich zu sein. Vor dem Hintergrund, dass bei Aufbringungsmengen von 10 bis 15 t Gärrest pro Hektar lediglich geringe Mengen an pflanzenverfügbarem Stickstoff aufgebracht werden, ist eine mineralische Ergänzungsdüngung mit einem stickstoffhaltigen Düngemittel vorzusehen.

# 10 Wirtschaftliche Betrachtung der Herstellung von Grassilagen und Rückführung der Gärreste auf das Grünland im Deichvorland der Elbe

## 10.1. Wirtschaftlicher Ertrag der Praxisbetriebe bei der Grünlandnutzung pro Hektar

Für die Bereitstellung der Rohstoffe zur Monovergärung im Fermenter 7 wurden kalkulatorisch ca. 120 ha Grünland im Deichvorland der Elbe pro Jahr benötigt. An der Rohstoffbereitstellung haben sich fünf landwirtschaftliche Betriebe mit unterschiedlichen Flächenanteilen von 20 bis 40 ha je Betrieb beteiligt.

Aufgrund von naturschutzfachlichen Vorgaben wird das Grünland im Deichvorland extensiv bewirtschaftet und es kann eine mittlere Ertragserwartung von ca. 55 dt TM/ha angehalten werden (Lange, 2005). Eine Grassilage wird in der Regel mit ca. 35% TS-Gehalt siliert. Da jedoch die Abrechnung der Grassilage über einen Basispreis mit einem TS-Gehalt von 32% erfolgt, errechnet sich bei einem Ertrag von 55 dt TM/ha ein Grassilageertrag von 172 dt/ha.

Für die Fermentation werden bei einem TS-Gehalt von 32% pro Fermenter ca. 1.800 t Grassilage im Jahr benötigt. Der kalkulatorische Grassilagebedarf pro Jahr und Fermenter erfordert für die Bereitstellung einer ausreichenden Rohstoffmenge eine Flächengrundlage von ca. 105 ha.

Unter der Fragestellung, „Welche Kosten fallen einzelbetrieblich für die Herstellung einer Grassilage und für die Verwertung der Gärreste im Deichvorland der Elbe an?“, wurden die Arbeitsgänge für die Silagebergung bei den fünf am Projekt teilnehmenden landwirtschaftlichen Betrieben abgefragt. Anhand der Erhebungsdaten wurden die Mechanisierungsvarianten für das Ernteverfahren ermittelt und die Maschinenkosten des einzelnen Betriebes wurden auf dieser Basis kalkuliert. Soweit sich für bestimmte Arbeitsgänge des jeweiligen Betriebes keine betriebsindividuellen Zahlen ermitteln ließen, wurden als Datengrundlage die Maschinenkosten nach KTBL - Datensammlung 2008/09 verwendet (KTBL - Datensammlung 2008/09).

Die Anlieferung der Rohstoffe erfolgte aus dem Raum Wussegel, Jasebeck, Damnatz, Grippel und Wehningen. Die Entfernung zur Biogasanlage betrug dabei zwischen 5 und 23 km. Bei einer Entfernung von mehr als 5 Kilometern vom Rohstoffbereitstellungsraum zur Biogasanlage wurde eine Transporterstattung von 0,01 € pro dt und km gezahlt.

Die Abrechnung der Grassilagen erfolgte gestaffelt nach Schnittterminen, technischer Aufbereitung und auf Basis eines TS-Gehaltes von 32%. Im Rahmen des Projektes wurden für die Grassilagen gezahlt:

- 3,00 €/dt 1. Schnitt, Ernte im Mai, aufgenommen mit einem Häcksler
- 2,60 €/dt 1. Schnitt, Ernte im Mai, aufgenommen mit dem Ladewagen
- 2,60 €/dt 1. Schnitt, Ernte im Juni, aufgenommen mit einem Häcksler
- 2,20 €/dt 1. Schnitt, Ernte im Juni, aufgenommen mit dem Ladewagen
- 1,80 bis 2,00 €/dt 1.Schnitt, Ernte im Juli und für Sonderfälle nach einer Einzelfallentscheidung

Für die Kalkulation des wirtschaftlichen Ertrags der Grünlandbewirtschaftung durch die Praxisbetriebe wurde nur die gelieferte Grassilage aus dem Jahre 2009 unter Berücksichtigung der bereitgestellten Flächengrundlage in die Bewertung mit einbezogen. Auf dieser Basis ergaben sich bei einem TS-Gehalt von 32% gewichtete Auszahlungspreise von 2,60 bis 3,00 €/dt FM. Die geernteten Grassilagen aus 2007, 2008 und 2010 wurden nicht berücksichtigt, weil ein direkter Flächenbezug nicht herstellbar war.

Aber auch in 2009 wurde von den meisten landwirtschaftlichen Betrieben keine Grassilage vom 2 Schnitt bereitgestellt. Die Zurückhaltung der landwirtschaftlichen Betriebe hatte mehrere Gründe: Bei Lieferung des 2. Schnittes konnte der landwirtschaftliche Betrieb für die Grassilage lediglich einen Auszahlungspreis von 2,60 € pro dt FM für die gehäckselte Ware erzielen. Ferner hatte die Frühjahrstrockenheit in 2009 in der gesamten Elbtaulaue zu einer Futterverknappung beigetragen, wodurch der 2. Schnitt als Futterreserve zurückgehalten wurde. Aus Sicht der Spezialberatung und nach dem Merkblatt zur Bewirtschaftung des Grünlands im Deichvorland der Elbe ist diese Praxis sinnvoll, da nach den vorliegenden Erkenntnissen mit dem 2. Schnitt weniger Schadstoffe in das Futter eingemischt werden. Vor diesem Hintergrund konnte nur der wirtschaftliche Ertrag einer einschürigen Mahd der Praxisbetriebe bei der Bewirtschaftung der Grünlandflächen im Deichvorland beurteilt werden (siehe Tab. 31).

Bedingt durch die anhaltende Frühjahrstrockenheit während der Vegetation in 2009 waren die Graserträge für einen ersten Schnitt eher gering. Die Trockenmasseerträge des ersten Schnittes in 2009 schwankten zwischen 26 bis 40 dt/ha.

Der wirtschaftliche Erfolg der Grünlandbewirtschaftung hängt jedoch ganz wesentlich vom Grünlandertrag und den dadurch erzielbaren Erlösen sowie von den Kosten der Grünlandpflege und der Ernteeinbringung ab.

Die Grünlanderträge dürften in den nächsten Jahren noch weiter zurückgehen, da schon seit Jahren auf den meisten Flächen keine Düngung mehr stattfindet und aufgrund der Gewässergüte der Elbe keine nennenswerten Nährstoffmengen mehr bei Überschwemmungen im Deichvorland eingetragen werden.

Diese Entwicklung wird noch weiter gefördert, da aufgrund von naturschutzfachlichen Vorgaben und der getroffenen Vereinbarung KoopNat es nicht zulässig ist, Maßnahmen einer Grünlandpflege, wie ein Abschleppen, einer Nachsaat oder eine Erneuerung der Grasnarbe, Pflanzenschutzmaßnahmen bzw. eine Düngung vorzunehmen. Da die vorgenannten Maßnahmen nicht zulässig waren, wurden hierfür bei der betriebswirtschaftlichen Kalkulation auch keine Kosten in Ansatz gebracht.

Kosten sind somit lediglich für die Beerntung der Grünlandflächen und für die Einlagerung des Siliergutes zu berücksichtigen. Die an dem Projekt teilnehmenden landwirtschaftlichen Betriebe haben unterschiedliche Maschinen für die Beerntung und die Silierung des Erntegutes eingesetzt. Dies führte dazu, dass ein Betrieb für die Ernte und Einlagerung des Siliergutes einen Aufwand von lediglich 126 €/ha hatte. Den höchsten Aufwand hatte ein Betrieb mit Kosten in Höhe von 183 €/ha. Zugleich zeigt die Spanne des geringsten und höchsten Aufwandes auch, dass durch eine Optimierung der eingesetzten Erntegeräte und bei der Silierung, eine Kosteneinsparung möglich ist.

Neben den Kosten der Siliergutbereitstellung, sind Kosten für den Transport zur Biogasanlage, den Rücktransport der Gärreste und für die Ausbringung der Gärreste angefallen. In Abhängigkeit der Entfernung vom Rohstoffbereitstellungsraum zur Biogasanlage und des Grassilageertrags pro Hektar sind Transportkosten in Höhe von 35,22 € bis 74,08 €/ha entstanden (MR Lüneburg, 2009). Für die Ausbringung der Gärreste wurde nach KTBL 37 €/ha als Aufwand angesetzt.

Nach Abzug der variablen Kosten vom Erlös wurde bei Nutzung des ersten Grasaufwuchses ein negativer Deckungsbeitrag (DB) von minus 2,84 € und ein positiver DB von plus 106,60 € pro Hektar ermittelt. Wobei der Betrieb mit der größten Entfernung zur Biogasanlage den höchsten DB pro Hektar verbuchen konnte. Dieser Betrieb hat jedoch auch den höchsten Grassilageertrag pro Hektar erzielt.

Wenn die Variablen unverändert bleiben, kann der Betrieb 2 mit einschüriger Mahd über die produzierte Grassilage bei einem Ernteertrag von weniger als 20 dt Trockenmasse pro Hektar keinen positiven DB mehr erzielen. An Variablen sind u. a. gegeben: Auszahlungspreis für die gelieferte Grassilage, 5 km Entfernung vom Grassilagebereitstellungsraum zur Biogasanlage und der Aufwand für die Ernte und Silierung der Grassilage ist gleich geblieben.

Bei der weitesten Entfernung von 23 km und den gegeben Bedingungen kann der Betrieb 1 ab einem Ertrag von 27 dt TM/ha keinen positiven DB mehr erzielen. Bei dem Betrieb 3 ist diese Grenze ab einem Ertrag von 25 dt TM/ha, bei dem Betrieb 4 ab einem Ertrag von 26 dt TM/ha und bei dem Betrieb 5 ab einem Ertrag von 30 dt TM/ha erreicht.

Für die Betriebe 4 und 5 hat sich bei einer einschürigen Mahd im Rahmen des Projektes für die Rohstoffbereitstellung ein negativer DB in Höhe von 2,69 € bis 2,84 €/ha eingestellt.

**Tab. 31: Ergebnisse der Praxisbetriebe zur Grünlandbewirtschaftung im Deichvorland der Elbe mit energetischer Verwertung der Biomasse in einer Biogasanlage**

--- Bewertung nur 1. Schnitt ---

| | Einheit | Betrieb 1 | Betrieb 2 | Betrieb 3 | Betrieb 4 | Betrieb 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ertrag FM (32% TS) | dt/ha | 126 | 100 | 85 | 82 | 94 |
| Ertrag TM | dt/ha | 40 | 32 | 27 | 26 | 30 |
| Fläche | ha | 40 | 20 | 25 | 34 | 36 |
| Entfernung zur BBM | km | 23 | 5 | 8 | 13 | 8 |
| Transportvergütung | € dt/km | 0,01 € | 0,01 € | 0,01 € | 0,01 € | 0,01 € |
| Auszahlungspreis | €/dt | 3,00 € | 3,00 € | 3,00 € | 2,80 € | 2,60 € |
| Erlös - Grassilage | €/ha | 378,00 € | 300,00 € | 255,00 € | 229,60 € | 244,40 € |
| Transp.-statt. ab 5 km | €/ha | 22,68 € | 0,00 € | 2,55 € | 6,56 € | 2,82 € |
| **Erlös - gesamt** | **€/ha** | **400,68 €** | **300,00 €** | **257,55 €** | **236,16 €** | **247,22 €** |
| Erlös | €/dt FM | 3,18 € | 3,00 € | 3,03 € | 2,88 € | 2,63 € |
| **Düngung und Nachsaat** | | | | | | |
| Silo zudecken | | 2,00 € | 2,00 € | 2,00 € | 2,00 € | 2,00 € |
| Silo aufdecken | | | 6,00 € | | | |
| Folie, Sonstiges | | 20,00 € | 20,00 € | 20,00 € | 20,00 € | 20,00 € |
| **Direktkosten, 1.Schnitt** | | **22,00 €** | **28,00 €** | **22,00 €** | **22,00 €** | **22,00 €** |
| Schleppen, Walzen, Sonstiges | | | | | | |
| Mähen | | 30,00 € | 10,00 € | 18,60 € | 18,60 € | 18,60 € |
| Schwaden | | 18,00 € | 8,00 € | 12,00 € | 12,00 € | 12,00 € |
| Wenden | | 12,00 € | | 9,60 € | 9,60 € | 9,60 € |
| Laden, Silieren, Häcksler | | 78,00 € | 60,00 € | 81,00 € | 81,00 € | 91,70 € |
| Schlepper, Silo, Festfahren | | 8,00 € | 20,00 € | 20,00 € | 20,00 € | 20,00 € |
| Radlader, Silo | | 15,00 € | | | | |
| **Summe Maschinenkosten** | | **161,00 €** | **98,00 €** | **141,20 €** | **141,20 €** | **151,90 €** |
| **Summe Ernte/ Einlagerung** | **€/ha** | **183,00 €** | **126,00 €** | **163,20 €** | **163,20 €** | **173,90 €** |
| Transport zur Anlage | €/ha FM | 50,53 € | 22,80 € | 21,85 € | 25,01 € | 24,16 € |
| Rücktransport, Gärrest | €/ha | 23,55 € | 15,11 € | 13,37 € | 13,79 € | 14,85 € |
| Ausbringung Gärreste | €/ha | 37,00 € | 37,00 € | 37,00 € | 37,00 € | 37,00 € |
| **Gesamtkosten** | **€/ha** | **294,08 €** | **200,91 €** | **235,42 €** | **239,00 €** | **249,91 €** |
| Gesamtkosten | €/dt FM | 2,33 € | 2,01 € | 2,77 € | 2,91 € | 2,66 € |
| **Deckungsbeitrag** | **€/ha** | **106,60 €** | **99,09 €** | **22,13 €** | **-2,84 €** | **-2,69 €** |
| **Düngequivalent** | **€/ha** | **108,16 €** | **86,53 €** | **73,01 €** | **70,30 €** | **81,12 €** |
| Erschwernisausgleich | €/ha | 88,00 € | 88,00 € | 88,00 € | 88,00 € | 88,00 € |
| Vertragsnaturschutz | €/ha | 231,00 € | 286,00 € | 297,00 € | 242,00 € | 264,00 € |
| **Überschuss** | **€/ha** | **533,76 €** | **559,62 €** | **480,14 €** | **397,46 €** | **430,43 €** |

Alle landwirtschaftlichen Betriebe erhalten entsprechend der gelieferten Rohstoffmenge anteilig eine Gärrestmenge zurück. Der Gärrest hat positive Düngeeigenschaften. Insofern liefert das Grünland im Deichvorland nicht nur Grassilage zur Energiegewinnung, sondern anteilig der Rücklieferung der Biomasse als Gärrest einen wertvollen Dünger zur vorrangigen Verwendung auf Ackerflächen. Für die Wertigkeit des Gärrestes wurde ein Düngeäquivalent ermittelt.

Das Düngeäquivalent wurde nach folgenden Kriterien errechnet: Von der gelieferten Menge an Trockenmasse pro Hektar Grassilage werden 52% der Trockenmasse (siehe Kapitel 8) wieder als Gärrest an den Rohstofflieferanten zurückgegeben. Die Rückgabe der Gärreste erfolgt mit einem TS-Gehalt um die 25%. Die so errechnete Rückgabetonnage an Gärresten wurde mit dem Düngeäquivalenzpreis multipliziert. Der errechnete Betrag wird der Grünlandfläche als positiver Ertrag angerechnet.

Auf Basis der gemittelten Nährstoffgehalte im Gärrest errechnet sich ein Düngeräquivalent für den Gärrest von 1,30 €/dt FM (siehe Tab. 32).

**Tab. 32: Düngeäquivalent pro dt Gärrest**

| Einheit | pflanzverf. Stickstoff | Phosphat | Kalium |
|---|---|---|---|
| kg/dt | 0,30 | 0,30 | 0,85 |
| €/kg Nährstoff | 1,00 | 0,95 | 0,80 |
| €/dt Gärrest (N, P, K) | 0,30 | 0,29 | 0,68 |
| Äquivalenzpreis | 1,27 €/dt Gärrest | | |

Die Eigenschaft des Gärrestes als Düngemittel bewirkt, dass über die Bewertung des Düngeäquivalents pro Hektar Grünland im Deichvorland ein positiver Ertrag (DB II) von 70,30 € bis 108,16 € zusätzlich erwirtschaftet werden kann.

Für die auf den Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe erbrachten gesellschaftlichen Leistungen zur Erhaltung bzw. Entwicklung von Naturräumen auf Basis von naturschutzfachlichen Zielsetzungen, erhalten die landwirtschaftlichen Betriebe für die Bewirtschaftungseinschränkung einen Ausgleich. Die erbrachte Leistung wurde über den Erschwernisausgleich und durch freiwillige Naturschutzleistungen mit 319 bis 385 €/ha honoriert.

In der Summe der Addition errechnet sich aus dem Deckungsbeitrag der Grassilageproduktion, dem wirtschaftlichem Ertrag für das Düngeäquivalent und der gesellschaftlichen Naturschutzleistung, ein Überschuss von 398 bis 560 €/ha. Alle am Projekt teilnehmenden landwirtschaftlichen Betriebe konnten somit in der Addition ein positives Ergebnis durch die Bewirtschaftung des Grünlandes im Deichvorland mit energetischer Verwertung erzielen.

## 10.2. Wirtschaftlicher Vergleich unterschiedlicher Nutzungen des Grünlandes im Deichvorland der Elbe

Für den Vergleich des wirtschaftlichen Ertrages der Grünlandnutzung im Deichvorland der Elbe bei unterschiedlichen Nutzungsverfahren wurde ein Praxisbetrieb Elbe mit 2 Schnitten, ein KTBL - Standardbetrieb mit 2 Schnitten und 3 Schnitten, ein KTBL - Betrieb mit einmal Schlegeln und die Variante der Pferdeheuvermarktung verglichen.

Die Datengrundlage für den Praxisbetrieb Elbe mit 2 Schnitten wurde hergeleitet, indem die einzelbetrieblichen Daten der fünf Praxisbetriebe gemittelt wurden. Für den eingesetzten Ertrag bei 2 Schnitten wurde unterstellt, dass ca. 60% des Ertrages mit dem ersten Schnitt und 40% mit dem zweiten Schnitt geerntet wurden. Ferner wurde die ermittelte Ertragssumme um ca. 15% erhöht, um dadurch die gegebene Frühjahrstrockenheit in 2009 zu berücksichtigen. Der Aufwand für die variablen Kosten und die Erlöse wurden auf Basis der gemittelten Werte für 2 Schnitte errechnet.

Für den KTBL - Standardbetrieb mit 2 Schnitten oder 3 Schnitten wurden die Daten aus der KTBL - Datensammlung für die Bereitstellung des Rohstoffes entnommen. Für die Kalkulation dieser Variante wurde unterstellt, dass für die Bereitstellung des Rohstoffes mindestens 3 bis 4 Betriebe die notwendigen landwirtschaftlichen Flächen im Verbund, also als Bewirtschaftungsgemeinschaft bereitstellen werden.

Für das Ernteverfahren wird die Bergung des Anwelkgutes mit Häcksler als Dienstleistung eines Lohnunternehmens angenommen. Weiterhin wurden bei diesem Produktionsverfahren mit der beschriebenen Mechanisierungsvariante eine 2-ha-Schlaggröße sowie eine 2 km Feld-Hof-Entfernung zugrunde gelegt.

In dieser so genannten Standardvariante wird unter der Voraussetzung eines normalen Witterungsverlaufs für den 1. und den 2. Schnitt eine Ertragserwartung von 172 dt/ha Frischmasse mit einem Trockensubstanzgehalt von 32% angehalten. Dies entspricht einer Trockenmasse von 55 dt/ha des geernteten Aufwuchses.

Für die Variante mit 3 Schnitten (Intensiv-Variante) wurde ein Ertrag von 238 dt/ha Frischmasse mit 32% TS-Gehalt eingesetzt. Dies entspricht einem Trockenmasseertrag von 76 dt/ha. Ohne Düngung, wie es in der Variante unterstellt wird, kann dieser Ertrag nur bedingt erreicht werden. Jedoch vor dem Hintergrund, dass auf dem Grünland mit vertraglicher Bindung kein Mineraldünger eingesetzt werden darf, wurde diese Variante als vergleichende Größe dennoch gerechnet. Zumal mit entsprechender Düngung und einer intensiven Bestandsführung, ein höherer Auszahlungspreis erzielt werden kann und somit eine Kompensation der KoopNat-Vereinbarungen möglich erscheint.

Ferner wurde für den Praxisbetrieb Elbe mit 2 Schnitten, dem KTBL – Betrieb mit 2 Schnitten und 3 Schnitten unterstellt, dass die Transportentfernung für die Anlieferung der Grassilagen im Mittel ca. 8 km beträgt und ein durchschnittlicher Auszahlungspreis von 2,50 € pro dt Frischmasse mit einem TS-Gehalt von 32% erzielt werden kann.

Der KTBL – Betrieb 1x Schlegeln wurde als reiner Landschaftspflegebetrieb ohne jegliche Nutzung des anfallenden Aufwuchses für den Vergleich mit aufgenommen. Für die Pflegemaßnahme wird lediglich ein Schlegelmulcher mit Schlepper eingesetzt. Die Buchung der Kosten wurde aus Platzgründen in der Tabelle 33 unter sonstige Maschinenkosten aufgeführt.

Als fünfte Variante wurde eine Nutzung gerechnet, bei der unterstellt wurde, dass der gesamte Aufwuchs als Pferdeheu bei einer Entfernung von 80 Kilometer durch Anlieferung vermarktet werden kann. Bei einer Heuwerbung treten im Vergleich zur Grassilageernte höhere Ernteverluste auf. Der Verlust an Erntegut bei der Heuwerbung wurde mit 18% bewertet. Vor diesem Hintergrund kann eine Heumenge um die 52 dt/ha mit einem TS-Gehalt von ca. 86% geerntet werden. An Nettoertrag wird dadurch eine Erntemenge von 45 dt TM/ha erzielt.

**Tab. 33: Unterschiedliche Nutzungsvarianten der Grünlandbewirtschaftung im Deichvorland der Elbe**

| | Einheit | Praxisbetrieb Elbe 2 Schn. | KTBL 2 Schnitte | KTBL 3 Schnitte | KTBL 1xSchlegeln | Pferdeheu 2 Schnitte |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ertrag FM (32% TS) | dt/ha | 170 | 172 | 238 | | 52 |
| Ertrag TM | dt/ha | 54 | 55 | 76 | | 45 |
| Fläche | ha | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Entfernung zur BBM | km | 8 | 8 | 8 | | 80 |
| Transportvergütung | € dt/km | 0,01 € | 0,01 € | 0,01 € | | |
| Auszahlungspreis | €/dt | 2,50 € | 2,50 € | 2,50 € | | 15,00 € |
| Erlös - Grassilage | €/ha | 425,00 € | 430,00 € | 595,00 € | | 780,00 € |
| Transporterstattung | €/ha | 5,10 € | 5,16 € | 7,14 € | | 0,00 € |
| **Erlös - gesamt** | **€/ha** | **430,10 €** | **435,16 €** | **602,14 €** | | **780,00 €** |
| Erlös | €/dt FM | 2,53 € | 2,53 € | 2,53 € | | 10,00 € |
| **Düngung und Nachsaat** | | | | | | |
| Silo zudecken | | 4,00 € | 4,00 € | 6,00 € | | |
| Silo aufdecken | | | | | | |
| Folie, Sonstiges | | 40,00 € | 40,00 € | 60,00 € | | |
| **Direktkosten** | | **44,00 €** | **44,00 €** | **66,00 €** | **0,00 €** | **0,00 €** |
| Schleppen, Walzen, Sonstiges | | | | | 70,00 € | 16,00 € |
| Mähen | | 38,00 € | 23,00 € | 34,50 € | | |
| Schwaden | | 25,00 € | 14,00 € | 21,00 € | | 160,00 € |
| Wenden | | 19,20 € | 17,00 € | 25,50 € | | |
| Laden, Silieren, Häcksler | | 157,00 € | 164,00 € | 246,00 € | | |
| Schlepper, Silo, Festfahren | | 40,00 € | 40,00 € | 60,00 € | | |
| Rundballen pressen, laden, abfahren | | | | | | 255,00 € |
| **Summe Maschinenkosten** | | **279,20 €** | **258,00 €** | **387,00 €** | **70,00 €** | **431,00 €** |
| **Summe Ernte/ Einlagerung** | **€/ha** | **323,20 €** | **302,00 €** | **453,00 €** | **70,00 €** | **431,00 €** |
| Transport zur Anlage | €/ha FM | 48,62 € | 49,19 € | 68,07 € | | 208,00 € |
| Rücktransport, Gärrest | €/ha | 31,79 € | 32,38 € | 44,74 € | | |
| Ausbringung Gärreste | €/ha | 37,00 € | 37,00 € | 37,00 € | | |
| **Gesamtkosten** | **€/ha** | **440,61 €** | **420,57 €** | **602,81 €** | **70,00 €** | **639,00 €** |
| Gesamtkosten | €/dt FM | 2,59 € | 2,45 € | 2,53 € | | 12,29 € |
| **Deckungsbeitrag** | **€/ha** | **-10,51 €** | **14,59 €** | **-0,67 €** | **-70,00 €** | **141,00 €** |
| **Düngeäquivalent** | **€/ha** | **146,02 €** | **148,72 €** | **205,50 €** | | |
| Erschwernisausgleich | €/ha | 88,00 € | 88,00 € | 88,00 € | 88,00 € | 88,00 € |
| Vertragsnaturschutz | €/ha | 264,00 € | 264,00 € | 264,00 € | 264,00 € | 264,00 € |
| **Überschuss** | **€/ha** | **487,51 €** | **515,31 €** | **556,83 €** | **282,00 €** | **493,00 €** |

Der erzielbare Preis pro dt Heu wurde auf Basis der Preisnotierung der Land + Forst vom Januar und April 2011 mit einem gemäßigten Preis in Höhe von 15 € berechnet. Ferner wurde als Annahme getroffen, dass das Heu über einen Lohnunternehmer mit einer Rundballenpresse in einer Größe im Durchschnitt von 1,50 m und einem Gewicht von ca. 200 kg aufgenommen wird. Das Laden und Abfahren der Rundballen erfolgt durch den landwirtschaftlichen Betriebsleiter selbst. Für die Anlieferung der Ware durch den landwirtschaftlichen Betriebsleiter an den Pferdebetrieb bei einer Entfernung von 80 km wurde ein Transportpreis in Höhe von 4 €/dt Heu eingesetzt.

Nach Abzug der variablen Kosten vom Erlös ergeben sich negative und positive Deckungsbeiträge bei Nutzung des ersten und zweiten Grasaufwuchses von minus 70 € bis plus 141 € pro Hektar (siehe Tab. 33). Wobei der KTBL-Betrieb 1xSchlegeln keinen Erlös erzielt und somit für die Pflege des Grünlands im Deichvorland nur Kosten verursacht. Jedoch auch die Betriebe, Praxisbetrieb mit 2 Schnitten und der KTBL-Betrieb mit 3 Schnitten produzieren bei der Rohstoffherstellung auf dem Grünland im Deichvorland pro Hektar negative Deckungsbeiträge in Höhe von 0,67 bis 10,51 €.

Die negativen DB für die Herstellung einer Grassilage zur energetischen Verwertung können über das gegebene Düngeäquivalent pro Hektar in Höhe von 146 bis 206 € kompensiert werden. Unter Einbeziehung der gesellschaftlichen Naturschutzleistung erwirtschaften die Vergleichsbetriebe einen Überschuss von 282 bis 557 €/ha.

Den geringsten wirtschaftlichen Nutzen kann der Landschaftspflegebetrieb mit einem Überschuss in Höhe von 282 €/ha erzielen. Den höchsten Überschuss hat der KTBL-Betrieb mit einer dreischürigen Mahd erzielt. Der Praxisbetrieb Elbe mit 2 Schnitten kann über eine Kostendegression sein Ergebnis noch verbessern und dann etwa ein Ergebnis, wie der KTBL-Betrieb mit 2 Schnitten erreichen. Der Betrieb mit Pferdeheuproduktion würde sein Ergebnis verbessern können, wenn sich die Entfernung zum Kunden verringern ließe. Der Landkreis Lüchow-Dannenberg und der östliche Landkreis Lüneburg sind jedoch sehr ländlich strukturiert und daher ist es nur schwerlich vorstellbar, dass in unmittelbarer Nähe entsprechende Erlöse für Pferdeheu zu erzielen sind. Erst in Stadtnähe sind aufgrund von Futterknappheit höhere Erlöse bei Pferdehaltern durchsetzbar.

# 11 Anforderung an ein Flächenmanagement im Deichvorland der Elbe bei der Beerntung und der Rückführung von Gärresten unter Berücksichtigung von naturschutzfachlichen Vorgaben

## 11.1. Besondere naturschutzfachliche Anforderungen

Aufgrund des Schutzstatus im Biosphärenreservat „Niedersächsische Elbtalaue“ können die Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe nur eingeschränkt landwirtschaftlich genutzt werden. Auch ergeben sich aus dem Gesetz weitergehende Verpflichtungen für die Biosphärenreservatsverwaltung. So hat die Schutzgebietsverwaltung zur Sicherung einer einheitlichen Erhaltung und der Entwicklung des Biosphärenreservatsgebietes einen gutachtlichen Fachplan zu erstellen. In dem Fachplan ist der vorhandene und der zu erwartende Zustand von Natur und Landschaft zu beurteilen, und es sind die Erfordernisse und Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Natur und Landschaft darzustellen.

Die Ziele des Naturschutzes werden entweder über rechtsverbindliche Bewirtschaftungseinschränkungen erreicht oder über naturschutzfachliche Kooperationsvereinbarungen bzw. über Flächenerwerb und Wiederverpachtung unter Auflagen angestrebt. Eine landwirtschaftliche Bodennutzung ist nach den Regeln der guten fachlichen Praxis gänzlich verboten, wenn es dadurch zu einer Zerstörung oder sonstigen erheblichen Beeinträchtigung von besonders geschützten Biotopen kommt (geregelt im NElbtBRG).

Die besonders geschützten Biotope sind in der Anlage 6 zur Verordnung aufgeführt. In der Anlage sind z.B. genannt: Brenndolden, Magerrasen, artenreiches mesophiles Grünland, seggen-, binsen- oder hochstaudenreiche Nasswiesen, Pfeifengraswiesen, Sumpfdotterblumenwiesen und Flutrasen. Eine Gärrestaufbringung ist auf diesen Flächenarealen ausgeschlossen.

Die Biosphärenreservatsverwaltung in Hitzacker hat Karten mit besonders geschützten Brenndoldenstandorten und mageren Flachlandmähwiesen zur Verfügung gestellt (siehe Abb. 3 bis Abb. 6, Kap. 4.2.3). Weitere schützenswerte Arten wurden für die Flächen der am Projekt teilnehmenden landwirtschaftlichen Betriebe nicht benannt.

Zu den Brenndolden- und Magerwiesenstandorten teilte die Biosphärenreservatsverwaltung mit: „Zu möglichen Auswirkungen einer Gärrestrückführung auf Gründland-LRTs liegen bisher keine gesicherten wissenschaftlichen Erkenntnisse und Erfahrungen aus dem Einzugsbereich einer Stromtalaue vor. Im Sinne einer praktikablen Risikovorsorge erscheint es aber sinnvoll, die Bereiche mit auskartierten Grünland-LRTs (6440 – Brenndolden-Auenwiesen und 6510 – Magere Flachlandmähwiesen) bis auf weiteres von einer Gärrestrückführung auszunehmen“ (Kaiser per Mail, 2010).

Die Lebensraumtypen sind im Biosphärenreservatsgebiet Niedersächsische Elbtalaue von Schnackenburg bis Hohnstorf räumlich nicht gleichmäßig verteilt. Vielmehr existieren so genannte Schwerpunktgebiete mit einem relativ hohen Anteil an Lebensraumtypen. Dies betrifft u. a. Teile der Pevestorfer Wiesen und ganz besonders die Seegeniederung.

Unter Berücksichtigung der vorliegenden FFH-Inventarisierung und der Nutzungskartierung 08/09 ergeben sich folgende statistische Daten: Im gesetzlichen Überschwemmungsgebiet der Elbe befinden sich im Biosphärenreservatsgebiet 4.236 ha Grünland. Davon sind 1.684 ha (311 ha = LRT 6440 und 1.374 ha = LRT 6510) als Lebensraumtypen ausgewiesen. Daraus folgt, dass 2.552 ha (= 60%) Grünland im Überschwemmungsgebiet der Elbe aus FFH-Sicht unproblematisch für eine Rückführung der Gärreste genutzt werden können (Kaiser per Mail, 2010).

## 11.2. Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe in einer Entfernung von maximal 10 Kilometern zur Biogasanlage Breese Marsch

In einer Entfernung von maximal 10 Kilometern zur Biogasanlage Breese in der Marsch befindet sich nach einer eigenen Auswertung ein Flächenareal von ca. 2.154 ha im Deichvorland der Elbe. Davon sind ca. 882 ha vom Relief mahdfähig und könnten somit einer energetischen Nutzung zugeführt werden. Bei einer Ertragsleistung von ca. 172 dt Frischmasse mit einem TS-Gehalt von 32% pro Hektar errechnet sich ein Biomassepotenzial von 15.170 t. Bei einem Jahresbedarf von 1.800 t Biomasse pro Fermenter könnten somit 8,4 Fermenter mit Grassilage aus dem Deichvorland befüllt werden.

Unter der Maßgabe, dass lediglich nur Material für sieben Fermenter angeboten wird, werden ca. 12.600 t Grassilage (ca. 733 ha) aus dem Deichvorland benötigt, um den erforderlichen Jahresbedarf an Biomasse für eine weitere Biogasanlage in dem Untersuchungsraum bereitstellen zu können.

Der zuzuführende Jahresbedarf entspricht einer Trockenmasse in Höhe von 4.032 t, was wiederum einer organischen Trockenmasse von 3.548 t entspricht. Bei der Fermentation werden ca. 60% der organischen Trockenmasse zu Biogas umgewandelt. Somit sind ca. 52% der gelieferten Trockenmasse als Gärrest vom landwirtschaftlichen Betrieb wieder zurück zu nehmen. Dies entspricht einer Gärrestmenge von ca. 2.100 t Trockenmasse.

Im Rahmen des Projektes wies der abgegebene Gärrest einen mittleren TS-Gehalt von 25% auf. Somit würden pro Jahr ca. 8.400 t Gärrest anfallen. Bei einer Ausbringungsmenge von max. 10 t Gärrest pro Hektar müssten ca. 840 ha abgedüngt werden. Da für die Rohstoffbereitstellung lediglich 773 ha Grünlandfläche benötigt werden, ist eine Rückführung der anfallenden Gärreste bei einer Ausbringungsmenge von 10 t Gärrest pro Hektar nicht möglich. Bei einer Erhöhung der Aufbringungsmenge auf 20 t Gärrest pro Hektar würde man 420 ha als Aufnahmefläche benötigen. In diesem Fall ist jedoch zu prüfen, ob mit einer Wiesenschleppe der Gärrest im erforderlichen Umfang in die Grassnarbe eingerieben werden kann. Nur so kann vermieden werden, dass durch die Aufbringungsmenge die Grasnarbe nicht geschädigt wird (vgl. Kapitel 9.6).

Unterstellt man, dass 60% der Flächen in dem ausgewählten Einzugsbereich der Deichvorlandflächen keinen besonderen Schutzstatus aufweisen, so könnte man theoretisch ca. 463 ha der Rohstoffbereitstellungsflächen mit einem Gärrest pflanzlicher Herkunft düngen. Die landwirtschaftlichen Betriebe müssten bei einer Gärrestrückführung auf das Grünland im Deichvorland die freiwilligen Verträge zur KoopNat kündigen. Dadurch müssten die landwirtschaftlichen Betriebe bei einem Flächenumfang von 463 ha auf eine gesellschaftliche Transferleistung in Höhe von 122.000 € (freiwillige Naturschutzleistungen von 264 €/ha im Mittel) verzichten.

Die gesellschaftliche Transferleistung für freiwillige naturschutzfachliche Leistungen durch die Landwirtschaft, lassen sich aufgrund des generellen Schutzstatus im Deichvorland der Elbe über einen höheren Biomasseertrag pro Hektar im Rahmen der energetischen Verwertung nicht kompensieren.

Daher sollte alternativ eine Gärrest-Verwertung auf Ackerflächen im Binnendeichbereich angestrebt werden. Voraussetzung ist jedoch, dass das Erntegut bei optimalen Witterungsbedingungen sauber und somit ohne erhebliche Schadstoffbelastungen siliert wird. Nur unter dieser Voraussetzung wird es möglich sein, einen Gärrest mit Grassilagen aus dem Deichvorland zu produzieren, wodurch die zulässigen Höchstgehalte für Schwermetalle nach DüMV eingehalten werden können (siehe Kapitel 8). Zugleich belegen die Untersuchungen im Projekt, dass bei einem moderaten Dioxingehalt in der Grassilage ein tolerabler Grenzwert von 5 ng TEQ PCDD/F pro kg TM im Gärrest eingehalten werden kann.

**Kostensenkungspotenziale bei der Ernte**

Die betriebswirtschaftliche Bewertung der Rohstoffbereitstellung hat aufgezeigt, dass es bei der Beerntung der Flächen und der Einlagerung des Siliergutes noch Potenziale zur Senkung der Kosten gibt. Diese Potenziale lassen sich am besten ausschöpfen, wenn bei der Beerntung und der Einlagerung des Siliergutes eine überbetriebliche Zusammenarbeit erfolgt.

Dies setzt jedoch voraus, dass die von den einzelnen Betrieben geschlossenen Verträge nach KoopNat harmonisiert werden. Nur so können die Grünlandflächen zu größeren Einheiten zusammengefasst werden und die Futterbergung kann mit schlagkräftigen Geräten erfolgen. Ein gemeinschaftlich abgestimmtes Verfahren trägt dazu bei, dass als Rohstoff in der Summe sehr gute Qualitäten bereitgestellt werden können.

Aktuell haben landwirtschaftliche Betriebsleiter auch Vereinbarungen nach KoopNat geschlossen, die eine Mahd bereits Ende Mai zulassen. Andere Vereinbarungen nach KoopNat sehen vor, dass eine Erstnutzung erst ab dem 01.06. erfolgen darf und vor der Zweitnutzung ein zehnwöchiges nutzungsfreies Intervall einzuhalten ist. Es gibt aber auch Mahdtermine, die sehen eine Erstnutzung erst ab dem 15.06. oder gar ab dem 30.06. vor. Eine weitere Variante sieht vor, dass ein zwei Meter breiter Randstreifen längs der Grünlandfläche erst ab dem 31. Juli geschnitten werden darf. Bei einer solchen Vielfalt an Vereinbarungen auf engstem Raum, kann kein wirtschaftliches Flächenmanagement erfolgen.

# 12 Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick

Mit dem Projekt konnte aufgezeigt werden, dass eine Biogasanlage nach dem Batch-Verfahren als Monovergärungsanlage mit den eingesetzten Grassilagen aus dem Deichvorland der Elbe technisch und auch wirtschaftlich betrieben werden kann. Der wirtschaftliche, wie auch der technische Erfolg der Biogasproduktion nach dem Monovergärungsverfahren hängen ganz wesentlich davon ab, dass der Rohstoff bei optimalen Erntebedingungen durch den Einsatz eines Häckslers mit doppelten Messersatz hochwertig aufbereitet wird.

Um die erforderliche Tonnage an organischer Trockenmasse in den Fermenter einbringen zu können, muss das Fermentervolumen um 30% gegenüber einem herkömmlichen Fermenter vergrößert werden. Die Vergrößerung des Fermenters sollte dabei in die Breite vorgenommen werden. So wird erreicht, dass eine größere Oberfläche zum nicht befüllten Gärraum geschaffen wird. Ferner wird durch eine flache Stapelung des Substrates im Fermenter eine Dichtlagerung vermieden. Unter dieser Voraussetzung kann eine aktivere Biogasproduktion erreicht und die erforderliche Biogasmenge von täglich 770 $m^3$ pro Fermenter kann gesichert produziert werden.

Die Rückführung der entnommenen Biomasse ist als Gärrest auf das Grünland im Deichvorland jedoch nur bedingt möglich und setzt eine aufwendige Aufbereitung mit einem Kompost-Umsetzer voraus. Ferner muss nach einer Aufbringung auf dem Grünland der Gärrest mit einer Wiesenschleppe eingerieben werden. Zudem sollte nicht mehr als 150 dt/ha Gärrest in einer Gabe eingesetzt werden. Vor diesem Hintergrund und aufgrund der getroffenen naturschutzfachlichen Vereinbarungen, ist das Flächenangebot für eine ordnungsgemäße Rückführung der entnommenen Biomasse im Deichvorland der Elbe zu gering.

Alternativ sollte daher der Gärrest auf Ackerflächen im Deichhinterland zum Zwecke der Düngung eingesetzt werden. Voraussetzung für eine derartige Verwendung ist jedoch, dass die zulässigen Höchstgehalte für Schwermetalle nach der Düngemittelverordnung eingehalten werden. Auch ist anzustreben, dass die Konzentration an Dioxinen eine tolerable Grenze von 5 ng TEQ PCDD/F pro kg TM (mündlich Dr. Severin, 2011) nicht übersteigt. Nur so besteht dauerhaft die Chance, dass es nicht zu einer Anreicherung mit Dioxinen in den mit Gärresten gedüngten Flächen kommt.

Diese Anforderung lässt sich jedoch nur erfüllen, wenn das Erntegut bei optimalen Witterungsbedingungen sauber und somit ohne erhebliche Schadstoffbelastungen siliert wird. Wie

die Untersuchungen im Projekt dargelegt haben, können auch auf dem Grünland im Deichvorland der Elbe hochwertige Grassilagen mit geringen Schadstoffkonzentrationen produziert werden.

Um die Produktionskosten bei der Silageherstellung weiter zu senken, sollten sich die landwirtschaftlichen Betriebe zu Bewirtschaftungsgemeinschaften zusammenschließen. Gleichzeitig muss diese Gemeinschaft bestrebt sein, die Verträge zum KoopNat zu harmonisieren. Nur so wird sich eine Rohstoffbereitstellungskette etablieren lassen, wodurch für alle Betriebe ein arbeitswirtschaftlicher und ökonomischer Vorteil erreicht werden kann.

Investoren werden für neue Biogasanlagen die erforderlichen finanziellen Mittel nur bereitstellen, wenn die Rahmenbedingungen stimmen. Das Projekt liefert hierzu viele wertvolle Hinweise, um derartige Biogasanlagen wirtschaftlich etablieren zu können. Für die Etablierung einer neuen Biogasanlage muss sich jedoch am vorgesehenen Standort auch ein Wärmekonzept verwirklichen lassen. Zudem muss über langfristige Verträge zugesichert werden, dass im Umkreis von zehn Kilometern zum vorgesehenen Standort der Biogasanlage die erforderliche Biomasse aus dem Deichvorland der Elbe bereitgestellt werden kann.

Für eine Investitionsentscheidung wird letztendlich auch ausschlaggebend sein, wie nach der Novellierung des EEGs der rechtliche und wirtschaftliche Rahmen ausgestaltet sein wird.

Um besondere Anreize für eine investive Umsetzung des vorgestellten Verfahrens zu geben, sollte geprüft werden, ob über öffentlich-rechtliche Geldinstitute und die Bereitstellung von verbilligten Krediten, der erforderliche Impuls für eine Investition in ein derartiges Biogasproduktionsverfahren erreicht werden kann. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine naturschutzfachliche Honorierung nicht durchgängig in gleicher Höhe für alle nach naturschutzfachlichen Vorgaben bewirtschafteten Grünlandflächen gezahlt wird.

Bei einem politischen und investiven Impuls zu Gunsten derartiger Biogasproduktionsverfahren, könnten dadurch nicht nur an der Elbe vermehrt Biogasanlagen entstehen, die den Rohstoff überwiegend aufgrund von naturschutzfachlichen Vorgaben oder sonstigen Einschränkungen von extensiv bewirtschafteten Flächen beziehen werden.

Gleichzeitig wäre dies ein Beitrag, um bisher nicht genutzte Biomassereserven einer energetischen Verwertung unter wirtschaftlichen Voraussetzungen zuzuführen.

Durch eine Verwertung der Biomasse aus dem Deichvorland der Elbe oder anderer niedersächsischer Flussauen, kann das Biogasproduktionsverfahren zudem einen bedeutenden Beitrag leisten, um eine Offenhaltung der Landschaft und weiterer naturschutzfachlicher Zielsetzungen positiv zu begleiten. Zugleich trägt das Verfahren dazu bei, eine nachhaltige Pflege der Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe oder anderer niedersächsischer Flussauen zu sichern, Sachwerte hinter dem Deich zu schützen und einen wesentlichen Beitrag im Sinne des Hochwasserschutzes zu leisten.

Für die touristisch ausgerichteten Betriebe entlang der Elbe oder anderer niedersächsischer Flussauen wird eine Kulisse erhalten, wodurch ein Besuch entlang entsprechender Flusslandschaften weiterhin lohnenswert ist. In der Bündelung aller Wirkungen wird dadurch ein mehrschichtiger volkswirtschaftlicher Nutzen erreicht.

# 13 Literaturverzeichnis

**Baserga, U., 1998**; Landwirtschaftliche Co-Vergärungs-Biogasanlagen, FAT-Berichte Nr. 512

**Besgen, S., 2005:** Energie- und Stoffumsetzung in Biogasanlagen – Ergebnisse messtechnischer Untersuchungen an landwirtschaftlichen Biogasanlagen im Rheinland

**Bischoff, M., 2010:** Mündliche Mitteilung im Rahmen der Erörterung der labortechnischen Biogasertragsdaten, LUFA Niedersachsen, Standort Oldenburg.

**Bischoff, M., Bredendiek, K., 2010:** Versuchsbeschreibung gemäß dem Untersuchungsbericht über die Durchführung eines Gärversuches nach den Vorgaben der VDI-Richtlinie 4630 – Abschnitt 7 (Batch-Verfahren)

**Briemle, G., Nitsche, S., Nitsche, L. 2002:** Nutzungswertzahlen für Gefäßpflanzen des Grünlandes, Schriftenreihe für Vegetationskunde H. 38, 2002, 203-225, Bundesamt für Naturschutz, Bonn

**DüMV, 2008:** Düngemittelverordnung vom 16. Dezember 2008, BGBl., Teil I Nr. 60 (mit dem 31.12.2009 enden die alten Regelungen)

**Düngekostenvergleich 2008 – 2010:** Landberatung Uelzen

**DüngMG 1977:** Düngemittelgesetz vom 15. November 1977 (BGBI. I S. 2134), zuletzt geändert durch das Gesetz zur Änderung des Düngemittelgesetzes vom 17. Dezember 1999 (BGBI. I S. 2451), geändert durch Art. 10 G v. 25.06.2001 I 1215.

**EA-VO 1997:** Erschwernisausgleichverordnung = Niedersächsische Verordnung über den Erschwernisausgleich und den Vertragsnaturschutz in geschützten Teilen von Natur und Landschaft

**Futtermittelverordnung (FuttMV), 2010:** Geltung ab 15.04.1981, zuletzt geändert durch Artikel 1V. v. 20.12.2010 eBAnz AT135 2010 V1, Grundlage zur Umsetzung der Verordnung (EG) Nr. 767/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juli 2009 über das Inverkehrbringen und die Verwendung von Futtermitteln

**Kaiser, 2010:** Biosphärenreservatsverwaltung Hitzacker, Mailmitteilung über besonders geschützte Lebensraumtypen

**Keymer, U., Schilcher, A. 2003:** Biogasanlagen: Berechnung der Gasausbeute von Kosubstraten, www.lfl.bayern.de/ilb/technik/03029

**Klapp, 1954:** Lehrbuch: Wiesen und Weiden – Behandlung, Verbesserung und Nutzung von Grünlandflächen

**KTBL – Datensammlung 2008/09:** Betriebsplanung Landwirtschaft 2008/09, KTBL-Datensammlung, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt, 21. Auflage 2008

**KTBL – Datensammlung Energiepflanzen, 2006:** Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., ISBN 13: 978-3-939371-21-2

**Lange, G., Müller, J., 2005:** Wiesennutzer – Wiesenschützer, Marktplatz der Nutzungsvarianten für das Grünland, Ergebnisbericht zum Verbundprojekt Grünlandbörse, gefördert mit Mitteln des BMVEL unter REGIONEN AKTIV

**LUFA Nord-West, 2005:** Auswertungen zur Grassilagequalität 2005 liegen vor, Landwirtschaftliches Untersuchungs- und Forschungsinstitut, Institut für Futtermittel

**LWK Niedersachsen, 2011:** Richtwerte für die Düngung in Niedersachsen, Januar 2011; http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/pflanze/nav/341/article/11622.html

**LWK Nordrhein-Westfalen, 2010:** Empfehlungen zur Stallmistausbringung, Referat 31.7, http://lk-nrw.de/landwirtschaft/ackerbau/duengung/basisinfos/index.htm

**MR Lüneburg, 2009:** Maschinenring Lüneburg 2009, aus Tabelle zur Abrechnung der Transportkosten

**NElbtBRG, 2002, Anlage 1:** Gesetz über das Biosphärenreservat „Niedersächsische Elbtalaue“, Anlage 1 – Schutzgebietskarten.

**NElbtBRG, 2002:** Gesetz über das Biosphärenreservat „Niedersächsische Elbtalaue“

**Nussbaum, HJ., 2007:** Dreck macht nicht fett – Verschmutzung bei Grassilagen, Bildungs- und Wissenschaftszentrum Aulendorf

**Pries, M., Menke, A., 2009:** Grassilage: Hohe Verdaulichkeit sichern, http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirschaft/tierproduktion/rinderhaltung/fuetterung/grassilage-verdaulichkeit.htm

**Reuters, R., 2011:** Methodenvergleich und –erweiterung zur Vorhersage der Biogasausbeute, Bachelorarbeit, Hochschule Neubrandenburg

**Richtwert-Deckungsbeiträge 2009:** Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Fachbereich 3.1., Betriebswirtschaft, Unternehmensberatung, Markt, Familie und Betrieb, Dr. Matthias Schindler

**Richtwert-Deckungsbeiträge für den ökologischen Landbau 2008:** Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Fachbereich 3.1.6, Betriebswirtschaft und Markt, Dr. Matthias Schindler

**Severin, K., Schneider, J. Heuer, H-J., von Haaren, J., Kamphues, J., Schulz, A. J.; 2004:** Ermittlung der Belastung von Boden und Aufwuchs mit polychlorierten Dibenzo-P-Dioxinen und polychlorierten Dibenzo-Furanen sowie Schwermetallen in den Überschwemmungsflächen der Elbtalauen und weiterer Niedersächsischer Flussauen – als Grundlage für ein Agrarmanagement, erstellt im Auftrage des Niedersächsischen Ministeriums für den ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, unveröffentlicht

**Steinhöfel, O., Krieg, D., Hanschmann, G., Mietke, H., Richardt, W., Hoffmann, M., 2007:** Untersuchung und Bewertung von Futtermitteln für Wiederkäuer, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

**TLL, 2003**: Silagemonitoring, Silagen aus der Ernte der Jahre 2000 bis 2002, Themenblatt - Nr.: 46.08.300/2003, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft

# 14 Anhang

## 14.1. Inhaltsverzeichnis zum Anhang

**14.1 Inhaltsverzeichnis zum Anhang** ..... **- 74 -**

**14.2 Berechnung der organischen Trockenmasse pro Tag auf Basis der eingesetzten Mischsubstrate der BBM** ..... **- 77 -**

**14.3 Auswertung der Biogaserträge des im Labor durchgeführten praktischen Gärversuches anhand des Kurvenverlaufes der Einmessung** ..... **- 78 -**

**14.4 Anhang – Abbildungen** ..... **- 79 -**

Abb. 01: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 28 Tage vom 18.05. bis 15.06.2010 ..... **- 79 -**

Abb. 02: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 24 Tage vom 16.06. bis 09.07.2009 ..... **- 79 -**

Abb. 03: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 18 Tage vom 10.07. bis 27.07.2009 ..... **- 80 -**

Abb. 04: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 20 Tage vom 28.07. bis 16.08.2009 ..... **- 80 -**

Abb. 05: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 16 Tage vom 17.08. bis 01.09.2009 ..... **- 81 -**

Abb. 06: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 20 Tage vom 02.09. bis 21.09.2009 ..... **- 81 -**

Abb. 07: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 20 Tage vom 09.10. bis 28.10.2009 ..... **- 82 -**

Abb. 08: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 25 Tage vom 29.10. bis 22.11.2009 ..... **- 82 -**

Abb. 09: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 24 Tage vom 23.11. bis 16.12.2009 ..... **- 83 -**

Abb. 10: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 29 Tage vom 17.12.2009 bis 14.01.2010 ..... **- 83 -**

Abb. 11: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 27 Tage vom 15.01. bis 10.02.2010 ..... **- 84 -**

Abb. 12: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 25 Tage vom 11.02. bis 07.03.2010 ..... **- 84 -**

Abb. 13: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 24 Tage vom 08.03. bis 31.03.2010 ..... **- 85 -**

Abb. 14: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 25 Tage vom 01.04. bis 25.04.2010 ..... **- 85 -**

Abb. 15: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 29 Tage vom 26.04. bis 24.05.2010 ..... **- 86 -**

Abb. 16: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 24 Tage vom 25.05. bis 17.06.2010 ..... **- 86 -**

Abb. 17: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 32 Tage vom 18.06. bis 19.07.2010 ..... **- 87 -**

Abb. 18: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 27 Tage vom 20.07. bis 15.08.2010 ..... **- 87 -**

Abb. 19: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 21 Tage vom 16.08. bis 05.09.2010 ..... **- 88 -**

Abb. 20: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 23 Tage vom 06.09. bis 28.09.2010 ..... **- 88 -**

Abb. 21: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 22 Tage vom 29.09. bis 20.10.2010 ..... **- 89 -**

Abb. 22: Grassilage vom 27.07.2009 – Gärverlauf (Biogas) – Einzelmessung und Summenkurve ..... **- 90 -**

Abb. 23: Grassilage vom 29.10.2009 – Gärverlauf (Biogas) – Einzelmessung und Summenkurve ..... **- 91 -**

Abb. 24: Grassilage vom 25.05.2010 – Gärverlauf (Biogas) – Einzelmessung und Summenkurve ..... **- 92 -**

Abb. 25: Gärrest vom 27.07.2009 – Gärverlauf (Biogas) – Einzelmessung und Summenkurve ..... **- 93 -**

Abb. 26: Gärrest vom 29.10-2010 – Gärverlauf (Biogas) – Einzelmessung und Summenkurve ..... **- 94 -**

**14.5 Anhang – Tabellen** ..... **- 95 -**

**Anhangtabelle 1-1:** Sensorische Bewertung von Grobfuttermitteln nach Steinhöfel et at. 2007, 53 - 56)..... **- 95 -**

**Anhangtabelle 1-2:** Sensorische Bewertung von Grobfuttermitteln nach Steinhöfel et at. 2007, 53 - 56) ..... **- 96 -**

**Anhangtabelle 2:** Höchstgehalte an unerwünschten Stoffen in Grassilage nach FuttMV, Auszug ..... **- 97 -**

**Anhangtabelle: 3-1:** Gärphase, Menge an Grassilage, organische Trockenmasse, Biogasertrag, Methanertrag, Herkunft der Grassilagen ..... **- 98 -**

**Anhangtabelle: 3-2:** Gärphase, Menge an Grassilage, organische Trockenmasse, Biogasertrag, Methanertrag, Herkunft der Grassilagen ..... **- 99 -**

**Anhangtabelle: 3-3:** Gärphase, Menge an Grassilage, organische Trockenmasse, Biogasertrag, Methanertrag, Herkunft der Grassilagen ..... **100 -**

**Anhangtabelle: 3-4:** Gärphase, Menge an Grassilage, organische Trockenmasse, Biogasertrag, Methanertrag, Herkunft der Grassilagen ..... **101 -**

**Anhangtabelle 4-1:** Fermenter 1 – Aufzeichnung der Parameter bei der Biogasproduktion vom 18.05.200 bis 20.10.2010 ..... **102 -**

**Anhangtabelle 4-2:** Fermenter 2 – Aufzeichnung der Parameter bei der Biogasproduktion vom 18.05.200 bis 20.10.2010 ..... **103 -**

**Anhangtabelle 4-3:** Fermenter 3 – Aufzeichnung der Parameter bei der Biogasproduktion vom 18.05.200 bis 20.10.2010 ..... **104 -**

**Anhangtabelle 4-4:** Fermenter 4 – Aufzeichnung der Parameter bei der Biogasproduktion vom 18.05.200 bis 20.10.2010 ..... **105 -**

**Anhangtabelle 4-5:** Fermenter 5 – Aufzeichnung der Parameter bei der Biogasproduktion vom 18.05.200 bis 20.10.2010 ..... **106 -**

**Anhangtabelle 4-6:** Fermenter 6 – Aufzeichnung der Parameter bei der Biogasproduktion vom 18.05.200 bis 20.10.2010 ..... **107 -**

**Anhangtabelle 4-7:** Fermenter 7 – Aufzeichnung der Parameter bei der Biogasproduktion vom 18.05.200 bis 20.10.2010 ..... **108 -**

**Anhangtabelle 4-8:** gemittelte Werte – Aufzeichnung der Parameter bei der Biogasproduktion vom 18.05.200 bis 20.10.2010 ..... **109 -**

**Merkblatt 2010** Bewirtschaftung von Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe in Niedersachsen, Fassung 03.03.2011 ..... **110 -**

## 14.2. Berechnung der organischen Trockenmasse pro Tag auf Basis der eingesetzten Mischsubstrate der BBM

### Überschlägige Schätzung zur Ermittlung der organischen Trockenmasse pro Tag - bezogen einen Zeitraum von 25 Tagen

gegeben

115 t FM pro Substratwechsel
35 % TS-Gehalt
90 % organischer Anteil in der TM (geschätzter Wert)
25 Tage Verweilzeit

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 115 | t FM | x | 35 % | = | 40,25 | t TM |
| 40,25 | t TM | x | 90 % | = | 36,23 | t oTM |
| 36,23 | t oTM | ./. | 25 | = | 1,45 | t oTM/d |

---

### Berechnung der organischen Trockenmasse pro Tag - bezogen auf einen Zeitraum von 25 Tagen

gegeben

**115 t FM pro Substratwechsel**

**35 % Rindermist (RM) = Anteil am Mischsubstrat**
25 % TS-Gehalt (RM)
85 % oTS an der TM (RM)

**45 % Maissilage (SM) = Anteil am Mischsubstrat**
35 % TS-Gehalt (SM)
96 % oTS an der TM (SM)

**20 % Grassilage (GS) = Anteil am Mischsubstrat**
35 % TS-Gehalt (GS)
88 % oTS an der TM (GS)

25 Tage Verweilzeit
770 cbm Biogas pro Tag

| Material | Anteil | t FM | TS-Gehalt | t TM | Gehalt oTS | t oTM |
|---|---|---|---|---|---|---|
| RM | 35% | 40,25 | 25% | 10,06 | 85% | 8,55 |
| SM | 45% | 51,75 | 35% | 18,11 | 96% | 17,39 |
| GS | 20% | 23,00 | 35% | 8,05 | 88% | 7,08 |
| Summen | 100% | 115,00 | | 36,23 | | 33,02 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 33,02 | t oTM | ./. | 25 Tage | = | **1,32** | **t oTM/d** |
| 770 | cbm Biogas pro Tag | | ./. | | 1,32 t oTM/d | = 583 cbm/t oTM |
| | | | | | | = 583 l/kg oTM |
| | | | | | | ≈ 584 l/kg oTM |
| 584 | l/kg oTM | ./. | 25 Tage | = | 23,36 | l/d und kg oTM |

Das Mischsubstrat muss eine Biogasleistung von ca. 584 l/kg oTM erbringen. Bei einer Gärmenge von ca. 1,32 t oTM pro Tag kann dann die kalkulatorische Biogasmenge von 770 cbm produziert werden. Dies entspricht einer Biogasmenge von 23,36 Liter pro Tag und kg oTM.

## 14.3. Auswertung der Biogaserträge des im Labor durchgeführten praktischen Gärversuches anhand des Kurvenverlaufes der Einmessung

| | Grassilage, 2 . Schnitt, Wussegel 27.07.2009 | | Grassilage, 1 . Schnitt, Jasebeck 29.10.2009 | | Grassilage, 1 . Schnitt, Grippel 25.05.2010 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 31.08.2009 | 0 | 23.03.2010 | 0 | 31.05.2010 | 0 |
| 2 | 01.09.2009 | 21 | 24.03.2010 | 16 | 01.06.2010 | 48 |
| 3 | 02.09.2009 | 19 | 25.03.2010 | 32 | 02.06.2010 | 51 |
| 4 | 03.09.2009 | 36 | 26.03.2010 | 19 | 03.06.2010 | 36 |
| 5 | 04.09.2009 | 36 | 27.03.2010 | 18 | 04.06.2010 | 45 |
| 6 | 05.09.2009 | 28 | 28.03.2010 | 16 | 05.06.2010 | 48 |
| 7 | 06.09.2009 | 28 | 29.03.2010 | 18 | 06.06.2010 | 36 |
| 8 | 07.09.2009 | 28 | 30.03.2010 | 18 | 07.06.2010 | 39 |
| 9 | 08.09.2009 | 23 | 31.03.2010 | 17 | 08.06.2010 | 31 |
| 10 | 09.09.2009 | 23 | 01.04.2010 | 17 | 09.06.2010 | 29 |
| 11 | 10.09.2009 | 17 | 02.04.2010 | 13 | 10.06.2010 | 30 |
| 12 | 11.09.2009 | 17 | 03.04.2010 | 13 | 11.06.2010 | 18 |
| 13 | 12.09.2009 | 9 | 04.04.2010 | 11 | 12.06.2010 | 18 |
| 14 | 13.09.2009 | 9 | 05.04.2010 | 12 | 13.06.2010 | 12 |
| 15 | 14.09.2009 | 9 | 06.04.2010 | 9 | 14.06.2010 | 13 |
| 16 | 15.09.2009 | 7 | 07.04.2010 | 9 | 15.06.2010 | 7 |
| 17 | 16.09.2009 | 7 | 08.04.2010 | 9 | 16.06.2010 | 7 |
| 18 | 17.09.2009 | 7 | 09.04.2010 | 9 | 17.06.2010 | 5 |
| 19 | 18.09.2009 | 7 | 10.04.2010 | 9 | 18.06.2010 | 5 |
| 20 | 19.09.2009 | 7 | 11.04.2010 | 9 | 19.06.2010 | 7 |
| 21 | 20.09.2009 | 7 | 12.04.2010 | 9 | 20.06.2010 | 7 |
| 22 | 21.09.2009 | 7 | 13.04.2010 | 9 | 21.06.2010 | 5 |
| 23 | 22.09.2009 | 5 | 14.04.2010 | 9 | 22.06.2010 | 5 |
| 24 | 23.09.2009 | 5 | 15.04.2010 | 9 | 23.06.2010 | 5 |
| 25 | 24.09.2009 | 5 | 16.04.2010 | 14 | 24.06.2010 | 5 |
| 26 | 25.09.2009 | 5 | 17.04.2010 | 14 | 25.06.2010 | 5 |
| | | **372** | | **338** | | **517** |

## 14.4. Anhang – Abbildungen

**Abb. 01: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 28 Tage vom 18.05. bis 15.06.2010**

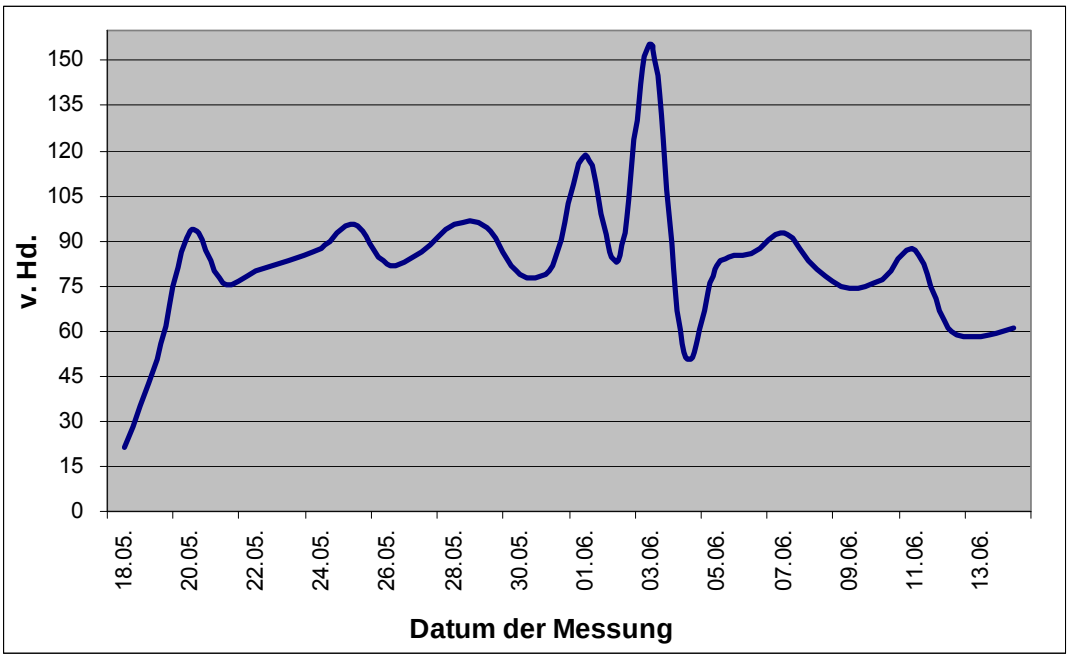



**Abb. 02: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 24 Tage vom 16.06. bis 09.07.2009**

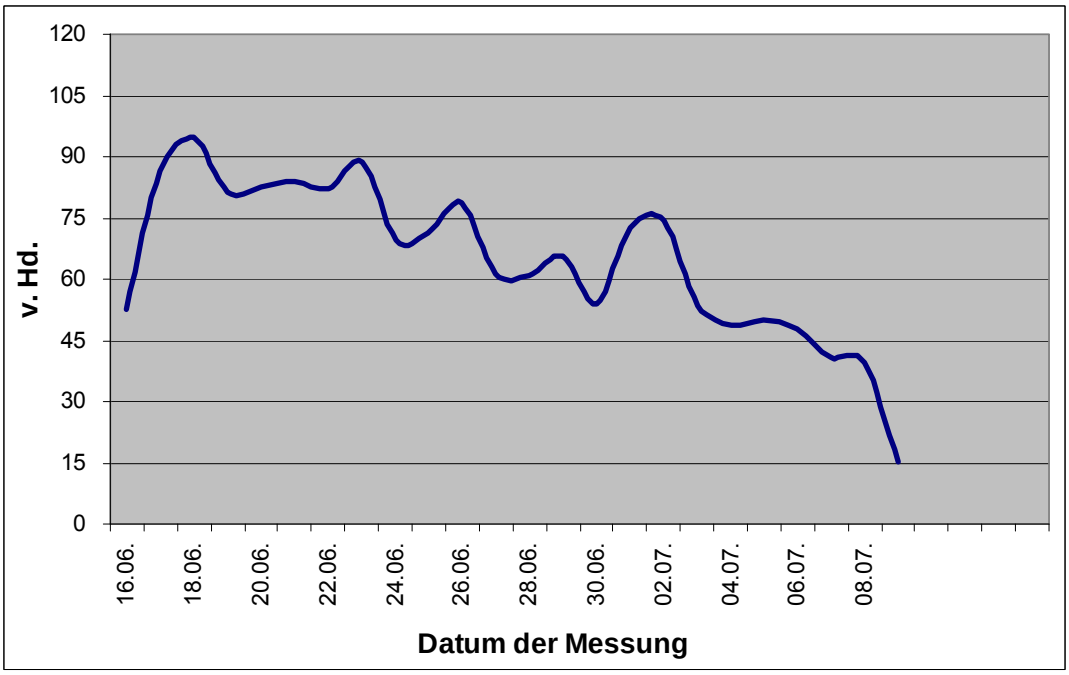


**Abb. 03: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 18 Tage vom 10.07. bis 27.07.2009**

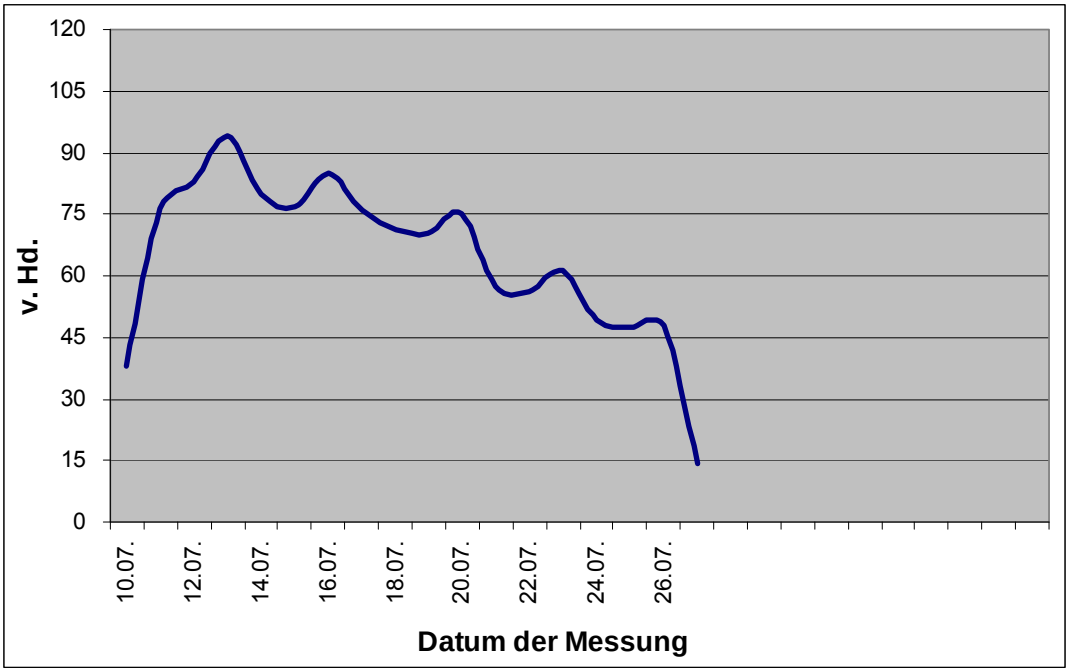



**Abb. 04: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 20 Tage vom 28.07. bis 16.08.2009**

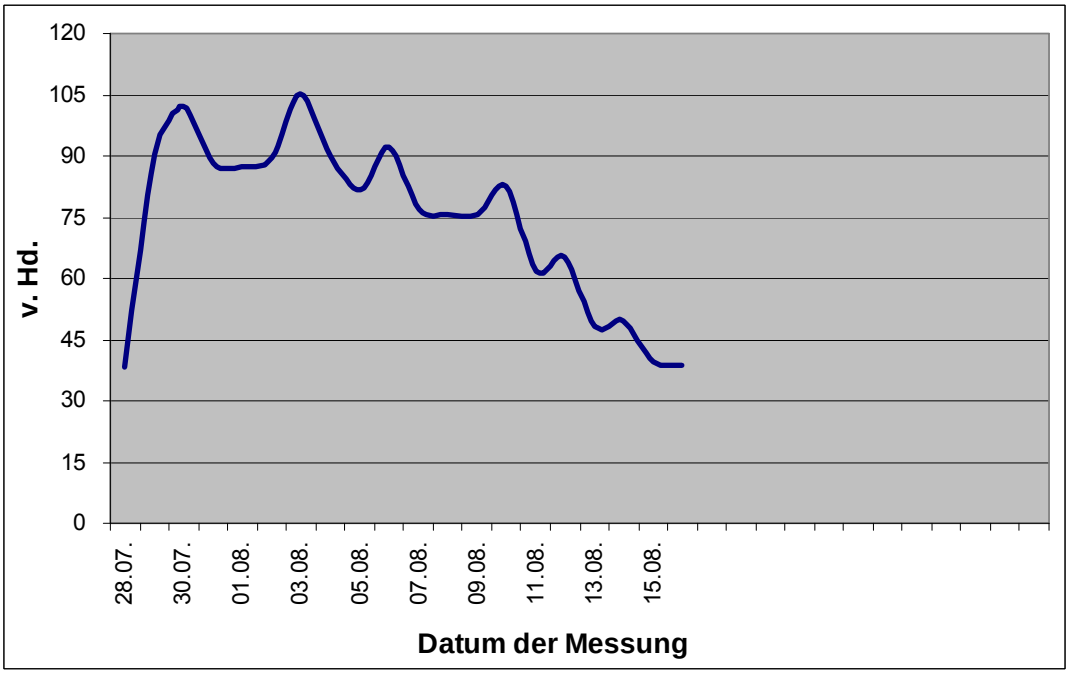


**Abb. 05: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 16 Tage vom 17.08. bis 01.09.2009**

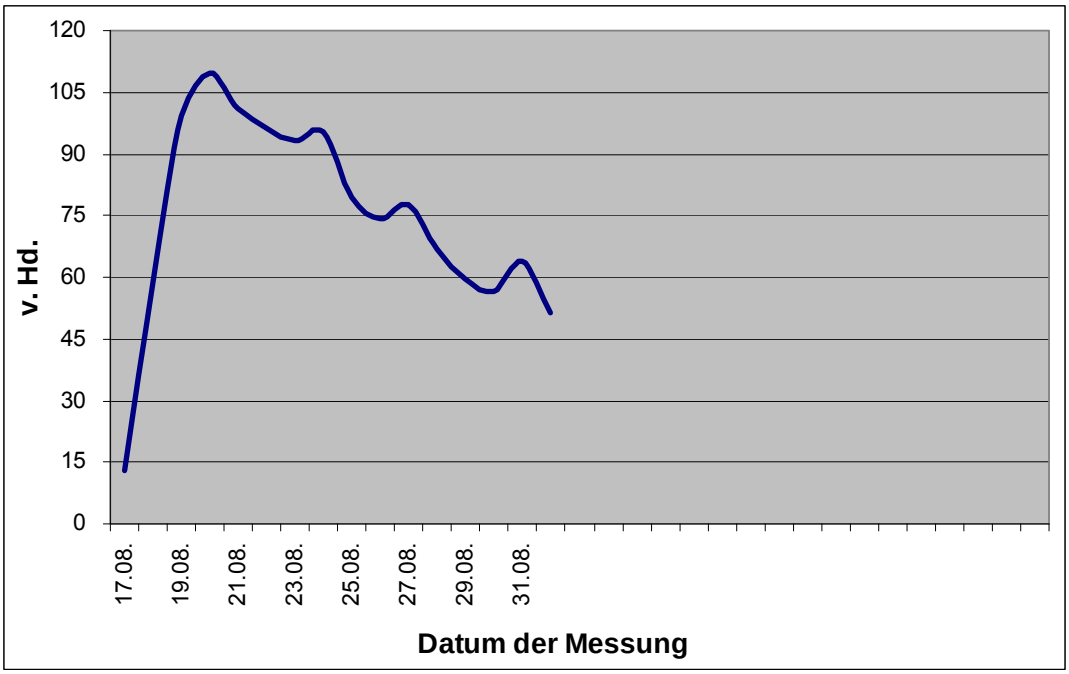
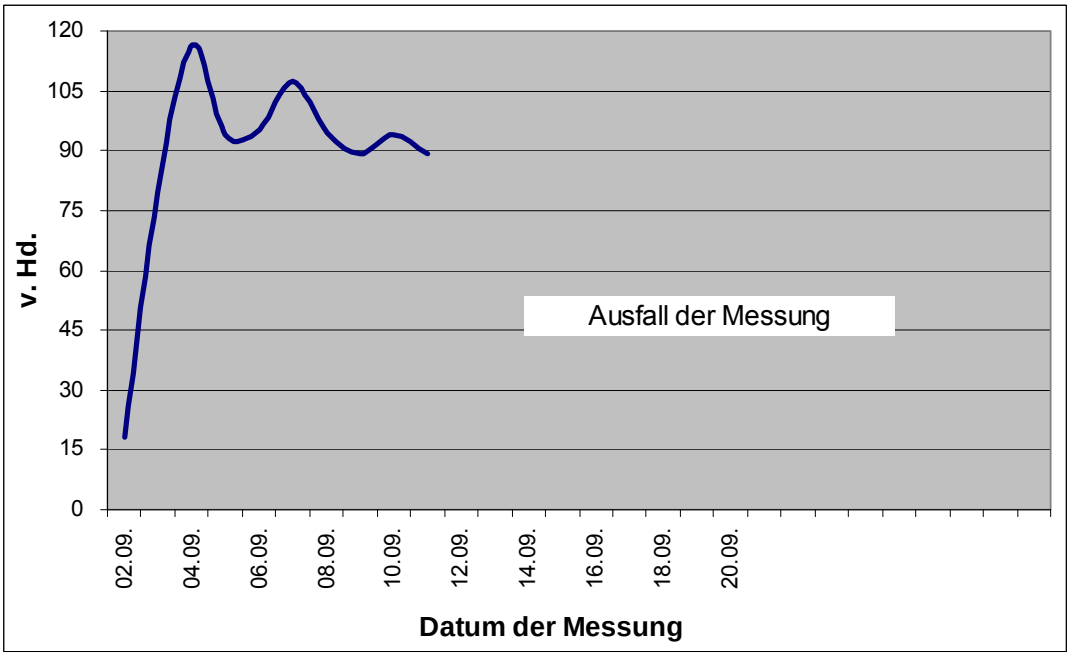



**Abb. 06: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 20 Tage vom 02.09. bis 21.09.2009**




Vor 22.09. bis 07.10.2009 konnte aufgrund einer technischen Störung keine Aufzeichnung erfolgen. Zum Zwecke der Abrechnung wurde eine Biogasertragsquote von 78% (≈ 600,6 cbm/d) unterstellt.

**Abb. 07: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 20 Tage vom 09.10. bis 28.10.2009**

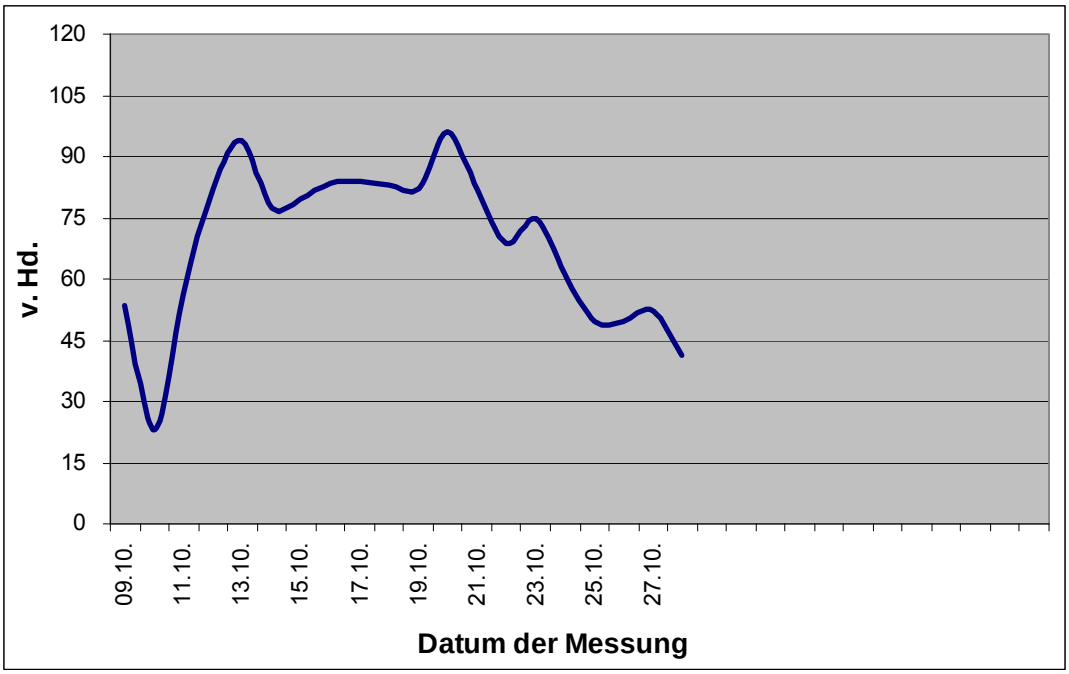



**Abb. 08: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 25 Tage vom 29.10. bis 22.11.2009**

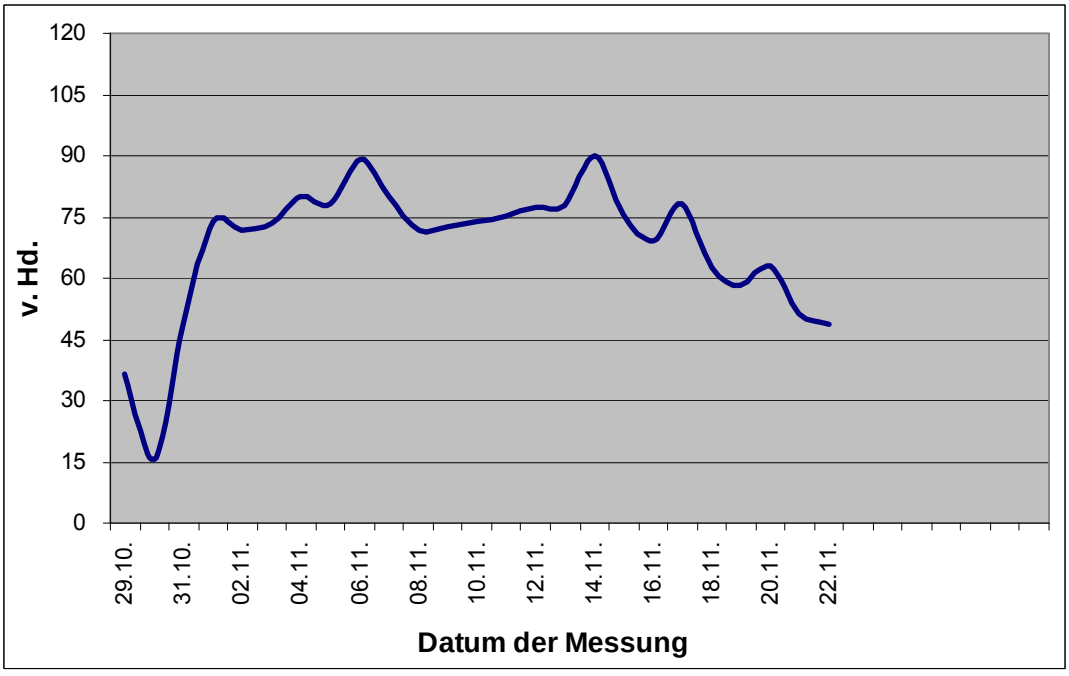


**Abb. 09: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 24 Tage vom 23.11. bis 16.12.2009**

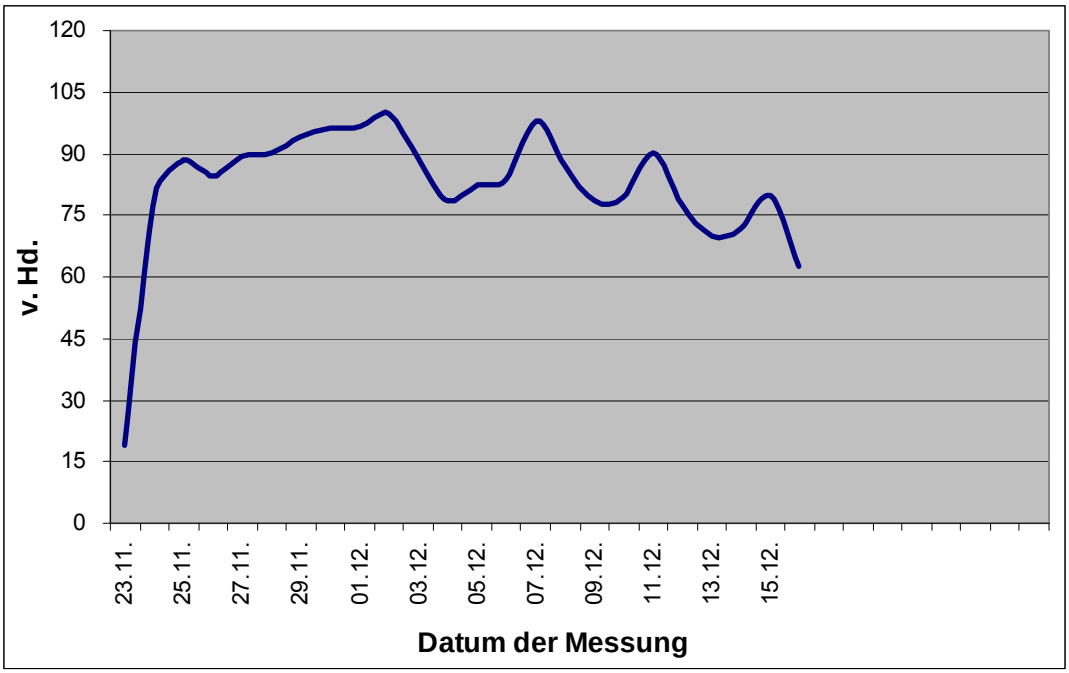



**Abb. 10: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 29 Tage vom 17.12.2009 bis 14.01.2010**

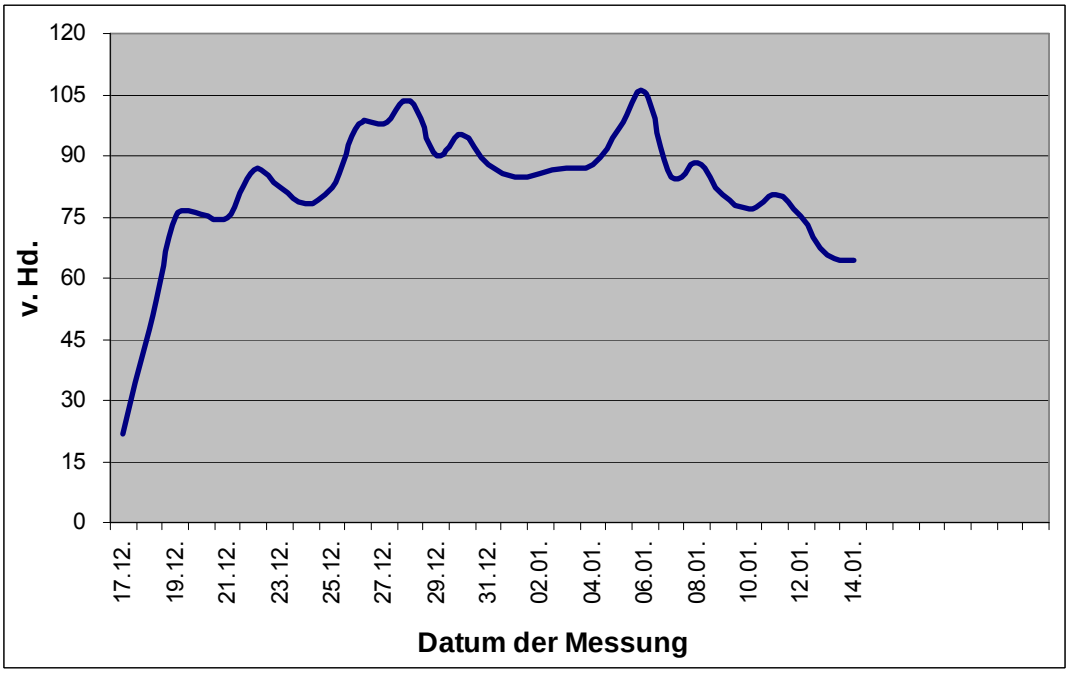


**Abb. 11: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 27 Tage vom 15.01. bis 10.02.2010**

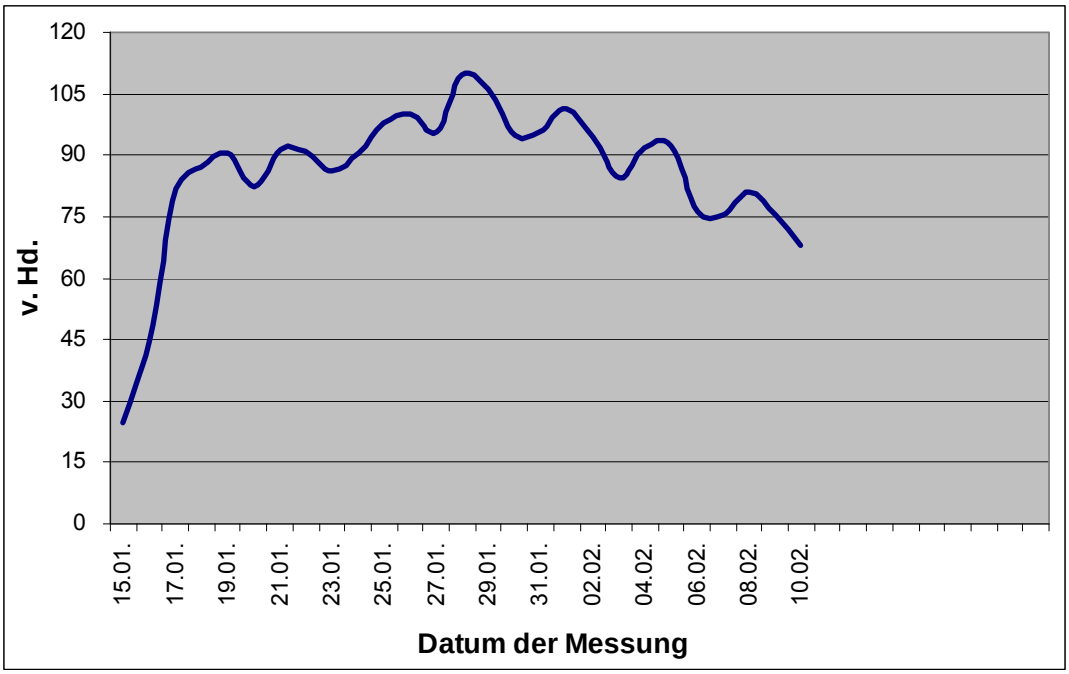



**Abb. 12: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 25 Tage vom 11.02. bis 07.03.2010**

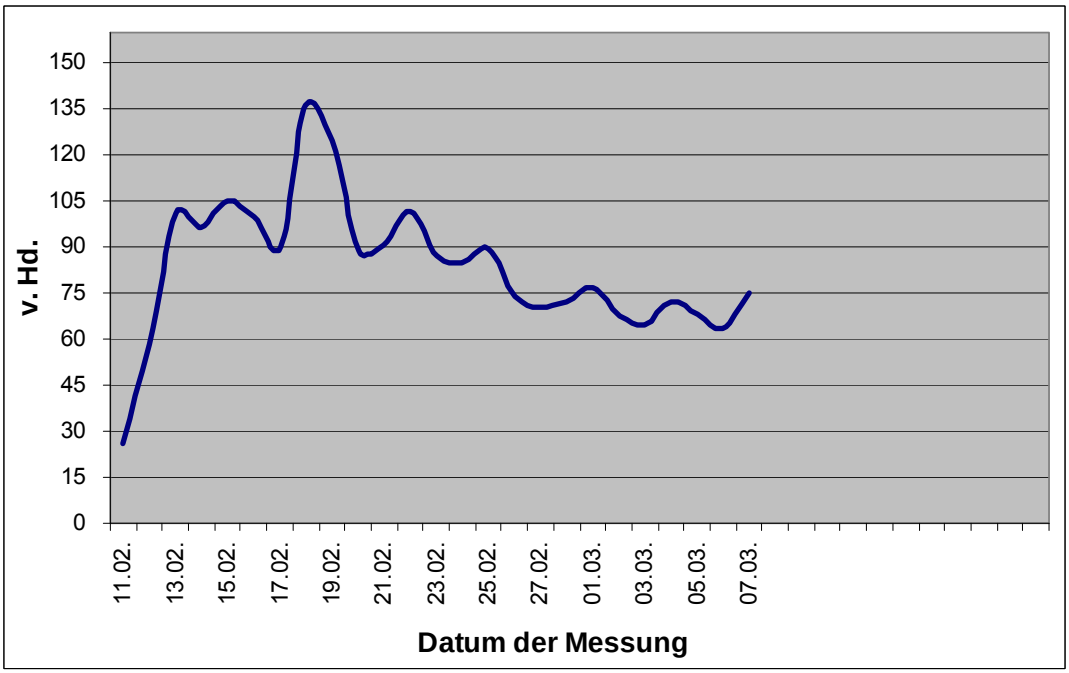


**Abb. 13: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 24 Tage vom 08.03. bis 31.03.2010**

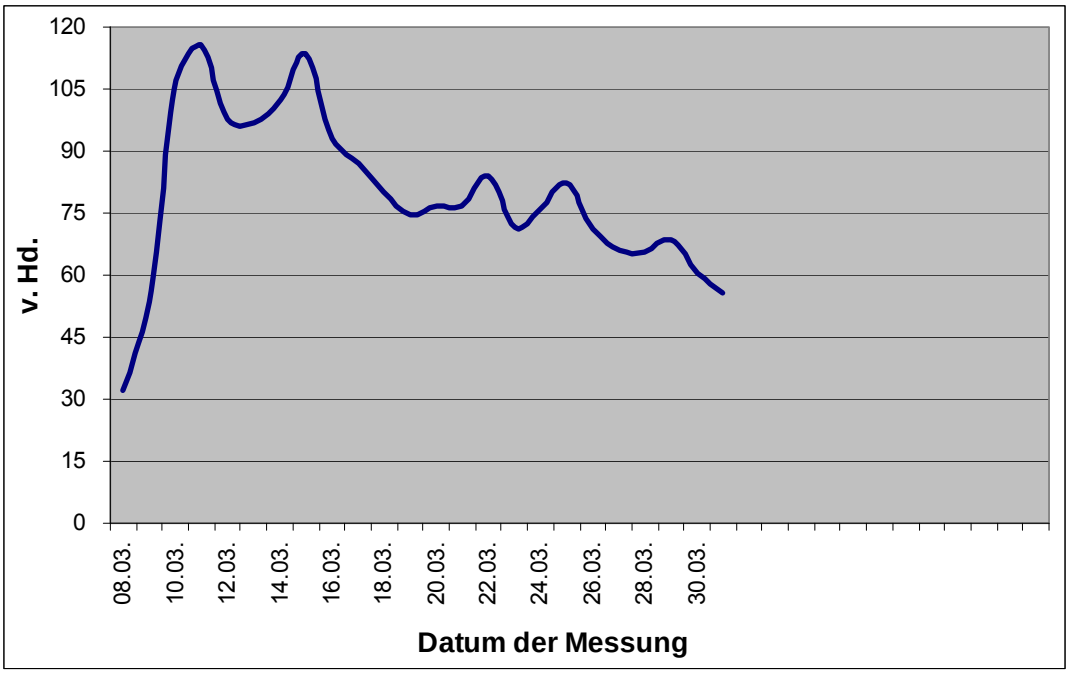



**Abb. 14: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 25 Tage vom 01.04. bis 25.04.2010**

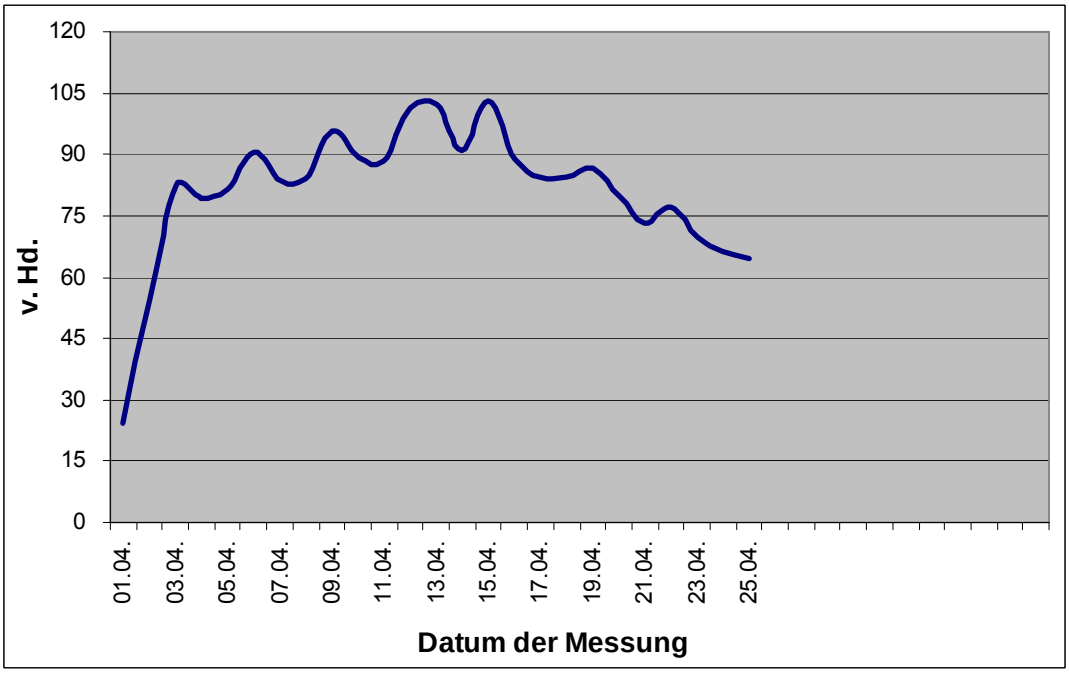


**Abb. 15: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 29 Tage vom 26.04. bis 24.05.2010**

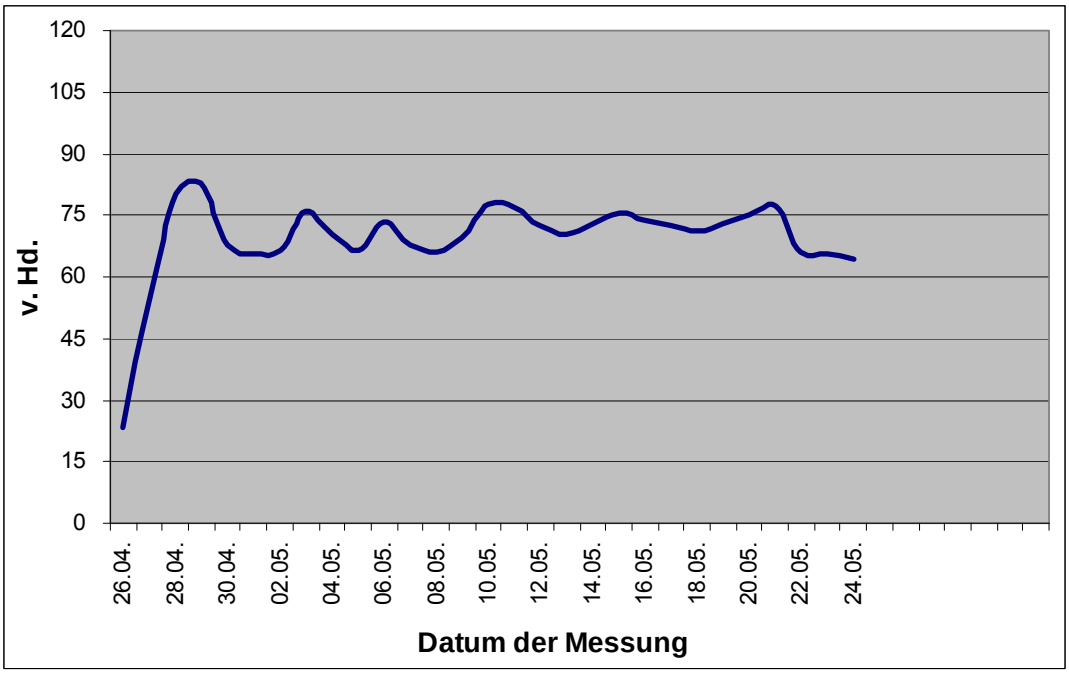



**Abb. 16: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 24 Tage vom 25.05. bis 17.06.2010**

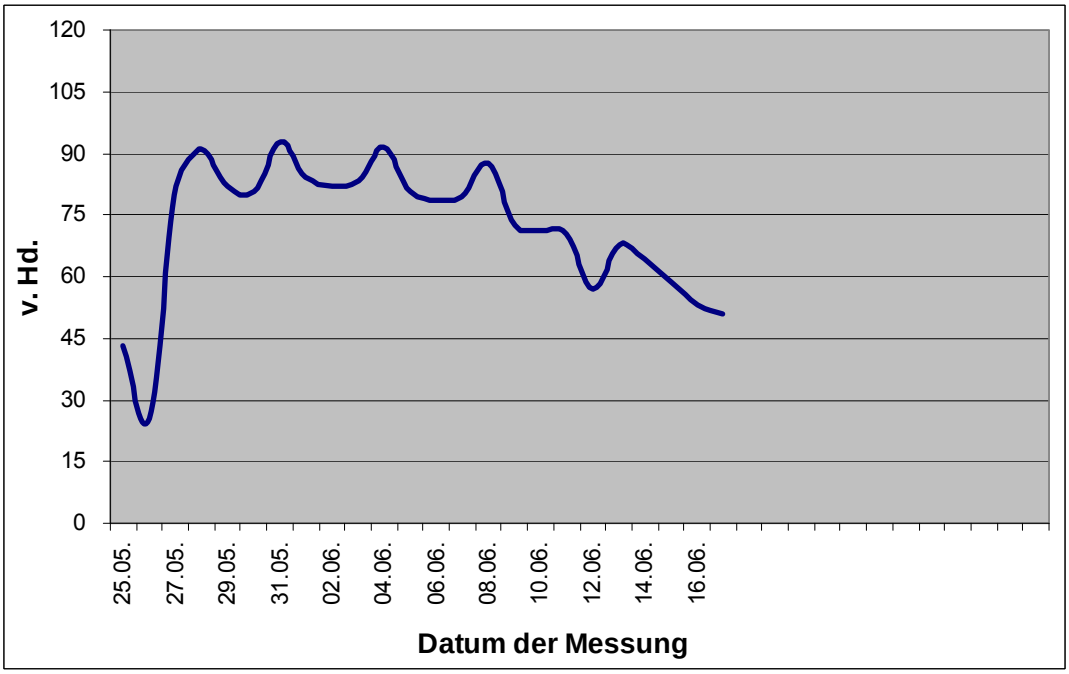


**Abb. 17: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 32 Tage vom 18.06. bis 19.07.2010**

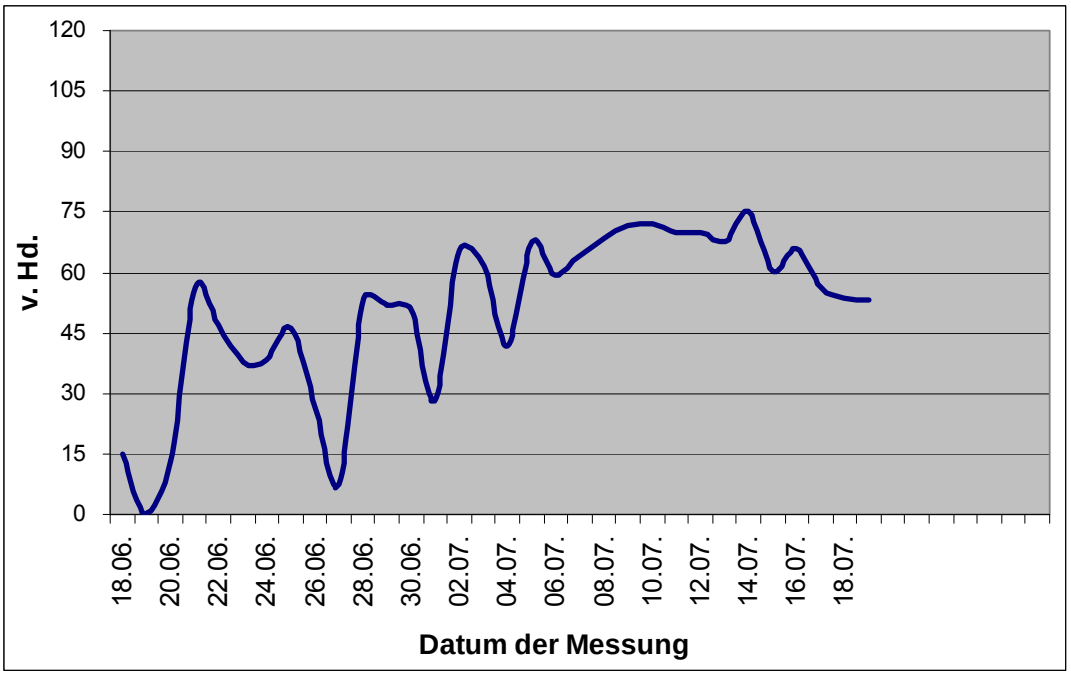



**Abb. 18: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 27 Tage vom 20.07. bis 15.08.2010**

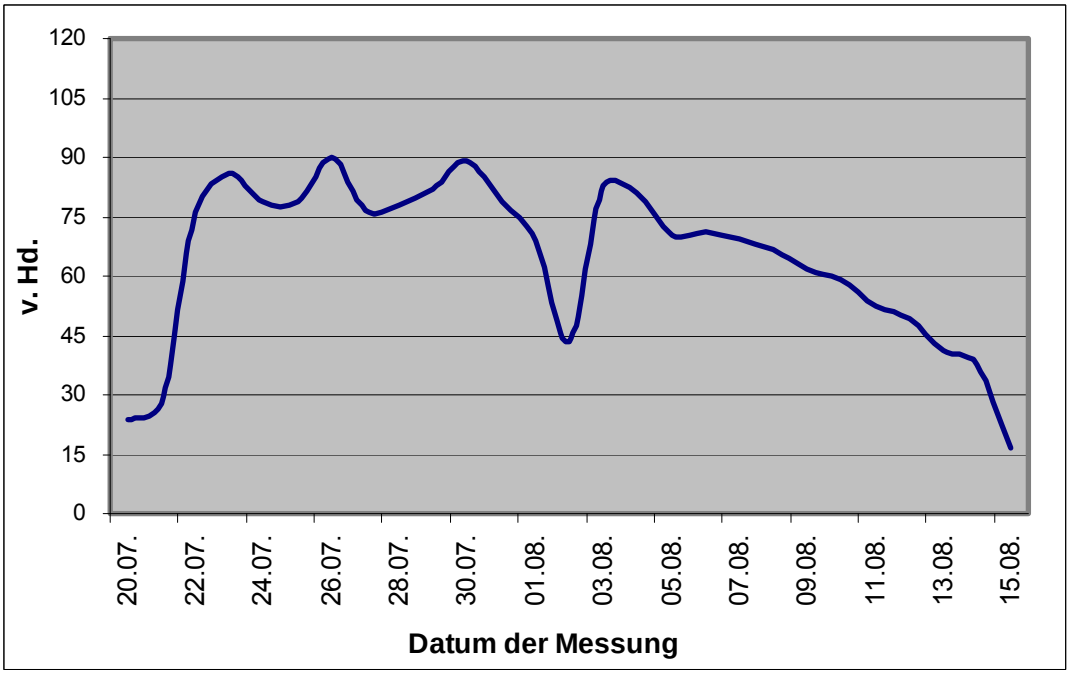


**Abb. 19: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 21 Tage vom 16.08. bis 05.09.2010**

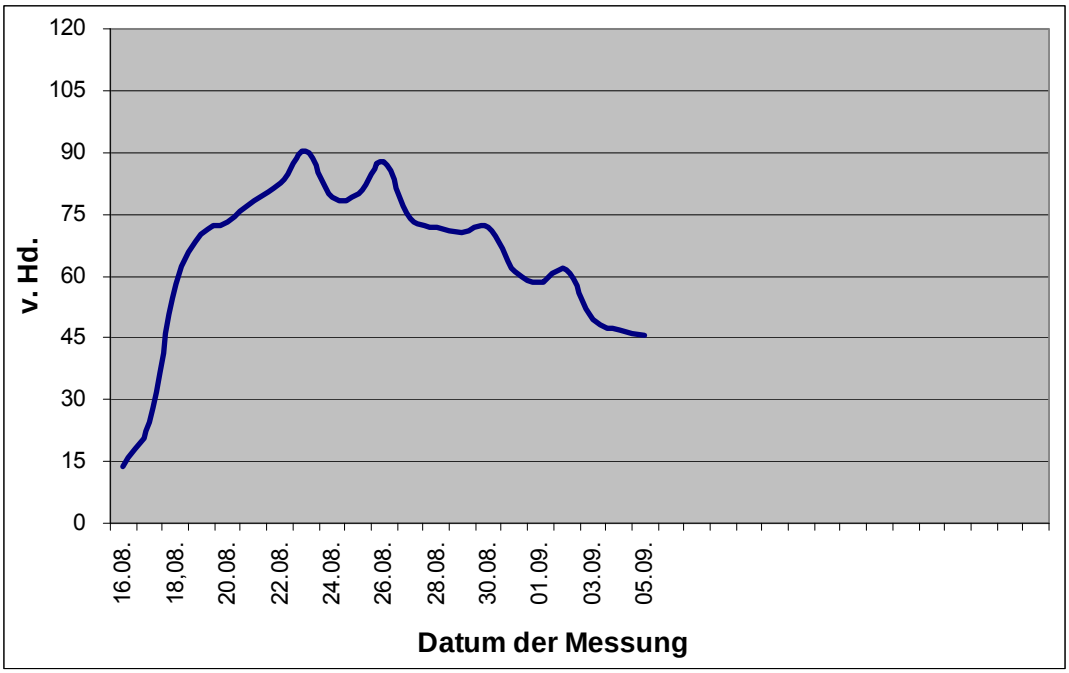



**Abb. 20: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 23 Tage vom 06.09. bis 28.09.2010**

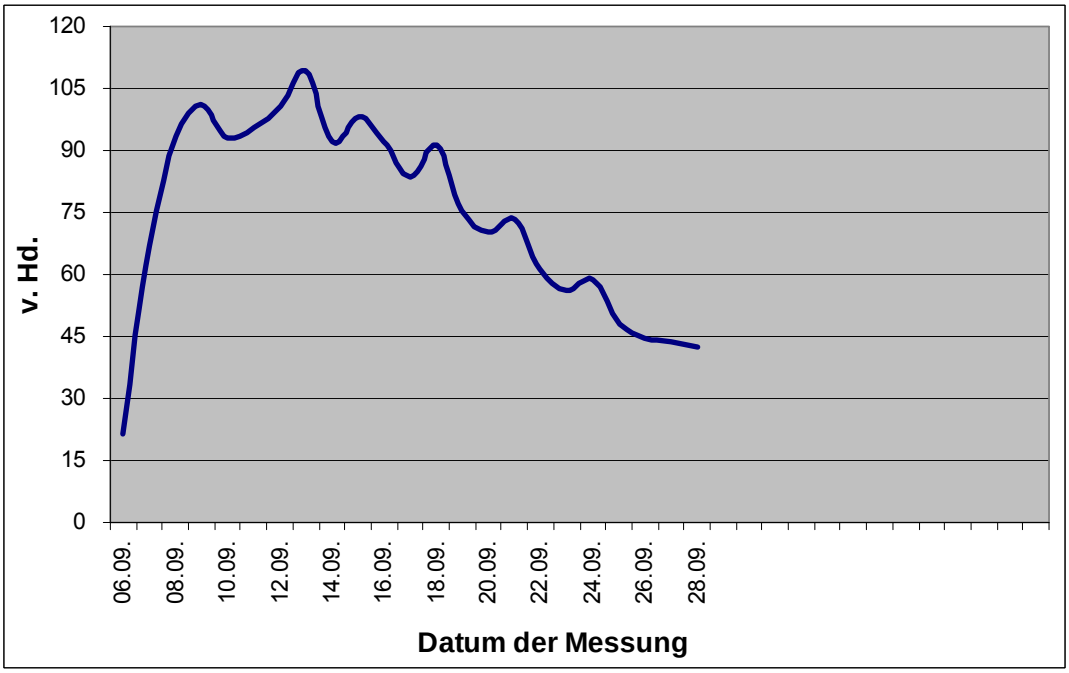


**Abb. 21: Verlauf der relativen Biogasproduktion im Fermenter 7 über 22 Tage vom 29.09. bis 20.10.2010**

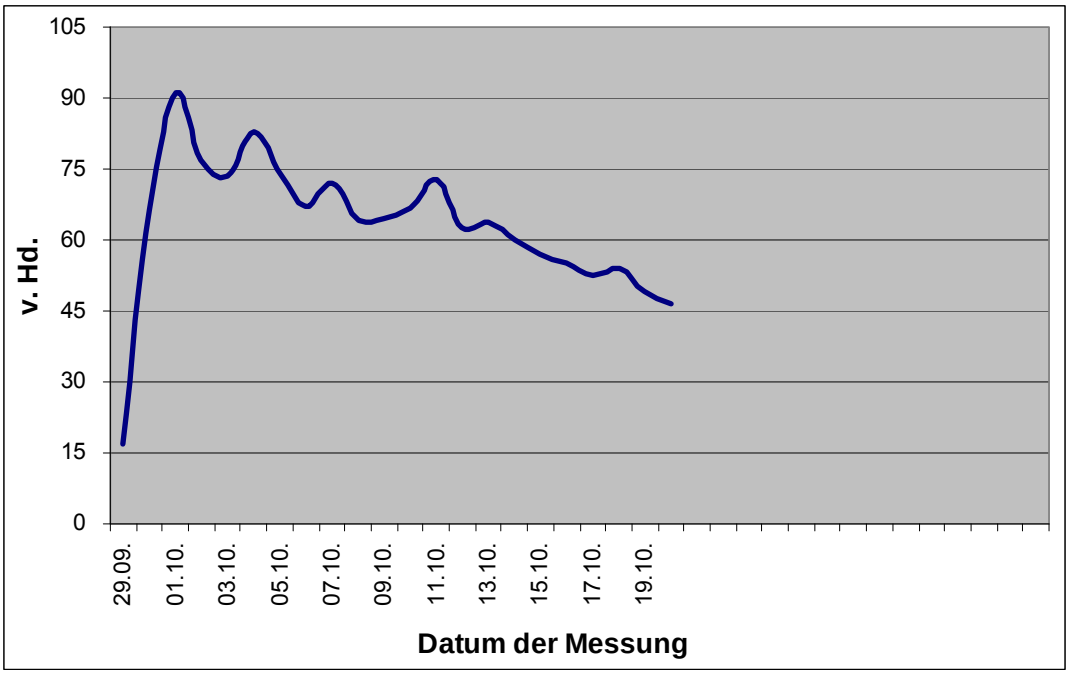
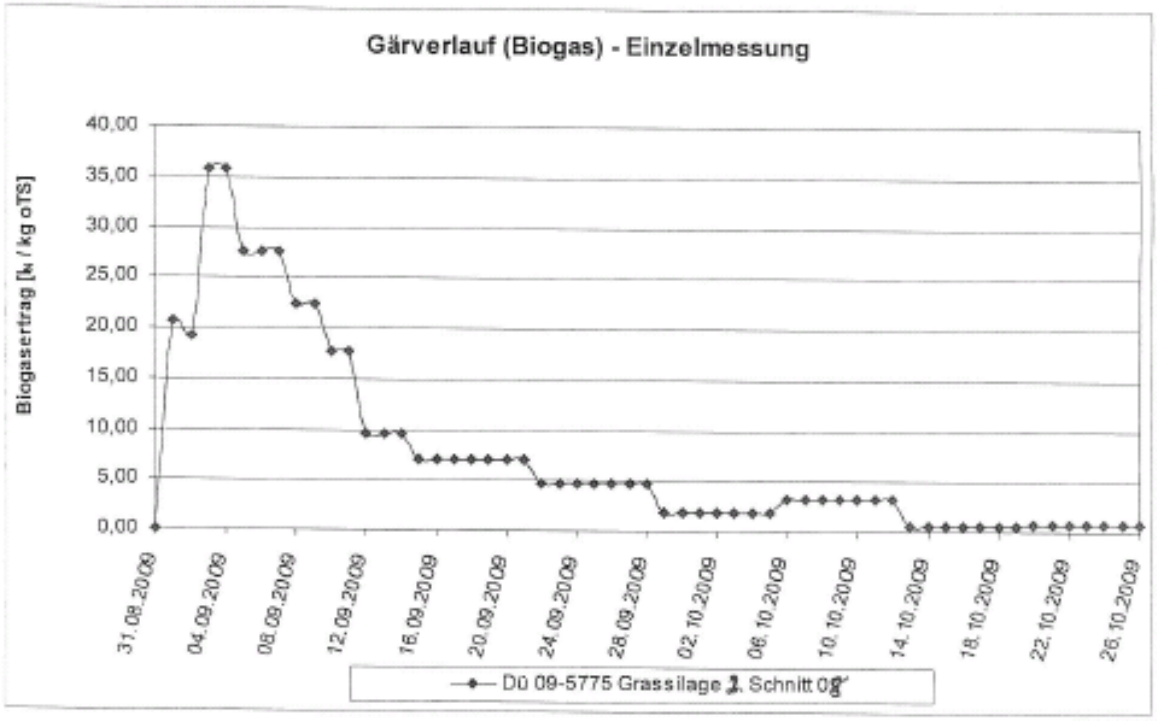


**Abb. 22: Grassilage vom 27.07.2009 – Gärverlauf (Biogas) – Einzelmessung und Summenkurve**



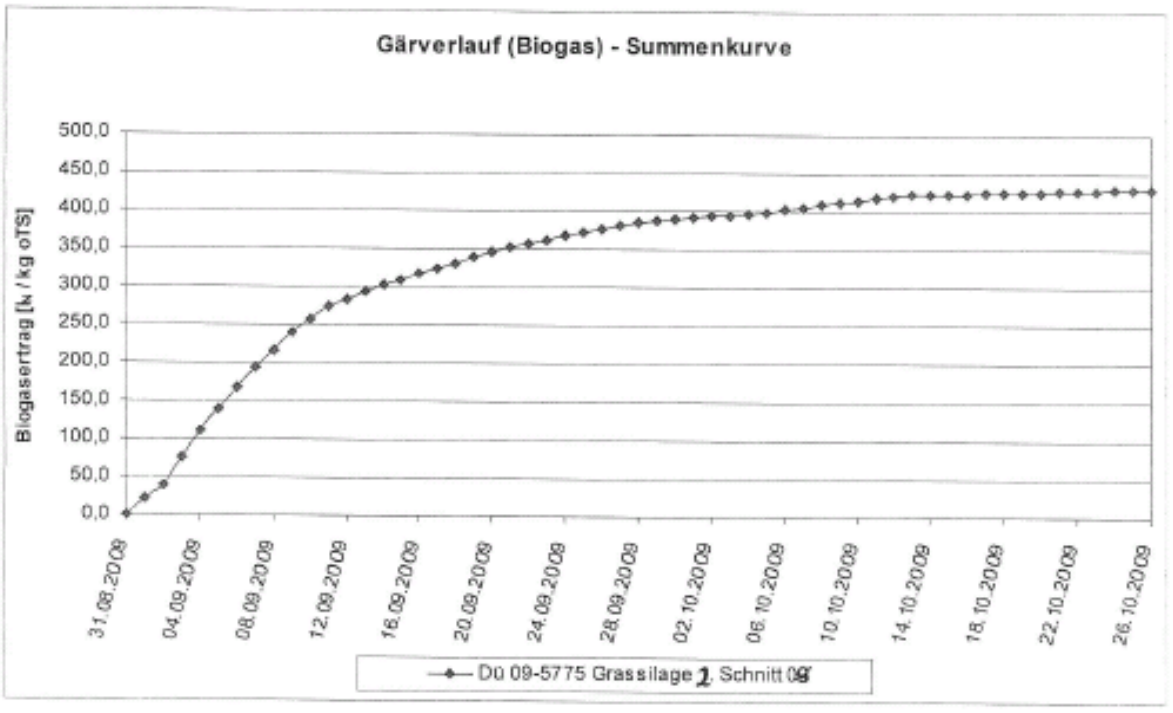
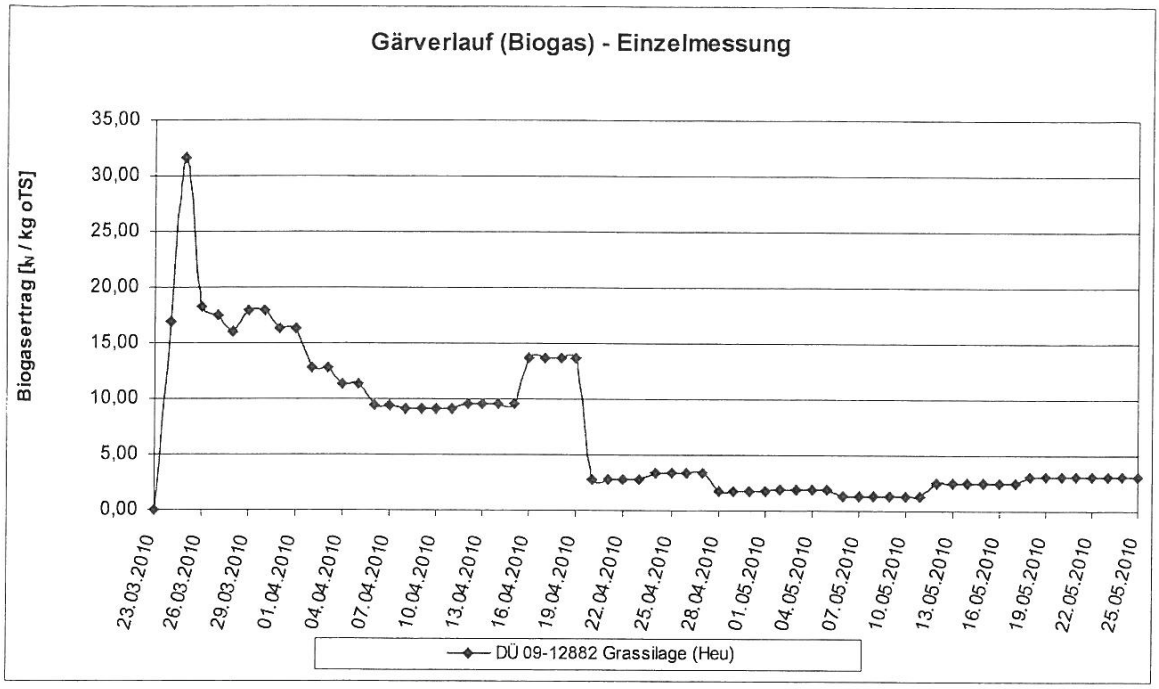



**Abb. 23: Grassilage vom 29.10.2009 – Gärverlauf (Biogas) – Einzelmessung und Summenkurve**



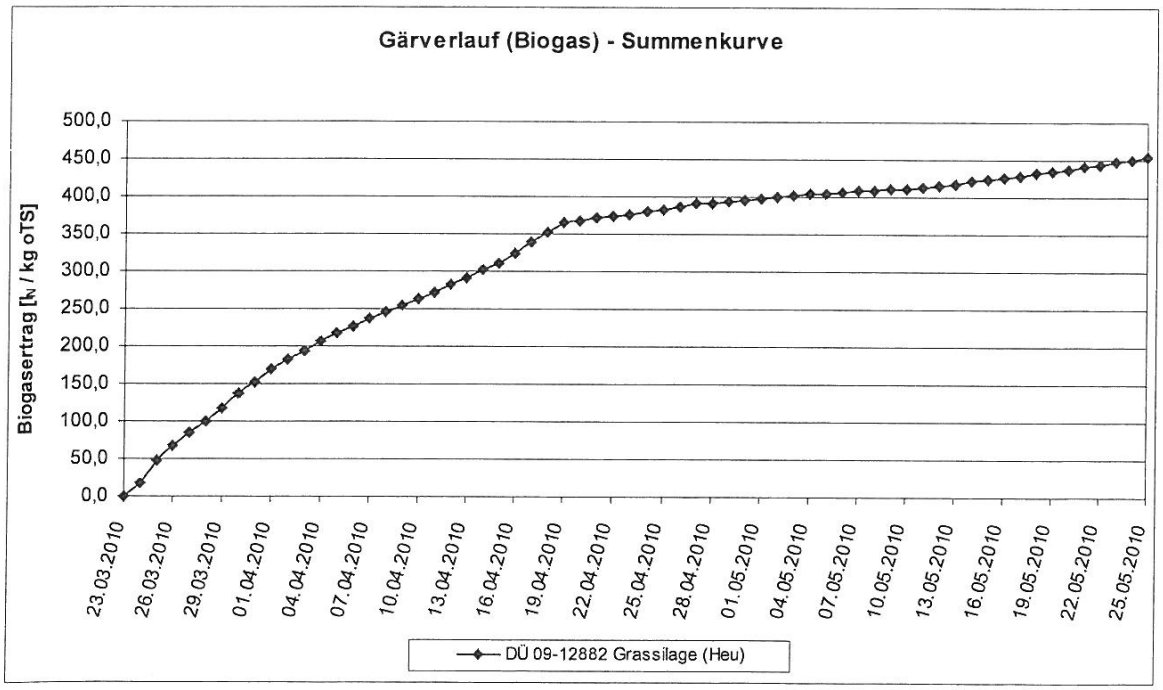
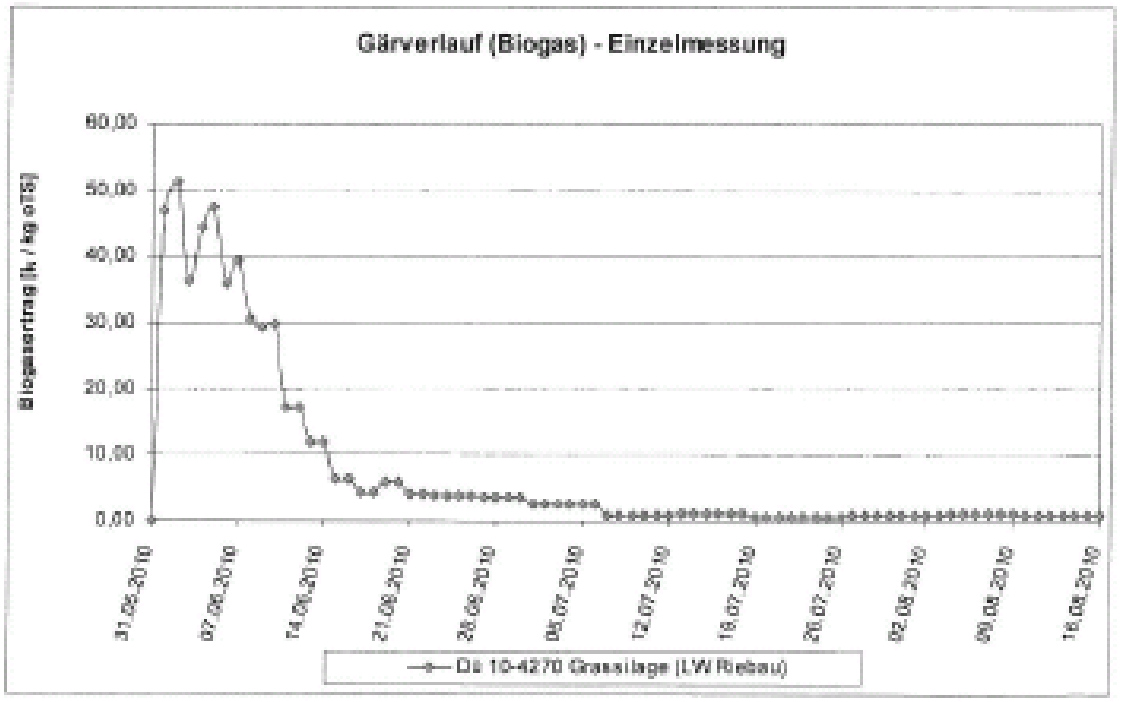



**Abb. 24: Grassilage vom 25.05.2010 – Gärverlauf (Biogas) – Einzelmessung und Summenkurve**



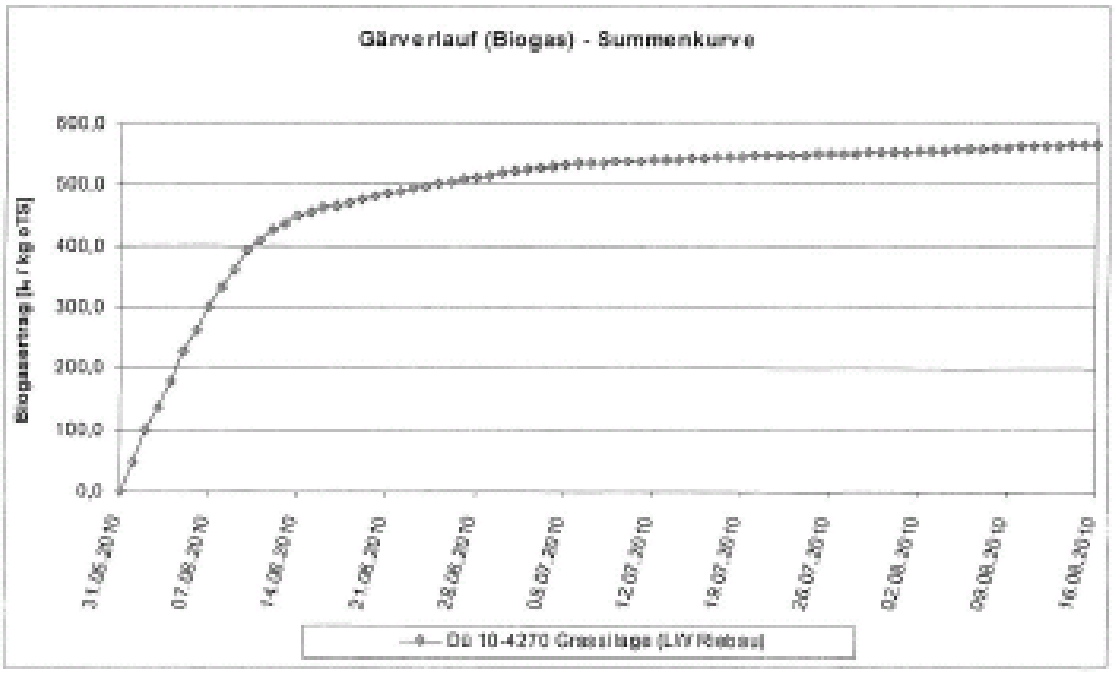
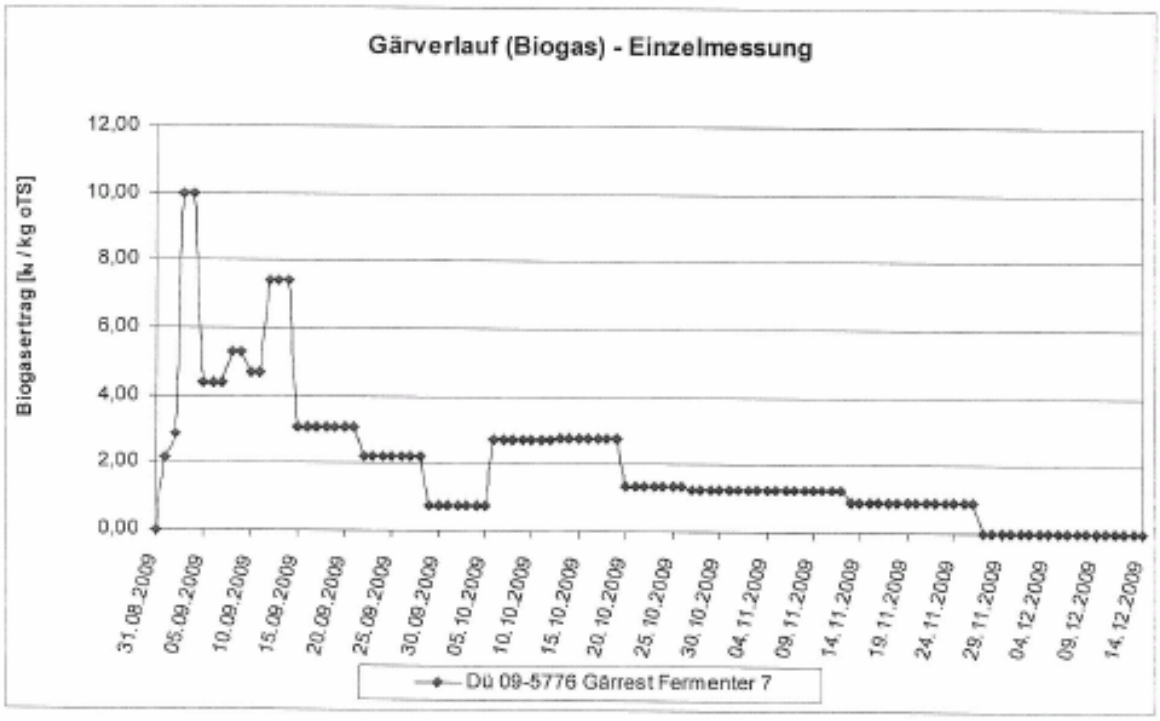



**Abb. 25: Gärrest vom 27.07.2009 – Gärverlauf (Biogas) – Einzelmessung und Summenkurve**



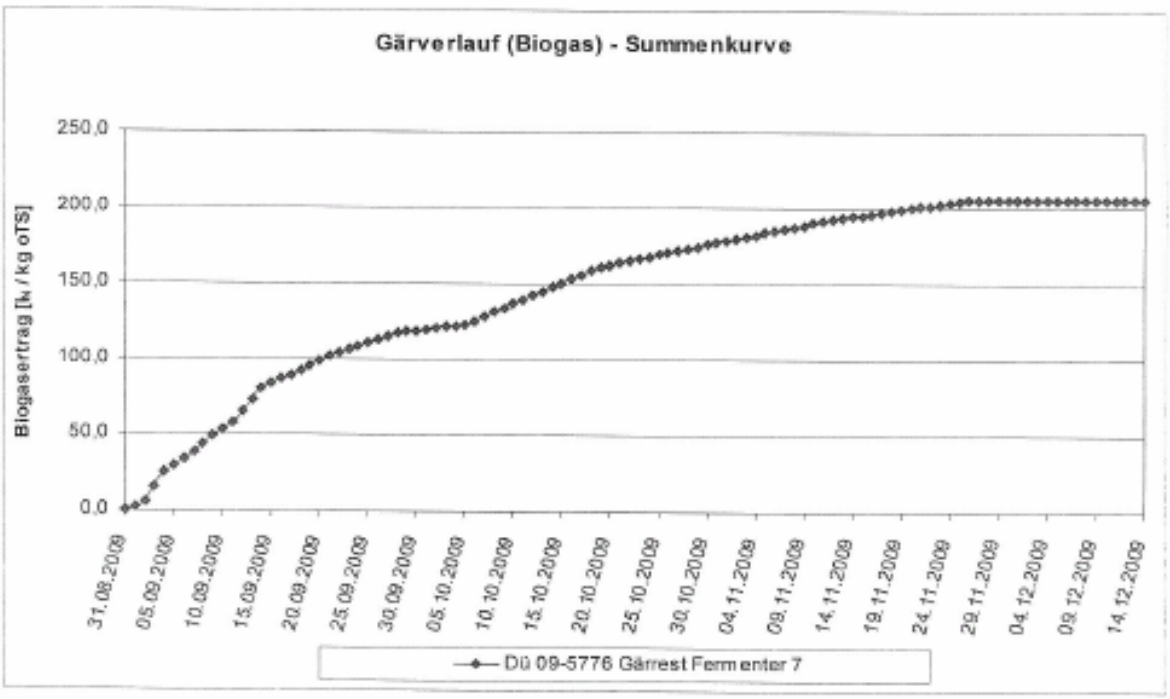
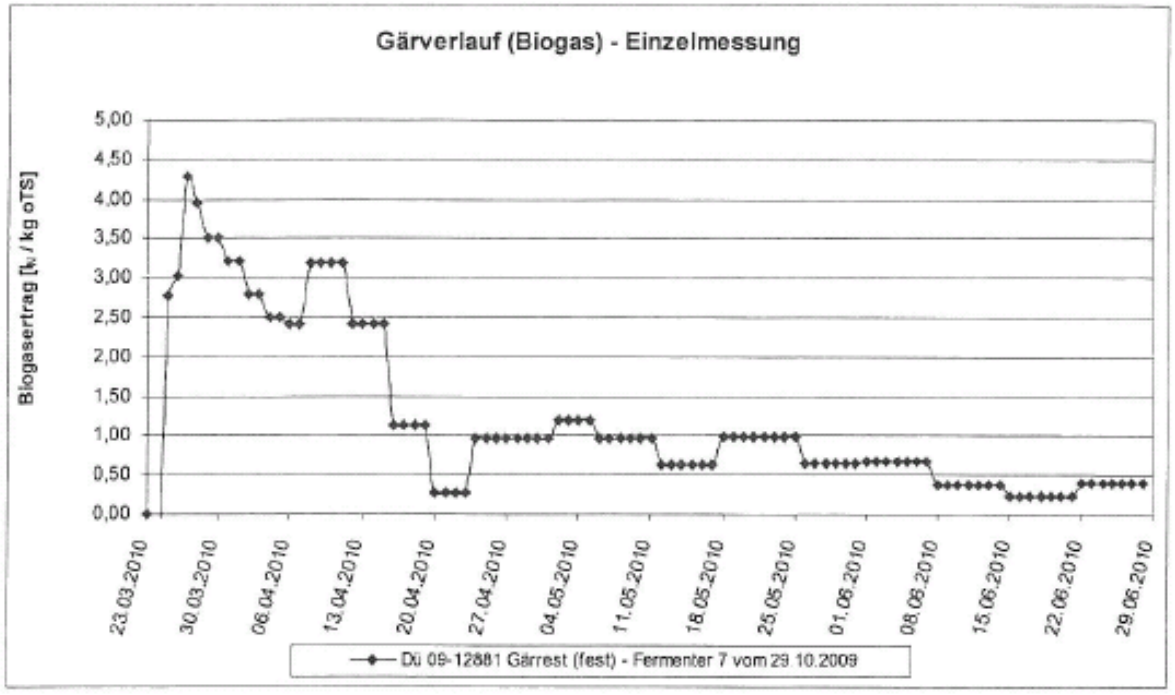
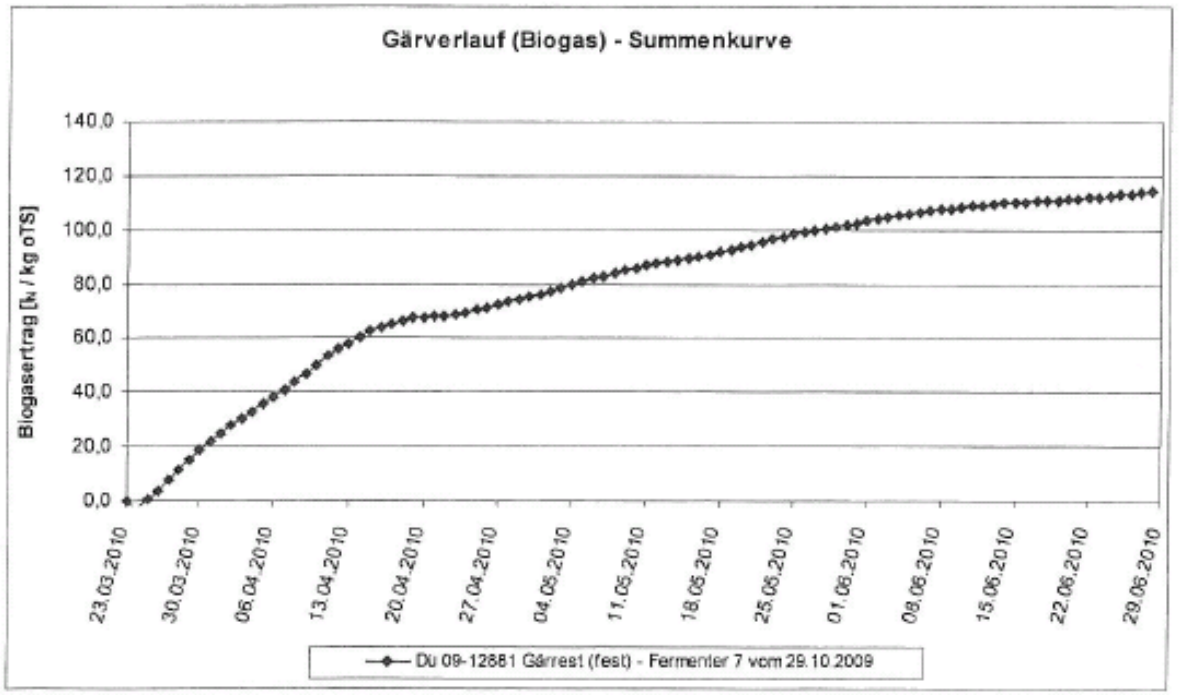



**Abb. 26: Gärrest vom 29.10-2010 – Gärverlauf (Biogas) – Einzelmessung und Summenkurve**



## 14.5. Anhang – Tabellen

**Anhangtabelle 1-1:** Sensorische Bewertung von Grobfuttermitteln nach Steinhöfel et at. 2007, 53 - 56).

| Eigenschaft | sensorischer Befund | Punkt-abzug |
|---|---|---|
| Geruch **Allgemein** | arteigener Geruch | 0 |
| | frischer Geruch | 0 |
| | angenehm würziger Geruch | 0 |
| | angenehm saurer Geruch/kein Essig- oder Buttersäuregeruch | 0 |
| | angenehm säuerlicher Geruch/kein Essig- oder Buttersäuregeruch | 0 |
| | angenehm tabakartiger Geruch/kein Essig- oder Buttersäuregeruch | 0 |
| Geruch **Buttersäure** | kein Buttersäuregeruch wahrnehmbar | 0 |
| | leichter Buttersäuregeruch wahrnehmbar | 20 |
| | starker Buttersäuregeruch wahrnehmbar | 80 |
| | sehr starker Buttersäuregeruch wahrnehmbar | 100 |
| Geruch **Essigsäure** | kein Essigsäuregeruch wahrnehmbar | 0 |
| | schwacher Essigsäuregeruch wahrnehmbar | 15 |
| | stechender Essigsäuregeruch wahrnehmbar | 50 |
| | stark stechender Essigsäuregeruch wahrnehmbar | 80 |
| Geruch **Hitze-schädigung** | kein Röstgeruch wahrnehmbar/arteigene Färbung | 0 |
| | Röstgeruch wahrnehmbar/bräunliche nicht arteigene Färbung | 20 |
| | Röstgeruch wahrnehmbar/braune nicht arteigene Färbung | 30 |
| | stark röst- bis kaffeeartiger Geruch/dunkelbraune Färbung | 50 |
| Geruch **Ammoniak** | Kein Ammoniakgeruch wahrnehmbar | 0 |
| | Ammoniakgeruch schwach wahrnehmbar | 20 |
| | Ammoniakgeruch deutlich wahrnehmbar | 50 |
| | Ammoniakgeruch sehr stark wahrnehmbar | 80 |
| Geruch **Verderbnis** | untypischer nicht arteigener Geruch | 40 |
| | leicht muffiger Geruch | 40 |
| | deutlich muffiger Geruch | 70 |
| | stark muffiger Geruch | 100 |
| | unangenehm erdiger bis kompostartiger Geruch | 100 |
| | fäkalienartiger Geruch | 100 |
| **Farbe** | arteigene Färbung | 0 |
| | grünliche Färbung | 0 |
| | grünliche Färbung/leicht vergilbt | 5 |
| | grünliche Färbung/stark vergilbt | 10 |
| | grünliche bis gelbe Färbung | 0 |
| | grünliche bis braune Färbung | 0 |
| | grüne bis dunkelgrüne Färbung | 20 |
| | gelbliche Färbung | 0 |
| | gelbliche bis braune Färbung | 10 |
| | bräunliche Färbung | 15 |
| | braune bis dunkelbraune Färbung | 20 |
| | dunkelbraune bis schwarze Färbung | 30 |
| | schwarze Färbung | 100 |
| | graue Färbung | 20 |
| | rötliche Färbung | 20 |
| | unnatürliche Verfärbungen | 50 |

**Anhangtabelle 1-2:** Sensorische Bewertung von Grobfuttermitteln nach Steinhöfel et at. 2007, 53 - 56)

| Eigenschaft | sensorischer Befund | Punkt-abzug |
|---|---|---|
| **Verderbnis-anzeichen** | keine Verderbnisanzeichen<br>leichte Verderbnisanzeichen<br>deutliche Verderbnisanzeichen | 0<br>20<br>80 |
| | frei von Schimmel<br>geringer Anteil von Schimmelnestern<br>deutlicher Anteil von Schimmelnestern<br>stark verschimmelte Probe | 0<br>40<br>80<br>100 |
| **Verunreini-gungen** | keine Verunreinigung wahrnehmbar<br>geringe Verunreinigung wahrnehmbar<br>deutliche Verunreinigung wahrnehmbar<br>starke Verunreinigung wahrnehmbar | 0<br>10<br>30<br>80 |
| **Gefüge** | intaktes Gefüge der Stängel und Blätter<br>leicht gestörtes Gefüge der Stängel und Blätter<br>stark gestörtes Gefüge der Stängel und Blätter<br>schmierig bis schleimiges Gefüge | 0<br>10<br>60<br>100 |
| **Häckselquali-tät** | sehr gute Häckselqualität<br>gute Häckselqualität<br>mäßige Häckselqualität<br>schlechte Häckselqualität | ---<br>---<br>---<br>--- |

**Anhangtabelle 2:**

**Höchstgehalte an unerwünschten Stoffen in Grassilage nach FuttMV,** Auszug

Die aufgeführten Gehalte an unerwünschten Stoffen beziehen sich auf Futtermittel mit **88 v. H. Trockenmasse**. Die Gehalte werden, soweit Dioxine betroffen sind, in **Nanogramm TEQ je Kilogramm**, im Übrigen in **Milligramm je Kilogramm** angegeben.

| unerwünschter Stoff | Futtermittel | Höchstgehalt (siehe Vorbemerkung) |
|---|---|---|
| **Arsen** (Gesamtarsengehalt) | Einzelfuttermittel | 2 |
| **Blei** | Grünfutter einschließlich weitere zur Fütterung bestimmte Erzeugnisse wie Heu, Silage und frisches Gras | 30 |
| **Quecksilber** (Gesamtquecksilbergehalt) | Einzelfuttermittel | 0,1 |
| **Cadmium** | Einzelfuttermittel pflanzlichen Ursprung | 1 |
| **Dioxin** Summe aus polychlorierten Dibenzo-para-dioxinen (PCDD) und polychlorierten Dibenzofuranen (PCDF), ausgedrückt in Toxizitätsquivalenten (TEQ) der WHO unter Verwendung der WHO-TEF (1997 12) (PCDD/F 11) | Einzelfuttermittel pflanzlichen Ursprung | 0,75<br>Aktionswert[12]<br>0,50 |
| **Summe der Dioxine und dioxinähnlichen PCB** Summe aus polychlorierten Dibenzo-para-dioxinen (PCDD) und polychlorierten Dibenzofuranen (PCDF) und polychlorierten Biphenylen (PCB), ausgedrückt in Toxizitätsquivalenten (TEQ) der WHO unter Verwendung der WHO-TEF (1997 12) (PCDD/F 11) | Einzelfuttermittel pflanzlichen Ursprung | 1,25 |
| **Dioxinähnliche PCB** Summe aus polychlorierten Biphenylen (PCB), ausgedrückt in Toxizitätsquivalenten (TEQ) der WHO unter Verwendung der WHO-TEF (1997 12) (PCDD/F 11) | Einzelfuttermittel pflanzlichen Ursprung | kein Höchstgehalt<br>Aktionswert<br>0,35 |

[12] Bei der Überschreitung des Aktionswertes sind die Ursachen zu ermitteln.

**Anhangtabelle: 3-1: Gärphase, Menge an Grassilage, organische Trockenmasse, Biogasertrag, Methanertrag, Herkunft der Grassilagen**

| Kalenderjahr | Jahr | 2009 | 2009 | 2009 | 2009 | 2009 | 2009 | 2009 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Gärprozess | Zeitabschnitt | 18.05.-15.06. | 16.06.-09.07. | 10.07.-27.07. | 28.07.-16.08. | 17.08.-01.09. | 02.09.-21.09. | 22.09.-08.10. |
| Dauer der Gärphase | Tage | 28 | 24 | 18 | 20 | 16 | 20 | 17 |
| Grassilage zugeführt | t FM | 100,82 | 86,37 | 47,08 | 46,05 | 35,19 | 55,98 | 44,59 |
| TS-Gehalt (gew. arth. Mittel) | % | 29,9 | 31,69 | 38,12 | 40,11 | 46,9 | 49,0 | 49 |
| Grassilage zugeführt (32% TS) | t FM | 94,2 | 85,53 | 56,08 | 57,72 | 51,58 | 85,72 | 68,28 |
| TM Grassilage | t TM | 30,15 | 27,37 | 17,95 | 18,47 | 16,5 | 27,43 | 21,85 |
| davon oTM (88% in TM) | t TM org. | 26,53 | 24,09 | 15,8 | 16,25 | 14,52 | 24,14 | 19,23 |
| Biogasmenge (Gärphase) | $m^3$ | 15.827,60 | 12.227,50 | 8.878,60 | 11.089,60 | 9.580,90 | 12.012,00 | 10.210,20 |
| Tagesmenge - Biogas | $m^3/d$ | 565,3 | 509,5 | 493,3 | 554,5 | 598,8 | 600,6 | 600,6 |
| Biogas $m^3$ pro t FM (32% TS) | $m^3$ | 168,02 | 142,96 | 158,32 | 192,13 | 185,75 | 140,13 | 149,53 |
| Biogas in $l_N$ pro kg oTM | Liter | 596,59 | 507,58 | 561,94 | 682,44 | 659,84 | 497,6 | 530,95 |
| Methangehalt ($CH_4$) | % | 50,0 | 50,8 | 50,5 | 51,3 | 49,8 | 50,0 | 50,0 |
| Methanertrag (Gärphase) | $m^3$ | 7.913,80 | 6.211,57 | 4.483,69 | 5.688,96 | 4.771,29 | 6.006,00 | 5.105,10 |
| Methanertrag pro Tag | $m^3$ | 282,64 | 258,82 | 249,09 | 284,45 | 298,21 | 300,3 | 300,3 |
| $CH_4$ in $l_N$ pro kg oTM | Liter | 298,30 | 257,85 | 283,78 | 350,09 | 328,60 | 248,80 | 265,48 |
| $CH_4$ in $m^3$ pro t FM (32% TS) | $m^3$ | 84,01 | 72,62 | 79,95 | 98,56 | 92,5 | 70,07 | 74,77 |
| Herkunft der Grassilagen und wertgebende Angaben | | Grippel 100,82 t FM TS 29,9% 2. Schnitt 2007 | Grippel 100,82 t FM TS 29,9% 2. Schnitt 2007<br>Wussegel 18,83 t FM TS 38,12% 2. Schnitt 2008 | Wussegel 18,83 t FM TS 38,12% 2. Schnitt 2008 | Wussegel 35,57 t FM TS 38,12% 2. Schnitt 2008<br>Wussegel 10,48 t FM TS 46,90% 1. Schnitt 2009 | Wussegel 35,19 t FM TS 46,90% 1. Schnitt 2009 | Wussegel 55,98 t FM TS 49,0% 1. Schnitt 2009<br>In der Zeit vom 02.09. bis 08.10. ist die Messtechnik zur Erfassung der Biogasmengen ausgefallen. Daher wurden als Biogasmenge 78% vom Tageszielwert (770 cbm) angehalten. | Wussegel 55,98 t FM TS 49,0% 1. Schnitt 2009 |

**Anhangtabelle: 3-2: Gärphase, Menge an Grassilage, organische Trockenmasse, Biogasertrag, Methanertrag, Herkunft der Grassilagen**

| Kalenderjahr | Jahr | 2009 | 2009 | 2009 | 2009/10 | 2010 | 2010 | 2010 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Gärprozess | Zeitabschnitt | 09.10.-28.10. | 29.10.-22.11. | 23.11.-16.12. | 17.12.-14.01. | 15.01.-10.02. | 11.02.-07.03. | 08.03.-31.03. |
| Dauer der Gärphase | Tage | 20 | 25 | 24 | 29 | 27 | 25 | 24 |
| Grassilage zugeführt | t FM | 29,91 | 61,12 | 74,53 | 78,69 | 74,9 | 62,30 | 65,79 |
| TS-Gehalt (gew. arth. Mittel) | % | 76,1 | 52,36 | 51,81 | 51,82 | 51,52 | 43,14 | 42,64 |
| Grassilage zugeführt (32% TS) | t FM | 71,13 | 100,01 | 120,67 | 127,43 | 120,59 | 83,99 | 87,67 |
| TM Grassilage | t TM | 22,76 | 32,00 | 38,61 | 40,78 | 38,59 | 26,88 | 28,05 |
| davon oTM (88% in TM) | t TM org. | 20,03 | 28,16 | 33,98 | 35,89 | 33,96 | 23,65 | 24,68 |
| Biogasmenge (Gärphase) | $m^3$ | 9.917,10 | 13.471,50 | 14.090,70 | 17.213,90 | 15.955,80 | 15.247,90 | 14.493,30 |
| Tagesmenge - Biogas | $m^3$ | 495,9 | 538,9 | 587,1 | 593,6 | 591 | 609,9 | 603,9 |
| Biogas $m^3$ pro t FM (32% TS) | $m^3$ | 139,42 | 134,7 | 116,77 | 135,09 | 132,31 | 181,54 | 165,32 |
| Biogas in $l_N$ pro kg oTM | Liter | 495,11 | 478,39 | 414,68 | 479,63 | 469,84 | 644,73 | 587,25 |
| Methangehalt ($CH_4$) | % | 49,9 | 48,8 | 50,0 | 48,3 | 47,6 | 46,4 | 47,2 |
| Methanertrag (Gärphase) | $m^3$ | 4.948,63 | 6.574,09 | 7.045,35 | 8.314,31 | 7.594,96 | 7.075,03 | 6.840,84 |
| Methanertrag pro Tag | $m^3$ | 247,43 | 262,96 | 293,56 | 286,7 | 281,29 | 283 | 285,04 |
| $CH_4$ in $l_N$ pro kg oTM | Liter | 247,06 | 233,45 | 207,34 | 231,66 | 223,64 | 299,16 | 277,18 |
| $CH_4$ in $m^3$ pro t FM (32% TS) | $m^3$ | 69,57 | 65,73 | 58,39 | 65,25 | 62,98 | 84,24 | 78,03 |
| Herkunft der Grassilagen und wertgebende Angaben | | Jasebeck 29,91 t FM TS 76,1% 1. Schnitt 2009 | Jasebeck 8,87 t FM TS 76,1% 1. Schnitt 2009<br>Wehningen 52,25 t FM TS 48,33% 1. Schnitt 2009 | Jasebeck 9,33 t FM TS 76,1% 1. Schnitt 2009<br>Wehningen 65,20 t FM TS 48,33% 1. Schnitt 2009 | Jasebeck 9,88 t FM TS 76,1% 1. Schnitt 2009<br>Wehningen 68,81 t FM TS 48,33% 1. Schnitt 2009 | Jasebeck 8,65 t FM TS 76,1% 1. Schnitt 2009<br>Wehningen 66,25 t FM TS 48,33% 1. Schnitt 2009 | Jasebeck 10,20 t FM TS 76,1% 1. Schnitt 2009<br>Wehningen 52,10 t FM TS 36,69% 1. Schnitt 2009 | Jasebeck 9,92 t FM TS 76,1% 1. Schnitt 2009<br>Wehningen 55,87 t FM TS 36,69% 1. Schnitt 2009 |

**Anhangtabelle: 3-3: Gärphase, Menge an Grassilage, organische Trockenmasse, Biogasertrag, Methanertrag, Herkunft der Grassilagen**

| Kalenderjahr | Jahr | 2010 | 2010 | 2010 | 2010 | 2010 | 2010 | 2010 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Gärprozess | Zeitabschnitt | 01.04.-25.04. | 26.04.-24.05. | 25.05.-17.06. | 18.06.-19.07. | 20.07.-15.08. | 16.08.-05.09. | 06.09.-28.09. |
| Dauer der Gärphase | Tage | 25 | 29 | 24 | 32 | 27 | 21 | 23 |
| Grassilage zugeführt | t FM | 66,95 | 88,13 | 77,45 | 110,96 | 70,75 | 83,84 | 105,60 |
| TS-Gehalt (gew. arth. Mittel) | % | 42,82 | 41,54 | 39,95 | 33,31 | 31,62 | 35,39 | 31,6 |
| Grassilage zugeführt (32% TS) | t FM | 89,59 | 114,4 | 96,69 | 115,5 | 69,91 | 92,72 | 104,28 |
| TM Grassilage | t TM | 28,67 | 36,61 | 30,94 | 36,96 | 22,37 | 29,67 | 33,37 |
| davon oTM (88% in TM) | t TM org. | 25,23 | 32,22 | 27,23 | 32,52 | 19,69 | 26,11 | 29,37 |
| Biogasmenge (Gärphase) | $m^3$ | 16.300,80 | 16.821,50 | 14.702,80 | 15.328,50 | 16.077,30 | 12.362,70 | 13.802,10 |
| Tagesmenge - Biogas | $m^3$ | 652 | 580,1 | 612,6 | 479 | 595,5 | 588,7 | 600,1 |
| Biogas $m^3$ pro t FM (32% TS) | $m^3$ | 181,95 | 147,04 | 152,06 | 132,71 | 229,97 | 133,33 | 132,36 |
| Biogas in $l_N$ pro kg oTM | Liter | 646,09 | 522,08 | 539,95 | 471,36 | 816,52 | 473,49 | 469,94 |
| Methangehalt ($CH_4$) | % | 49,1 | 50,0 | 53,0 | 47,1 | 48,4 | 48,3 | 48,4 |
| Methanertrag (Gärphase) | $m^3$ | 8.003,69 | 8.410,75 | 7.792,48 | 7.219,72 | 7.781,41 | 5.971,18 | 6.680,22 |
| Methanertrag pro Tag | $m^3$ | 320,15 | 290,03 | 324,69 | 225,62 | 288,2 | 284,34 | 290,44 |
| $CH_4$ in $l_N$ pro kg oTM | Liter | 317,23 | 261,04 | 286,17 | 222,01 | 395,20 | 228,69 | 227,45 |
| $CH_4$ in $m^3$ pro t FM (32% TS) | $m^3$ | 89,34 | 73,52 | 80,59 | 62,51 | 111,31 | 64,4 | 64,06 |
| Herkunft der Grassilagen und wertgebende Angaben | | Jasebeck 9,08 t FM TS 76,1% 1. Schnitt 2009<br>Damnatz 57,87 t FM TS 37,6% 1. Schnitt 2009 | Jasebeck 10,047 t FM TS 76,1% 1. Schnitt 2009<br>Damnatz 88,13 t FM TS 37,6% 1. Schnitt 2009 | Jasebeck 12,88 t FM TS 76,1% 1. Schnitt 2009<br>Damnatz 24,29 t FM TS 37,6% 1. Schnitt 2009<br>Grippel 40,28 t FM TS 29,8% 1. Schnitt 2009 | Jasebeck 6,78 t FM TS 62,6% 1. Schnitt 2009<br>Grippel 92,51 t FM TS 29,8% 1. Schnitt 2009<br>Grippel 11,67 t FM TS 44,2% 2. Schnitt 2009 | Jasebeck 7,66 t FM TS 64,7% 1. Schnitt 2009<br>Grippel 63,09 t FM TS 27,6% 1. Schnitt 2009 | Jasebeck 17,6 t FM TS 64,7% 1. Schnitt 2009<br>Grippel 66,24 t FM TS 27,6% 1. Schnitt 2009 | Jasebeck 17,98 t FM TS 64,7% 1. Schnitt 2009<br>Grippel 87,62 t FM TS 24,8% 2. Schnitt 2010 |

**Anhangtabelle: 3-4: Gärphase, Menge an Grassilage, organische Trockenmasse, Biogasertrag, Methanertrag, Herkunft der Grassilagen**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Dauer der Gärphase | Tage | 22 | **520** |
| Grassilage zugeführt | t FM | 98,03 | **1.565,03** |
| TS-Gehalt (gew. arth. Mittel) | % | 30,47 | **40,63** |
| Grassilage zugeführt (32% TS) | t FM | 93,34 | **1.987,03** |
| TM Grassilage | t TM | 29,87 | **635,85** |
| davon oTM (88% in TM) | t TM org. | 26,29 | **559,57** |
| Biogasmenge (Gärphase) | $m^3$ | 12.324,20 | **297.936,50** |
| Tagesmenge - Biogas | $m^3$ | 560,2 | **573** |
| Biogas $m^3$ pro t FM (32% TS) | $m^3$ | 132,04 | **149,94** |
| Biogas in $l_N$ pro kg oTM | Liter | 468,78 | **532,44** |
| Methangehalt ($CH_4$) | % | 43,9 | **48,95** |
| Methanertrag (Gärphase) | $m^3$ | 5.410,32 | **145.843,39** |
| Methanertrag pro Tag | $m^3$ | 245,92 | **280,47** |
| $CH_4$ in $l_N$ pro kg oTM | Liter | 205,79 | **260,63** |
| $CH_4$ in $m^3$ pro t FM (32% TS) | $m^3$ | 57,96 | **73,4** |
| Herkunft der Grassilagen und wertgebende Angaben | | Jasebeck<br>9,08 t FM<br>TS 76,1%<br>1. Schnitt 2009<br><br>Grippel<br>66,24 t FM<br>TS 27,6%<br>1. Schnitt 2009 | |

**Anhangtabelle 4-1: Fermenter 1 – Aufzeichnung der Parameter bei der Biogasproduktion vom 18.05.200 bis 20.10.2010**

| Verweilzeit | | | Fermenter 1 | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Beginn | Ende | Tage | GAS: **Gesamtmenge** $m^3$ | GAS: **$m^3$/d** | GAS: **$m^3$/h** | Druck: **mbar** | **$CO_2$**: Vol.-% | **$O_2$**: Vol.-% | **$CH_4$**: Vol.-% | **Wasser-dampf, $N_2$, etc.**: Vol.-% | **$H_2S$**: ppm | **$H_2S$**: Vol.-% | **Tempe-ratur**: °C |
| 18.05.09 | 14.06.09 | 28 | 19.795,8 | 707,0 | 29,5 | | | | | | | | |
| 16.06.09 | 09.07.09 | 24 | 20.031,6 | 834,7 | 34,8 | -1,6 | 42,1 | 0,5 | 51,0 | 6,3 | 104,5 | 0,01 | 42,6 |
| 10.07.09 | 27.07.09 | 18 | 14.177,8 | 787,7 | 32,8 | -1,2 | 41,8 | 0,8 | 46,2 | 11,1 | 97,3 | 0,01 | 43,7 |
| 28.07.09 | 16.08.09 | 20 | 16.703,6 | 835,2 | 34,8 | -0,7 | 40,9 | 0,4 | 50,2 | 8,4 | 98,4 | 0,01 | 43,6 |
| 17.08.09 | 01.09.09 | 16 | 13.479,5 | 842,5 | 35,1 | -0,3 | 39,9 | 0,7 | 53,0 | 6,3 | 59,1 | 0,01 | 43,2 |
| 02.09.09 | 21.09.09 | 20 | Ausfall der Messung nach einer technischen Störung mit dem Aufzeichnungsrechner. | | | | | | | | | | |
| 22.09.09 | 08.10.09 | 17 | Ausfall der Messung nach einer technischen Störung mit dem Aufzeichnungsrechner. | | | | | | | | | | |
| 09.10.09 | 28.10.09 | 20 | 14.367,6 | 718,4 | 29,9 | -1,4 | 44,2 | 0,7 | 47,7 | 7,3 | 190,9 | 0,02 | 42,9 |
| 29.10.09 | 22.11.09 | 25 | 20.516,6 | 820,7 | 34,2 | -1,9 | 42,4 | 0,5 | 50,6 | 6,4 | 187,5 | 0,02 | 42,5 |
| 23.11.09 | 16.12.09 | 24 | 17.900,3 | 745,8 | 31,1 | -1,9 | 43,8 | 0,5 | 49,0 | 6,6 | 210,9 | 0,02 | 41,5 |
| 17.12.09 | 14.01.10 | 29 | 20.994,5 | 723,9 | 30,2 | -1,7 | 43,5 | 0,5 | 48,4 | 7,5 | 205,7 | 0,02 | 41,2 |
| 15.01.10 | 10.02.10 | 27 | 21.903,6 | 811,2 | 33,8 | -1,2 | 42,2 | 0,5 | 49,4 | 7,8 | 428,6 | 0,04 | 37,9 |
| 11.02.10 | 07.03.10 | 25 | 21.308,7 | 852,3 | 35,5 | -1,2 | 40,5 | 0,6 | 50,0 | 8,8 | 187,6 | 0,02 | 39,1 |
| 08.03.10 | 31.03.10 | 24 | 19.957,0 | 831,5 | 34,6 | -1,3 | 41,7 | 0,6 | 49,6 | 8,0 | 147,8 | 0,01 | 41,4 |
| 01.04.10 | 25.04.10 | 25 | 19.928,6 | 797,1 | 33,2 | -0,8 | 41,2 | 0,6 | 50,1 | 8,0 | 265,8 | 0,03 | 41,4 |
| 26.04.10 | 24.05.10 | 29 | 25.917,7 | 893,7 | 37,2 | Ausfall der Messung nach einer technischen Störung mit dem Aufzeichn. | | | | | | | |
| 25.05.10 | 17.06.10 | 24 | 21.532,0 | 897,2 | 37,4 | -0,4 | 43,5 | 0,7 | 47,2 | 8,5 | 124 | 0,01 | 43,0 |
| 18.06.10 | 19.07.10 | 32 | 28.470,0 | 889,7 | 37,1 | -0,2 | 43,7 | 0,8 | 48,8 | 6,6 | 106,9 | 0,01 | 43,5 |
| 20.07.10 | 15.08.10 | 27 | 24.542,9 | 909,0 | 37,9 | 0,0 | 43,9 | 0,4 | 49,6 | 6,0 | 120,9 | 0,01 | 44,3 |
| 16.08.10 | 05.09.10 | 21 | 20.899,8 | 995,2 | 41,5 | -0,2 | 42,3 | 0,0 | 55,2 | 2,4 | 141,8 | 0,01 | 45,0 |
| 06.09.10 | 28.09.10 | 23 | 19.213,4 | 835,4 | 34,8 | -0,5 | 42,9 | 0,5 | 51,0 | 5,5 | 135,2 | 0,01 | 43,8 |
| 29.09.10 | 20.10.10 | 22 | 21.839,1 | 992,7 | 41,4 | -0,6 | 42,1 | 0,6 | 49,7 | 7,5 | 147,8 | 0,01 | 42,1 |
| Wechselintervalle | | | Summe | gewog. Mittelwerte | | Mittelwerte | | | | | | | |
| | 22 | | 403.480,0 | 835,4 | 34,8 | -1,0 | 42,4 | 0,6 | 49,8 | 7,2 | 164,5 | 0,02 | 42,4 |
| Tage insgesamt | | 520 | | Bezugsgröße 770 m3/d | | *Mittelwerte von 120 Biogasanlagen mit nachwachsenden Rohstoffen* | | | | | | | |
| Tage an Meßwerten | | | 483 | **108,5%** | | | *43,6* | *0,9* | *50,6* | *4,8* | *130,0* | | |

**Anhangtabelle 4-2: Fermenter 2 – Aufzeichnung der Parameter bei der Biogasproduktion vom 18.05.200 bis 20.10.2010**

| Verweilzeit | | | Fermenter 2 | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Beginn | Ende | Tage | GAS: **Gesamtmenge** $m^3$ | GAS: **$m^3$/d** | GAS: **$m^3$/h** | Druck: **mbar** | **$CO_2$**: Vol.-% | **$O_2$**: Vol.-% | **$CH_4$**: Vol.-% | **Wasser-dampf, $N_2$, etc.**: Vol.-% | **$H_2S$**: ppm | **$H_2S$**: Vol.-% | **Tempe-ratur**: °C |
| 18.05.09 | 14.06.09 | 28 | 19.795,8 | 707,0 | 29,5 | | | | | | | | |
| 16.06.09 | 09.07.09 | 24 | 19.142,7 | 797,6 | 33,2 | -1,9 | 41,1 | 0,5 | 52,6 | 5,7 | 177,1 | 0,02 | 42,9 |
| 10.07.09 | 27.07.09 | 18 | 13.996,2 | 777,6 | 32,4 | -0,9 | 38,1 | 0,7 | 51,0 | 10,1 | 133,1 | 0,01 | 44,0 |
| 28.07.09 | 16.08.09 | 20 | 16.016,6 | 800,8 | 33,4 | -0,1 | 40,2 | 0,5 | 51,2 | 8,0 | 179,7 | 0,02 | 44,3 |
| 17.08.09 | 01.09.09 | 16 | 15.685,2 | 980,3 | 40,8 | 0,2 | 40,8 | 0,0 | 56,5 | 2,6 | 148,7 | 0,01 | 44,8 |
| 02.09.09 | 21.09.09 | 20 | Ausfall der Messung nach einer technischen Störung mit dem Aufzeichnungsrechner. | | | | | | | | | | |
| 22.09.09 | 08.10.09 | 17 | Ausfall der Messung nach einer technischen Störung mit dem Aufzeichnungsrechner. | | | | | | | | | | |
| 09.10.09 | 28.10.09 | 20 | 14.445,6 | 722,3 | 30,1 | -1,6 | 40,4 | 0,6 | 54,2 | 4,7 | 341,3 | 0,03 | 43,5 |
| 29.10.09 | 22.11.09 | 25 | 20.146,0 | 805,8 | 33,6 | -1,9 | 43,2 | 0,5 | 50,4 | 5,8 | 414,2 | 0,04 | 42,1 |
| 23.11.09 | 16.12.09 | 24 | 17.124,6 | 713,5 | 29,7 | -1,7 | 41,7 | 0,6 | 50,5 | 7,1 | 232,8 | 0,02 | 40,2 |
| 17.12.09 | 14.01.10 | 29 | 20.493,4 | 706,7 | 29,4 | -1,1 | 44,4 | 0,5 | 48,2 | 6,8 | 218,5 | 0,02 | 39,3 |
| 15.01.10 | 10.02.10 | 27 | 17.941,1 | 664,5 | 27,7 | -1,3 | 42,3 | 0,6 | 49,9 | 7,1 | 645,8 | 0,06 | 39,8 |
| 11.02.10 | 07.03.10 | 25 | 18.443,2 | 737,7 | 30,7 | -1,1 | 41,3 | 0,5 | 50,2 | 7,9 | 211,0 | 0,02 | 40,3 |
| 08.03.10 | 31.03.10 | 24 | 18.529,1 | 772,0 | 32,2 | -1,4 | 41,7 | 0,5 | 50,3 | 7,4 | 134,1 | 0,01 | 40,8 |
| 01.04.10 | 25.04.10 | 25 | 21.643,3 | 865,7 | 36,1 | -1,4 | 41,6 | 0,6 | 50,6 | 7,1 | 319,7 | 0,03 | 42,6 |
| 26.04.10 | 24.05.10 | 29 | 25.160,7 | 867,6 | 36,2 | Ausfall der Messung nach einer technischen Störung mit dem Aufzeichn. | | | | | | | |
| 25.05.10 | 17.06.10 | 24 | 19.712,4 | 821,4 | 34,2 | -1,4 | 44,5 | 0,6 | 48,9 | 5,9 | 228,7 | 0,02 | 43,3 |
| 18.06.10 | 19.07.10 | 32 | 30.767,5 | 961,5 | 40,1 | -1,5 | 43,1 | 0,4 | 52,1 | 4,3 | 142,2 | 0,01 | 44,8 |
| 20.07.10 | 15.08.10 | 27 | 25.330,0 | 938,1 | 39,1 | -1,6 | 44,6 | 0,5 | 49,2 | 5,6 | 130,2 | 0,01 | 45,0 |
| 16.08.10 | 05.09.10 | 21 | 19.439,9 | 925,7 | 38,6 | -2,0 | 43,5 | 0,5 | 50,1 | 5,8 | 88,8 | 0,01 | 45,0 |
| 06.09.10 | 28.09.10 | 23 | 20.873,5 | 907,5 | 37,8 | -1,9 | 42,9 | 0,6 | 49,1 | 7,3 | 67,3 | 0,01 | 43,7 |
| 29.09.10 | 20.10.10 | 22 | 20.607,9 | 936,7 | 39,0 | -1,3 | 42,6 | 0,7 | 49,5 | 7,1 | 92 | 0,01 | 42,3 |
| Wechselintervalle | | | Summe | gewog. Mittelwerte | | Mittelwerte | | | | | | | |
| | 22 | | 395.294,7 | 818,4 | 34,1 | -1,3 | 42,1 | 0,5 | 50,8 | 6,5 | 217,0 | 0,02 | 42,7 |
| Tage insgesamt | | 520 | | Bezugsgröße 770 m3/d | | *Mittelwerte von 120 Biogasanlagen mit nachwachsenden Rohstoffen* | | | | | | | |
| Tage an Meßwerten | | | 483 | **106,3%** | | | *43,6* | *0,9* | *50,6* | *4,8* | *130,0* | | |

**Anhangtabelle 4-3: Fermenter 3 – Aufzeichnung der Parameter bei der Biogasproduktion vom 18.05.200 bis 20.10.2010**

| Verweilzeit | | | Fermenter 3 | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Beginn | Ende | Tage | GAS: **Gesamtmenge** $m^3$ | GAS: **$m^3$/d** | GAS: **$m^3$/h** | Druck: **mbar** | **$CO_2$**: Vol.-% | **$O_2$**: Vol.-% | **$CH_4$**: Vol.-% | **Wasser-dampf, $N_2$, etc.**: Vol.-% | **$H_2S$**: ppm | **$H_2S$**: Vol.-% | **Tempe-ratur**: °C |
| 18.05.09 | 14.06.09 | 28 | 19.795,8 | 707,0 | 29,5 | | | | | | | | |
| 16.06.09 | 09.07.09 | 24 | 15.635,0 | 651,5 | 27,1 | -1,9 | 40,6 | 0,6 | 52,3 | 6,4 | 179,5 | 0,02 | 43,1 |
| 10.07.09 | 27.07.09 | 18 | 13.692,0 | 760,7 | 31,7 | -1,5 | 40,3 | 0,8 | 47,4 | 11,4 | 123,7 | 0,01 | 43,5 |
| 28.07.09 | 16.08.09 | 20 | 13.969,7 | 698,5 | 29,1 | -0,6 | 41,0 | 0,8 | 49,1 | 9 | 163,4 | 0,02 | 43,8 |
| 17.08.09 | 01.09.09 | 16 | 8.770,7 | 548,2 | 22,8 | -0,4 | 42,4 | 0,8 | 49,6 | 7,1 | 145,9 | 0,01 | 43,8 |
| 02.09.09 | 21.09.09 | 20 | Ausfall der Messung nach einer technischen Störung mit dem Aufzeichnungsrechner. | | | | | | | | | | |
| 22.09.09 | 08.10.09 | 17 | Ausfall der Messung nach einer technischen Störung mit dem Aufzeichnungsrechner. | | | | | | | | | | |
| 09.10.09 | 28.10.09 | 20 | 15.475,5 | 773,8 | 32,2 | -2,1 | 44,0 | 0,7 | 49,1 | 6,1 | 363,9 | 0,04 | 42,5 |
| 29.10.09 | 22.11.09 | 25 | 20.261,6 | 810,5 | 33,8 | -2,1 | 42,2 | 0,6 | 51,4 | 5,7 | 395,2 | 0,04 | 41,2 |
| 23.11.09 | 16.12.09 | 24 | 16.601,9 | 691,7 | 28,8 | -2,2 | 44,6 | 0,0 | 52,5 | 2,8 | 306,0 | 0,03 | 40,2 |
| 17.12.09 | 14.01.10 | 29 | 22.446,3 | 774,0 | 32,3 | -1,8 | 41,4 | 0,5 | 52,2 | 5,8 | 348,2 | 0,03 | 39,4 |
| 15.01.10 | 10.02.10 | 27 | 18.574,4 | 687,9 | 28,7 | -1,8 | 42,3 | 0,5 | 50,3 | 6,8 | 930,3 | 0,09 | 37,5 |
| 11.02.10 | 07.03.10 | 25 | 17.432,6 | 697,3 | 29,1 | -1,8 | 42,1 | 0,5 | 49,8 | 7,5 | 331,3 | 0,03 | 38,2 |
| 08.03.10 | 31.03.10 | 24 | 19.337,8 | 805,7 | 33,6 | -1,9 | 41,7 | 0,6 | 50,0 | 7,6 | 246,8 | 0,02 | 40,1 |
| 01.04.10 | 25.04.10 | 25 | 21.822,8 | 872,9 | 36,4 | -1,9 | 42,0 | 0,6 | 50,3 | 7,0 | 309,4 | 0,03 | 43,6 |
| 26.04.10 | 24.05.10 | 29 | 24.093,1 | 830,8 | 34,6 | Ausfall der Messung nach einer technischen Störung mit dem Aufzeichn. | | | | | | | |
| 25.05.10 | 17.06.10 | 24 | 22.220,2 | 925,8 | 38,6 | -2,0 | 44,5 | 1,0 | 48,4 | 6,0 | 278,5 | 0,03 | 42,0 |
| 18.06.10 | 19.07.10 | 32 | 34.216,3 | 1069,3 | 44,6 | -1,9 | 43,9 | 0,9 | 49,5 | 5,6 | 172,6 | 0,02 | 43,9 |
| 20.07.10 | 15.08.10 | 27 | 25.472,7 | 943,4 | 39,3 | -1,9 | 43,7 | 0,4 | 51,8 | 4,0 | 182,1 | 0,02 | 44,4 |
| 16.08.10 | 05.09.10 | 21 | 20.462,5 | 974,4 | 40,6 | -2,0 | 42,7 | 0,6 | 51,6 | 5,0 | 107,2 | 0,01 | 45,2 |
| 06.09.10 | 28.09.10 | 23 | 19.016,7 | 826,8 | 34,5 | -2,0 | 43,1 | 0,6 | 50,6 | 5,6 | 169,5 | 0,02 | 43,5 |
| 29.09.10 | 20.10.10 | 22 | 16.476,2 | 748,9 | 31,2 | -2,3 | 40,6 | 0,5 | 52,1 | 6,7 | 89,3 | 0,01 | 42,8 |
| Wechselintervalle | | | Summe | gewog. Mittelwerte | | Mittelwerte | | | | | | | |
| | 22 | | 385.773,7 | 798,7 | 33,3 | -1,8 | 42,4 | 0,6 | 50,4 | 6,5 | 269,0 | 0,03 | 42,2 |
| Tage insgesamt | | 520 | | Bezugsgröße 770 m3/d | | *Mittelwerte von 120 Biogasanlagen mit nachwachsenden Rohstoffen* | | | | | | | |
| Tage an Meßwerten | | | 483 | **103,7%** | | | *43,6* | *0,9* | *50,6* | *4,8* | *130,0* | | |

**Anhangtabelle 4-4: Fermenter 4 – Aufzeichnung der Parameter bei der Biogasproduktion vom 18.05.200 bis 20.10.2010**

| Verweilzeit | | | Fermenter 4 | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Beginn | Ende | Tage | GAS: **Gesamtmenge** $m^3$ | GAS: **$m^3$/d** | GAS: **$m^3$/h** | Druck: **mbar** | **$CO_2$**: Vol.-% | **$O_2$**: Vol.-% | **$CH_4$**: Vol.-% | **Wasser-dampf, $N_2$, etc.**: Vol.-% | **$H_2S$**: ppm | **$H_2S$**: Vol.-% | **Tempe-ratur**: °C |
| 18.05.09 | 14.06.09 | 28 | 19.795,8 | 707,0 | 29,5 | | | | | | | | |
| 16.06.09 | 09.07.09 | 24 | 23.222,7 | 967,6 | 40,3 | -1,8 | 39,2 | 0,6 | 53,6 | 6,5 | 126,3 | 0,01 | 43,8 |
| 10.07.09 | 27.07.09 | 18 | 13.980,4 | 776,7 | 32,4 | -0,4 | 38,6 | 1,2 | 48,0 | 12,1 | 115,0 | 0,01 | 45,2 |
| 28.07.09 | 16.08.09 | 20 | 18.148,1 | 907,4 | 37,8 | 1,4 | 39,0 | 0,8 | 50,9 | 9,2 | 154,0 | 0,02 | 44,5 |
| 17.08.09 | 01.09.09 | 16 | 15.288,9 | 955,6 | 39,8 | 1,6 | 38,6 | 0,3 | 58,0 | 3,0 | 167,2 | 0,02 | 43,6 |
| 02.09.09 | 21.09.09 | 20 | Ausfall der Messung nach einer technischen Störung mit dem Aufzeichnungsrechner. | | | | | | | | | | |
| 22.09.09 | 08.10.09 | 17 | Ausfall der Messung nach einer technischen Störung mit dem Aufzeichnungsrechner. | | | | | | | | | | |
| 09.10.09 | 28.10.09 | 20 | 14.508,3 | 725,4 | 30,2 | -1,5 | 43,7 | 0,7 | 49,9 | 5,6 | 350,5 | 0,04 | 42,9 |
| 29.10.09 | 22.11.09 | 25 | 20.636,5 | 825,5 | 34,4 | -1,8 | 42,9 | 0,5 | 51,1 | 5,4 | 398,7 | 0,04 | 41,6 |
| 23.11.09 | 16.12.09 | 24 | 17.806,0 | 741,9 | 30,9 | -1,7 | 43,9 | 0,5 | 49,6 | 5,9 | 284,1 | 0,03 | 41,5 |
| 17.12.09 | 14.01.10 | 29 | 21.486,6 | 740,9 | 30,9 | -1,2 | 40,6 | 0,5 | 51,7 | 7,1 | 163,5 | 0,02 | 40,0 |
| 15.01.10 | 10.02.10 | 27 | 19.002,8 | 703,8 | 29,3 | -1,2 | 43,0 | 0,6 | 47,8 | 8,5 | 382,3 | 0,04 | 36,4 |
| 11.02.10 | 07.03.10 | 25 | 17.525,6 | 701,0 | 29,2 | -1,2 | 41,6 | 0,5 | 48,8 | 9,0 | 173,1 | 0,02 | 38,1 |
| 08.03.10 | 31.03.10 | 24 | 18.678,7 | 778,3 | 32,4 | -0,6 | 40,1 | 0,6 | 47,5 | 11,7 | 34,9 | 0,00 | 40,7 |
| 01.04.10 | 25.04.10 | 25 | 21.549,8 | 862,0 | 35,9 | -0,4 | 40,4 | 0,8 | 46,1 | 12,6 | 129,8 | 0,01 | 42,2 |
| 26.04.10 | 24.05.10 | 29 | 23.787,0 | 820,2 | 34,2 | Ausfall der Messung nach einer technischen Störung mit dem Aufzeichn. | | | | | | | |
| 25.05.10 | 17.06.10 | 24 | 20.322,7 | 846,8 | 35,3 | -0,5 | 43,4 | 0,5 | 49,9 | 6,1 | 208,0 | 0,02 | 42,9 |
| 18.06.10 | 19.07.10 | 32 | 32.024,7 | 1000,8 | 41,7 | -0,8 | 42,6 | 0,5 | 52,0 | 4,8 | 132,6 | 0,01 | 43,9 |
| 20.07.10 | 15.08.10 | 27 | 23.441,0 | 868,2 | 36,2 | -0,6 | 42,8 | 0,5 | 51,3 | 5,3 | 138,0 | 0,01 | 44,4 |
| 16.08.10 | 05.09.10 | 21 | 18.789,5 | 894,7 | 37,3 | -1,8 | 42,2 | 0,5 | 51,3 | 5,9 | 118,6 | 0,01 | 44,4 |
| 06.09.10 | 28.09.10 | 23 | 17.938,6 | 779,9 | 32,5 | -0,6 | 43,2 | 0,6 | 49,4 | 6,7 | 133,1 | 0,01 | 44 |
| 29.09.10 | 20.10.10 | 22 | 19.543,4 | 888,3 | 37,0 | -0,3 | 41,7 | 0,6 | 50,3 | 7,3 | 102,1 | 0,01 | 42,6 |
| Wechselintervalle | | | Summe | gewog. Mittelwerte | | Mittelwerte | | | | | | | |
| | 22 | | 397.477,1 | 822,9 | 34,3 | -0,7 | 41,5 | 0,6 | 50,4 | 7,4 | 184,0 | 0,02 | 42,4 |
| Tage insgesamt | | 520 | | Bezugsgröße 770 m3/d | | *Mittelwerte von 120 Biogasanlagen mit nachwachsenden Rohstoffen* | | | | | | | |
| Tage an Meßwerten | | | 483 | **106,9%** | | | *43,6* | *0,9* | *50,6* | *4,8* | *130,0* | | |

**Anhangtabelle 4-5: Fermenter 5 – Aufzeichnung der Parameter bei der Biogasproduktion vom 18.05.200 bis 20.10.2010**

| Verweilzeit | | | Fermenter 5 | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Beginn | Ende | Tage | GAS: **Gesamtmenge** $m^3$ | GAS: **$m^3$/d** | GAS: **$m^3$/h** | Druck: **mbar** | **$CO_2$**: Vol.-% | **$O_2$**: Vol.-% | **$CH_4$**: Vol.-% | **Wasser-dampf, $N_2$, etc.**: Vol.-% | **$H_2S$**: ppm | **$H_2S$**: Vol.-% | **Tempe-ratur**: °C |
| 18.05.09 | 14.06.09 | 28 | 19.795,8 | 707,0 | 29,5 | | | | | | | | |
| 16.06.09 | 09.07.09 | 24 | 19.208,1 | 800,3 | 33,3 | 0,1 | 39,2 | 0,6 | 52,9 | 7,2 | 51,8 | 0,01 | 42,4 |
| 10.07.09 | 27.07.09 | 18 | 13.186,1 | 732,6 | 30,5 | 0,2 | 37,3 | 0,5 | 53,7 | 8,4 | 81,2 | 0,01 | 45,6 |
| 28.07.09 | 16.08.09 | 20 | 12.691,1 | 634,6 | 26,4 | 0,5 | 40,2 | 1,2 | 47,3 | 11,2 | 113,7 | 0,01 | 45,0 |
| 17.08.09 | 01.09.09 | 16 | 12.698,2 | 793,6 | 33,1 | 0,3 | 40,8 | 1,0 | 49,1 | 9,0 | 93,6 | 0,01 | 43,5 |
| 02.09.09 | 21.09.09 | 20 | Ausfall der Messung nach einer technischen Störung mit dem Aufzeichnungsrechner. | | | | | | | | | | |
| 22.09.09 | 08.10.09 | 17 | Ausfall der Messung nach einer technischen Störung mit dem Aufzeichnungsrechner. | | | | | | | | | | |
| 09.10.09 | 28.10.09 | 20 | Ausfall der Messung nach einer technischen Störung mit dem Aufzeichnungsrechner. | | | | | | | | | | |
| 29.10.09 | 22.11.09 | 25 | Ausfall der Messung nach einer technischen Störung mit dem Aufzeichnungsrechner. | | | | | | | | | | |
| 23.11.09 | 16.12.09 | 24 | Ausfall der Messung nach einer technischen Störung mit dem Aufzeichnungsrechner. | | | | | | | | | | |
| 17.12.09 | 14.01.10 | 29 | 23.556,5 | 812,3 | 33,8 | 0,8 | 41,6 | 0,3 | 50,1 | 7,9 | 105,6 | 0,01 | 38,8 |
| 15.01.10 | 10.02.10 | 27 | 18.266,5 | 676,5 | 28,2 | 1,0 | 40,3 | 0,8 | 47,9 | 10,9 | 175,8 | 0,02 | 36,3 |
| 11.02.10 | 07.03.10 | 25 | 17.518,5 | 700,7 | 29,2 | -0,6 | 41,8 | 0,4 | 50,3 | 7,4 | 141,0 | 0,01 | 37,8 |
| 08.03.10 | 31.03.10 | 24 | 17.820,1 | 742,5 | 30,9 | -0,5 | 42,3 | 0,6 | 48,8 | 8,2 | 103,7 | 0,01 | 40,1 |
| 01.04.10 | 25.04.10 | 25 | 17.908,4 | 716,3 | 29,8 | -0,8 | 41,6 | 0,7 | 49,1 | 8,5 | 168,5 | 0,02 | 40,4 |
| 26.04.10 | 24.05.10 | 29 | 24.823,0 | 856,0 | 35,7 | Ausfall der Messung nach einer technischen Störung mit dem Aufzeichn. | | | | | | | |
| 25.05.10 | 17.06.10 | 24 | 19.199,0 | 800,0 | 33,3 | 0,2 | 44,1 | 0,6 | 46,8 | 8,4 | 127,3 | 0,01 | 43,0 |
| 18.06.10 | 19.07.10 | 32 | 30.758,0 | 961,2 | 40,1 | 0,3 | 42,9 | 0,5 | 52,1 | 4,4 | 195,0 | 0,02 | 43,7 |
| 20.07.10 | 15.08.10 | 27 | 27.328,4 | 1012,2 | 42,2 | 0,8 | 43,3 | 0,5 | 51,3 | 4,8 | 197,7 | 0,02 | 43,2 |
| 16.08.10 | 05.09.10 | 21 | 19.970,8 | 951,0 | 39,6 | 0,1 | 42,3 | 0,5 | 51,7 | 5,4 | 135,5 | 0,01 | 43,8 |
| 06.09.10 | 28.09.10 | 23 | 20.021,8 | 870,5 | 36,3 | 0,7 | 43,2 | 0,6 | 50,0 | 6,1 | 145,0 | 0,01 | 42,5 |
| 29.09.10 | 20.10.10 | 22 | 21.630,0 | 983,2 | 41,0 | 1,0 | 41,6 | 0,8 | 49,1 | 8,4 | 100,3 | 0,01 | 41,7 |
| Wechselintervalle | | | Summe | gewog. Mittelwerte | | Mittelwerte | | | | | | | |
| | 22 | | 336.380,4 | 812,5 | 33,9 | 0,3 | 41,5 | 0,6 | 50,0 | 7,9 | 129,0 | 0,01 | 41,9 |
| Tage insgesamt | | 520 | | Bezugsgröße 770 m3/d | | *Mittelwerte von 120 Biogasanlagen mit nachwachsenden Rohstoffen* | | | | | | | |
| Tage an Meßwerten | | | 414 | **105,5%** | | | *43,6* | *0,9* | *50,6* | *4,8* | *130,0* | | |

**Anhangtabelle 4-6: Fermenter 6 – Aufzeichnung der Parameter bei der Biogasproduktion vom 18.05.200 bis 20.10.2010**

| Verweilzeit | | | Fermenter 6 | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Beginn | Ende | Tage | GAS: **Gesamtmenge** $m^3$ | GAS: **$m^3$/d** | GAS: **$m^3$/h** | Druck: **mbar** | **$CO_2$**: Vol.-% | **$O_2$**: Vol.-% | **$CH_4$**: Vol.-% | **Wasser-dampf, $N_2$, etc.**: Vol.-% | **$H_2S$**: ppm | **$H_2S$**: Vol.-% | **Tempe-ratur**: °C |
| 18.05.09 | 14.06.09 | 28 | 19.795,8 | 707,0 | 29,5 | | | | | | | | |
| 16.06.09 | 09.07.09 | 24 | 18.961,4 | 790,1 | 32,9 | -1,7 | 38,6 | 0,9 | 53,5 | 6,9 | 146 | 0,01 | 42,8 |
| 10.07.09 | 27.07.09 | 18 | 15.012,3 | 834,0 | 34,8 | -0,9 | 35,5 | 0,6 | 55,1 | 8,7 | 138,5 | 0,01 | 45,4 |
| 28.07.09 | 16.08.09 | 20 | 14.957,8 | 747,9 | 31,2 | -0,4 | 38,8 | 0,7 | 51,2 | 9,2 | 167,7 | 0,02 | 44,9 |
| 17.08.09 | 01.09.09 | 16 | 11.330,5 | 708,2 | 29,5 | 0,9 | 39,6 | 1,3 | 51,4 | 7,6 | 111,6 | 0,01 | 43,9 |
| 02.09.09 | 21.09.09 | 20 | Ausfall der Messung nach einer technischen Störung mit dem Aufzeichnungsrechner. | | | | | | | | | | |
| 22.09.09 | 08.10.09 | 17 | Ausfall der Messung nach einer technischen Störung mit dem Aufzeichnungsrechner. | | | | | | | | | | |
| 09.10.09 | 28.10.09 | 20 | Ausfall der Messung nach einer technischen Störung mit dem Aufzeichnungsrechner. | | | | | | | | | | |
| 29.10.09 | 22.11.09 | 25 | Ausfall der Messung nach einer technischen Störung mit dem Aufzeichnungsrechner. | | | | | | | | | | |
| 23.11.09 | 16.12.09 | 24 | Ausfall der Messung nach einer technischen Störung mit dem Aufzeichnungsrechner. | | | | | | | | | | |
| 17.12.09 | 14.01.10 | 29 | 19.740,9 | 680,7 | 28,4 | -0,3 | 37,3 | 0,7 | 48,6 | 13,3 | 23,7 | 0,00 | 39,6 |
| 15.01.10 | 10.02.10 | 27 | 16.730,3 | 619,6 | 25,8 | -0,2 | 39,5 | 1,3 | 40,3 | 18,8 | 27,9 | 0,00 | 37,8 |
| 11.02.10 | 07.03.10 | 25 | 17.282,7 | 691,3 | 28,8 | -1,3 | 42,8 | 0,6 | 47,3 | 9,2 | 342,2 | 0,03 | 41,5 |
| 08.03.10 | 31.03.10 | 24 | 17.264,4 | 719,3 | 30,0 | -1,4 | 41,8 | 0,6 | 49,8 | 7,7 | 173,3 | 0,02 | 41,7 |
| 01.04.10 | 25.04.10 | 25 | 18.955,0 | 758,2 | 31,6 | -1,3 | 42,1 | 0,7 | 49,1 | 8,0 | 264,0 | 0,03 | 42,3 |
| 26.04.10 | 24.05.10 | 29 | 22.202,5 | 765,6 | 31,9 | Ausfall der Messung nach einer technischen Störung mit dem Aufzeichn. | | | | | | | |
| 25.05.10 | 17.06.10 | 24 | 20.361,7 | 848,4 | 35,4 | -0,5 | 42,1 | 0,6 | 50,8 | 6,4 | 193,2 | 0,02 | 41,8 |
| 18.06.10 | 19.07.10 | 32 | 28.960,8 | 905,0 | 37,7 | -0,8 | 44,8 | 0,4 | 49,6 | 5,1 | 171,3 | 0,02 | 42,7 |
| 20.07.10 | 15.08.10 | 27 | 23.947,3 | 886,9 | 37,0 | -0,6 | 43,1 | 0,4 | 52,1 | 4,3 | 174,6 | 0,02 | 44,0 |
| 16.08.10 | 05.09.10 | 21 | 16.461,6 | 783,9 | 32,7 | -0,9 | 43,5 | 0,6 | 49,7 | 6,1 | 122,7 | 0,01 | 45,0 |
| 06.09.10 | 28.09.10 | 23 | 17.320,4 | 753,1 | 31,4 | -0,9 | 42,9 | 0,6 | 49,7 | 6,7 | 124,7 | 0,01 | 43,9 |
| 29.09.10 | 20.10.10 | 22 | 17.551,9 | 797,8 | 33,2 | -0,8 | 42,4 | 0,7 | 49,6 | 7,2 | 105,8 | 0,01 | 41,6 |
| Wechselintervalle | | | Summe | gewog. Mittelwerte | | Mittelwerte | | | | | | | |
| | 22 | | 316.837,3 | 765,3 | 31,9 | -0,7 | 41,0 | 0,7 | 49,9 | 8,3 | 152,5 | 0,02 | 42,6 |
| Tage insgesamt | | 520 | | Bezugsgröße 770 m3/d | | *Mittelwerte von 120 Biogasanlagen mit nachwachsenden Rohstoffen* | | | | | | | |
| Tage an Meßwerten | | | 414 | **99,4%** | | | *43,6* | *0,9* | *50,6* | *4,8* | *130,0* | | |

**Anhangtabelle 4-7: Fermenter 7 – Aufzeichnung der Parameter bei der Biogasproduktion vom 18.05.200 bis 20.10.2010**

| Verweilzeit | | | Fermenter 7 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Beginn | Ende | Tage | GAS: **Gesamtmenge** $m^3$ | GAS: **$m^3$/d** | GAS: **$m^3$/h** | Druck: **mbar** | **$CO_2$**: Vol.-% | **$O_2$**: Vol.-% | **$CH_4$**: Vol.-% | **Wasser-dampf, $N_2$, etc.**: Vol.-% | **$H_2S$**: ppm | **$H_2S$**: Vol.-% | **Tempe-ratur**: °C | |
| 18.05.09 | 14.06.09 | 28 | 15.827,6 | 565,3 | 23,6 | -1,5 | 35,4 | 2,0 | 50,0 | 12,5 | 239,8 | 0,02 | 41,9 | |
| 16.06.09 | 09.07.09 | 24 | 12.227,5 | 509,5 | 21,2 | -1,1 | 37,5 | 1,5 | 50,8 | 10,1 | 176,3 | 0,02 | 42,8 | |
| 10.07.09 | 27.07.09 | 18 | 8.878,6 | 493,3 | 20,6 | -0,4 | 34,7 | 0,9 | 50,5 | 13,8 | 215,9 | 0,02 | 45,4 | |
| 28.07.09 | 16.08.09 | 20 | 11.089,6 | 554,5 | 23,1 | 0,4 | 36,1 | 1,0 | 51,3 | 11,5 | 462,7 | 0,05 | 44,9 | |
| 17.08.09 | 01.09.09 | 16 | 9.580,9 | 598,8 | 25,0 | 0,5 | 38,8 | 1,6 | 49,8 | 9,7 | 234,4 | 0,02 | 43,6 | |
| 02.09.09 | 21.09.09 | 20 | Ausfall der Messung nach einer technischen Störung mit dem Aufzeichnungsrechner. | | | | | | | | | | | |
| 22.09.09 | 08.10.09 | 17 | Ausfall der Messung nach einer technischen Störung mit dem Aufzeichnungsrechner. | | | | | | | | | | | |
| 09.10.09 | 28.10.09 | 20 | 9.917,1 | 495,9 | 20,7 | -1,0 | 41,7 | 0,7 | 49,9 | 7,6 | 479,2 | 0,05 | 33,1 | |
| 29.10.09 | 22.11.09 | 25 | 13.471,5 | 538,9 | 22,5 | -1,3 | 43,0 | 0,6 | 48,8 | 7,5 | 228,0 | 0,02 | 30,6 | |
| 23.11.09 | 16.12.09 | 24 | 14.090,7 | 587,1 | 24,5 | -1,4 | 43,8 | 0,5 | 50,0 | 5,6 | 400,6 | 0,04 | 29,5 | |
| 17.12.09 | 14.01.10 | 29 | 17.231,9 | 594,2 | 24,8 | -1,2 | 43,3 | 0,5 | 48,3 | 7,8 | 96,1 | 0,01 | 27,1 | |
| 15.01.10 | 10.02.10 | 27 | 15.955,8 | 591,0 | 24,6 | -0,9 | 44,2 | 0,6 | 47,6 | 7,5 | 514,3 | 0,05 | 23,5 | |
| 11.02.10 | 07.03.10 | 25 | 15.247,9 | 609,9 | 25,4 | -1,8 | 42,7 | 0,6 | 46,4 | 10,2 | 155,7 | 0,02 | 28,1 | |
| 08.03.10 | 31.03.10 | 24 | 14.493,3 | 603,9 | 25,2 | 0,0 | 43,2 | 0,6 | 47,2 | 8,9 | 126,9 | 0,01 | 29,2 | |
| 01.04.10 | 25.04.10 | 25 | 16.300,8 | 652,0 | 27,2 | -1,1 | 40,8 | 0,7 | 49,1 | 9,3 | 148,5 | 0,01 | 30,4 | |
| 26.04.10 | 24.05.10 | 29 | 16.821,5 | 580,1 | 24,2 | Ausfall der Messung nach einer technischen Störung mit dem Aufzeichn. | | | | | | | | |
| 25.05.10 | 17.06.10 | 24 | 14.702,8 | 612,6 | 25,5 | -1,4 | 42,0 | 0,0 | 53,0 | 4,9 | 173,8 | 0,02 | 32,2 | |
| 18.06.10 | 19.07.10 | 32 | 15.328,5 | 479,0 | 20,0 | -1,0 | 43,5 | 0,5 | 47,1 | 8,8 | 154,4 | 0,02 | 33,5 | |
| 20.07.10 | 15.08.10 | 27 | 16.077,3 | 595,5 | 24,8 | 0,6 | 41,2 | 0,5 | 48,4 | 9,8 | 40,1 | 0,00 | 37,3 | |
| 16.08.10 | 05.09.10 | 21 | 12.362,7 | 588,7 | 24,5 | 0,1 | 42,5 | 0,7 | 48,3 | 8,4 | 107,8 | 0,01 | 34,8 | |
| 06.09.10 | 28.09.10 | 23 | 13.802,1 | 600,1 | 25,0 | -0,4 | 42,7 | 0,6 | 48,4 | 8,2 | 90,7 | 0,01 | 33,7 | |
| 29.09.10 | 20.10.10 | 22 | 12.324,2 | 560,2 | 23,3 | 1,4 | 40,0 | 0,7 | 43,9 | 15,3 | 1,9 | 0,00 | 32,2 | |
| Wechselintervalle | | | Summe | gewog. Mittelwerte | | Mittelwerte | | | | | | | | |
| | 22 | | 275.732,3 | 570,9 | 23,8 | -0,6 | 40,9 | 0,8 | 48,9 | 9,3 | 213,0 | 0,02 | 34,4 | |
| Tage insgesamt | | 520 | | Bezugsgröße 770 m3/d | | *Mittelwerte von 120 Biogasanlagen mit nachwachsenden Rohstoffen* | | | | | | | | |
| Tage an Meßwerten | | | 483 | **74,1%** | | | *43,6* | *0,9* | *50,6* | *4,8* | *130,0* | | | |

**Anhangtabelle 4-8: gemittelte Werte – Aufzeichnung der Parameter bei der Biogasproduktion vom 18.05.200 bis 20.10.2010**

| Verweilzeit | | | gemittelte Qualitätskriterien und Vergleichsparameter | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Beginn | Ende | Tage | Ø GAS-Menge in **$m^3$/d F1 - F6** | Ø GAS-Menge in **$m^3$/d F7** | **Anteil** Biogas zur kalk. Menge (770 $m^3$) **F1 - F6** | **Anteil** Biogas zur kalk. Menge (770 $m^3$) **F7** | Gras-silage **t FM** F7 | Gras-silage **% TS-Gehalt** F7 | Gras-silage **t TM** F7 | **cbm** Biogas pro **t FM** (Grassilage) F7 | **cbm** Biogas pro **t TM** (Grassilage) | **Ø $CH_4$ -** Konzen-tration: **Vol.-% F1 - F6** | **Ø $CH_4$ - Menge: cbm F1 - F6** (100% $CH_4$) | **$CH_4$ - Menge: cbm F7** (100% $CH_4$) |
| 18.05.09 | 14.06.09 | 28 | 707,0 | 565,3 | 92% | 73% | 100,82 | 29,90 | 30,15 | 157,0 | 525,0 | | | 7.914 |
| 16.06.09 | 09.07.09 | 24 | 807,0 | 509,5 | 105% | 66% | 86,37 | 33,70 | 29,11 | 141,6 | 420,0 | 52,7 | 10.206 | 6.212 |
| 10.07.09 | 27.07.09 | 18 | 778,2 | 493,3 | 101% | 64% | 47,08 | 38,12 | 17,95 | 188,6 | 494,6 | 50,2 | 7.032 | 4.484 |
| 28.07.09 | 16.08.09 | 20 | 770,7 | 554,5 | 100% | 72% | 46,05 | 40,59 | 18,69 | 240,8 | 593,3 | 50,0 | 7.707 | 5.689 |
| 17.08.09 | 01.09.09 | 16 | 804,7 | 598,8 | 105% | 78% | 35,19 | 46,90 | 16,50 | 272,3 | 580,7 | 52,9 | 6.811 | 4.771 |
| 02.09.09 | 21.09.09 | 20 | | 600,6 | | 78% | 55,98 | 49,00 | 27,43 | 215,0 | 438,0 | | | |
| 22.09.09 | 08.10.09 | 17 | | 600,6 | | 78% | 44,59 | 49,00 | 21,85 | 229,0 | 467,0 | | | |
| 09.10.09 | 28.10.09 | 20 | 735,0 | 495,9 | 95% | 64% | 29,91 | 76,10 | 22,76 | 331,6 | 435,7 | 50,2 | 7.379 | 4.949 |
| 29.10.09 | 22.11.09 | 25 | 815,6 | 538,9 | 106% | 70% | 61,12 | 52,36 | 32,00 | 220,4 | 421,0 | 50,9 | 10.379 | 6.574 |
| 23.11.09 | 16.12.09 | 24 | 723,2 | 587,1 | 94% | 76% | 74,53 | 51,81 | 38,61 | 189,1 | 364,9 | 50,4 | 8.749 | 7.045 |
| 17.12.09 | 14.01.10 | 29 | 739,8 | 594,2 | 96% | 77% | 78,69 | 51,82 | 40,78 | 219 | 422,6 | 49,9 | 10.705 | 8.323 |
| 15.01.10 | 10.02.10 | 27 | 693,9 | 591,0 | 90% | 77% | 74,90 | 51,52 | 38,59 | 213 | 413,5 | 47,6 | 8.919 | 7.595 |
| 11.02.10 | 07.03.10 | 25 | 730,1 | 609,9 | 95% | 79% | 62,30 | 43,15 | 26,88 | 244,7 | 567,3 | 49,4 | 9.016 | 7.075 |
| 08.03.10 | 31.03.10 | 24 | 774,9 | 603,9 | 101% | 78% | 65,79 | 42,64 | 28,05 | 220,3 | 516,7 | 49,3 | 9.169 | 6.841 |
| 01.04.10 | 25.04.10 | 25 | 812,0 | 652,0 | 105% | 85% | 66,95 | 42,82 | 28,67 | 243,5 | 568,6 | 49,2 | 9.988 | 8.004 |
| 26.04.10 | 24.05.10 | 29 | 839,0 | 580,1 | 109% | 75% | 88,13 | 42,00 | 37,01 | 190,9 | 454,5 | | | |
| 25.05.10 | 17.06.10 | 24 | 856,6 | 612,6 | 111% | 80% | 77,45 | 45,28 | 35,07 | 189,8 | 419,2 | 48,7 | 10.012 | 7.792 |
| 18.06.10 | 19.07.10 | 32 | 964,6 | 479,0 | 125% | 62% | 110,96 | 33,31 | 36,96 | 138,1 | 414,7 | 50,7 | 15.649 | 7.220 |
| 20.07.10 | 15.08.10 | 27 | 926,3 | 595,5 | 120% | 77% | 70,75 | 31,62 | 22,37 | 227,2 | 718,7 | 50,9 | 12.730 | 7.781 |
| 16.08.10 | 05.09.10 | 21 | 920,8 | 588,7 | 120% | 76% | 83,84 | 35,39 | 29,67 | 147,5 | 416,7 | 51,6 | 9.978 | 5.971 |
| 06.09.10 | 28.09.10 | 23 | 828,9 | 600,1 | 108% | 78% | 105,6 | 31,60 | 33,37 | 130,7 | 413,6 | 50,0 | 9.532 | 6.680 |
| 29.09.10 | 20.10.10 | 22 | 891,3 | 560,2 | 116% | 73% | 98,03 | 30,36 | 29,76 | 125,7 | 414,1 | 50,1 | 9.824 | 5.410 |
| Wechselintervalle | | | gewogene Mittelwerte | | | | Summe | gew. Ø | Summe | gewogene Mittelwerte | | | Summe gesammte Versuchsdauer | |
| | 22 | | 808,9 | 570,9 | 105,0% | 74,1% | 1.565,0 | 41,04 | 642,2 | 176,2 | 429,3 | 50,22 | 211.251 | 145.115 |
| Tage insgesamt | | 520 | | | | | | | | | | | | |
| Tage an Meßwerten | | | | | Summe der Gaswerte für die gesamte Versuchsdauer in cbm ==> | | | | | | | | 420.613 | 296.855 |

## Anhangtabelle 5

**Merkblatt 2010**

Landwirtschaftskammer Niedersachsen

Oldenburg, 03.03.2011
Merkblatt 2010_Dioxine_Elbe_Kurzfassung_Stand 20110303.doc

# Bewirtschaftung von Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe in Niedersachsen

## Veranlassung und Zielsetzung

Die Böden der Überschwemmungsflächen der Elbe weisen zum Teil hohe Schadstoffgehalte auf. Dioxine (PCDD/PCDF) und Schwermetalle sind hier von Bedeutung. Die Ursache für die Bodenbelastungen mit Dioxinen sind Ablagerungen belasteter Sedimente im Überschwemmungsbereich der Elbe, die schon seit Jahrzehnten andauern.
Auf Grünlandflächen mit erhöhten Bodenschadstoffgehalten kann es unter anderem durch die Verschmutzung des Erntegutes oder durch die Aufnahme von Bodenmaterial zu unerwünschten Schadstoffeinträgen in das Futter für Nutztiere kommen.

Mit diesem Merkblatt wird auf die Verantwortung des Landwirtes als Futter- und Lebensmittelunternehmer hingewiesen. Dieses Merkblatt enthält allgemeine Empfehlungen für die Beweidung, die Heu- und Silagegewinnung sowie für die Grünlandpflege, um das Risiko einer Schadstoffanreicherung (z. B. Dioxine) in Futtermitteln (Aufwuchs, Silage, Heu) und Lebensmitteln (Fleisch und Milch) zu vermindern und somit den Anforderungen des Futtermittel- und Lebensmittelrechtes gerecht zu werden.
Zur Vermeidung der Verunreinigung von Futtermitteln mit Schadstoffen sind daher Maßnahmen zur verschmutzungsarmen Nutzpflanzenernte (einschließlich Beweidung) anzuwenden. Die Beweidung und Mahd in Senken, Flutrinnen und Mulden sowie auf niedergelegenen Terrassen sollte in den betroffenen Gebieten unterbleiben.

Um im Falle einer Futternutzung die Verunreinigung von Futtermitteln mit Schadstoffen gering zu halten bzw. zu reduzieren, sind allgemein übliche Handlungsgrundsätze und Maßnahmen bei der Schnittnutzung und der Beweidung durch den Landwirt anzuwenden. Die von der Fach- bzw. Spezialberatung empfohlenen Handlungsgrundsätze und Maßnahmen dienen der Umsetzung der „Guten fachlichen Praxis einer verschmutzungsarmen Futternutzung“.

## Rechtliche Vorgaben

Der Landwirt ist gesetzlich verpflichtet, eigenverantwortlich die Einhaltung der Höchstgehalte nach Futtermittel- und Lebensmittelrecht sicherzustellen.

Wenn auf einem Betrieb aktuelle Untersuchungsergebnisse mit Überschreitungen der Dioxinhöchstwerte bei Futtermitteln vorliegen, besteht eine gesetzliche Meldepflicht beim LAVES*.
Futtermittel dürfen nicht verfüttert werden, wenn eine Überschreitung der zulässigen Höchstwerte festgestellt ist.
Im Falle von Höchstmengenüberschreitungen bei Lebensmitteln sind die Veterinärbehörden der Landkreise zu informieren. Bei amtlich festgestellten Höchstwertüberschreitungen in

* LAVES: Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Postfach 39 49, 26029 Oldenburg (Oldb), Telefon: 0441/57026-0

Futter- oder Lebensmitteln (Muskelfleisch, Leber, Milch) wird dem betroffenen Betrieb empfohlen, mit der Spezialberatung der Landwirtschaftskammer Kontakt aufzunehmen.

In Abstimmung mit dem Niedersächsischen Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz und Landesentwicklung stellen diese Empfehlungen im Hinblick auf die Vermeidung von Schadstoffbelastungen die gute fachliche Praxis der Grünlandbewirtschaftung in der Elbtalaue dar. Wenn die Empfehlungen nicht umgesetzt werden, kann dieses einen Verstoß gegen die Cross-Compliance-Vorgaben bedeuten. In solchen Fällen muss der betroffene Landwirt mit Kürzungen der EU-Direktzahlungen und der Zahlungen für bestimmte flächenbezogene Maßnahmen der „2. Säule“ rechnen.

Bei der Umsetzung der Bewirtschaftungsempfehlungen ist das Biosphärenreservatsgesetz zu beachten. Die im Rahmen des „Kooperationsprogrammes Dauergrünland“ (Vertragsnaturschutz) vereinbarten Vertragsnaturschutzvarianten sind den Vorgaben dieser Empfehlungen gegebenenfalls anzupassen.

Abweichungen von den naturschutzfachlichen Vereinbarungen sind mit der Biosphärenreservatsverwaltung und der Bewilligungsbehörde der Landwirtschaftskammer abzustimmen. Die Landwirtschaftskammer bietet bei der Anpassung der getroffenen naturschutzrechtlichen Vereinbarungen ihre fachliche Unterstützung an.

Sollte sich die Umsetzung der nachstehend aufgeführten Bewirtschaftungsempfehlungen als nicht durchführbar erweisen, sollte zusammen mit der Spezialberatung der Landwirtschaftskammer Niedersachsen eine Lösung herbeigeführt werden.

## Bewirtschaftungsempfehlungen

### Grünlandpflege

- Zur Verminderung der Verschmutzung durch Spritzwasser ist eine dichte Grasnarbe mit standortangepassten Pflanzen anzustreben. Zur Erreichung eines derartigen Zustandes sind gegebenenfalls Nachsaaten vorzunehmen. Um das Wachstum der Gräser anzuregen und die Narbendichte mit gutem Bodenschluss zu erhalten, ist die Fläche gegebenenfalls zu striegeln oder zu walzen.
- Wühlmaus, Feldmaus, Maulwurf oder Wildschwein können die Grasnarbe schädigen. Dabei entstehen Bodenaufwerfungen, wodurch sich eine lückige Grasnarbe bildet. Dem Schädlingsdruck bzw. Wildschweindruck ist mit geeigneten Maßnahmen und Mitteln zu begegnen. Die geschädigte Grasnarbe ist frühzeitig durch Abschleppen oder Walzen einzuebnen.
- Bei einem hohen und ungleichmäßigen Bestand an Gräsern im Herbst (Oktober/November) sollte ein tiefer Reinigungsschnitt (kurzrasig, etwa 5 cm Aufwuchshöhe) erfolgen. Dies kann nach vorangegangenen Hochwasserereignissen und bei deutlich sichtbaren Verschmutzungen des Aufwuchses auch im Frühjahr oder im Sommer erforderlich sein. Der Säuberungsschnitt kann gegebenenfalls auf der Fläche verbleiben. In diesem Fall ist das Material fein zu mulchen. Besser ist es jedoch, das Schnittgut aufzunehmen, von der Fläche abzufahren und auf eigenen Ackerflächen zur Humusversorgung und Düngung einzusetzen. Das anfallende Schnittgut nicht verfüttern.Vor Vegetationsbeginn sind angeschwemmte Treibsel einzusammeln und von den Flächen zu entfernen. Treibsel können auf landwirtschaftlich genutzten Flächen einer Verwertung zugeführt werden. Im Einzelfall ist das Verfahren jedoch mit der unteren Wasserbehörde oder der unteren Abfallbehörde beim Landkreis bzw. mit der Spezialberatung der Landwirtschaftskammer abzustimmen.

### Heu- und Silagegewinnung

- Grundsätzlich ist nur sauberes Futter zu ernten. Die Ernte sollte nur bei trockenem Wetter und ausreichender Befahrbarkeit der Böden erfolgen. Abflusslose Senken sollten von einer Nutzung ausgeschlossen werden.

- Bei der Ernte sollte eine Schnitthöhe von mindestens 8 cm angestrebt werden. Die Mahd sollte nur bei ausreichender Befahrbarkeit der Böden, trockenem Wetter und nach dem Abtrocknen des morgendlichen Taus erfolgen. Denn bei einer hohen Bodenfeuchte steigt der Verschmutzungsgrad durch Bodenanhaftungen am Futtergut oder es werden bei nassen Flächen tiefe Fahrspuren verursacht.
  Von der vorgegebenen Schnitthöhe kann abgewichen werden, wenn die Fläche eine dichte, untergrasbetonte Narbe aufweist sowie eben und trocken ist.
- Der Einsatz von Frontmähwerken sollte bei der Beerntung der Grünlandflächen angestrebt werden, um Überfahrten des Futters bei der Beerntung zu vermeiden. Der Einsatz eines Mähaufbereiters ist eine weitere Alternative, um durch eine verkürzte Trocknungszeit und durch Vermeidung eines Wendevorganges den Verschmutzungsgrad des Erntegutes zu vermindern.
- Bei allen Arbeiten zum Wenden, Schwaden und Laden ist eine möglichst hohe Einstellung der „Pick-up“ zu wählen. Die Zinken sollten so eingestellt werden, dass sie auf ebener Fläche zum Boden einen Abstand von mindestens einer Handdicke haben, um die Aufnahme von Wurzelfilz und Boden weitestgehend zu vermeiden.
- Bei der Einbringung des Erntegutes zur Herstellung einer Grassilage sollte ein Trockensubstanzgehalt von mehr als 35 % angestrebt werden.
- Im Vergleich zur Grassilage ist bei einer Heuwerbung eine geringere Verschmutzung und somit verringerte Schadstoffkonzentration zu erwarten.
- Heu und Silagen von Flächen aus dem Überschwemmungsbereich sollten zu den Futterkonserven von Flächen aus dem Binnendeichbereich getrennt gelagert werden.

## Beweidung

### Allgemeine Grundsätze

- Bei der Beweidung ist auf einen angepassten Besatz und kurze Beweidungszeiten zu achten, um Trittschäden und einem zu tiefen Verbiss vorzubeugen.
- Eine ganzjährige Weidehaltung sollte vermieden werden, da besonders im Winterhalbjahr die Gefahr der Futterverschmutzung steigt.
  Weitere mögliche Ursachen, die zu einer Verschmutzung im Winterhalbjahr beitragen, sind Trittschäden, Spritzwasser oder lückige Bestände.
- Auf aufgeweichten Böden (z. B. nach starken Niederschlägen) ist auf eine Beweidung zu verzichten, da die Trittfestigkeit der Narbe nicht mehr ausreichend ist.
- Tritt infolge langer Trockenperioden auf den Grünlandflächen eine lückige Narbe auf, sollte die Beweidung eingestellt werden.
- Keine Beweidung von abflusslosen Senken und von Uferbereichen der Elbe. Diese Bereiche und der Zugang zu den Bracks sollten ausgezäunt werden.
- Die Wasserversorgung sollte durch Brunnen mit einem Spülfilter, besser durch externe Wasserzufuhr (Tränkewagen, öffentliche Wasserversorgung), sichergestellt werden.
  Ein direktes Tränken aus Gräben, offenen Wasserstellen oder der Elbe ist zu vermeiden, da hier über die im Wasser schwebenden Bodenpartikel eine erhöhte Gefahr der Schadstoffaufnahme besteht.

### Spezielle Grundsätze bei der Beweidung der Flächen im Deichvorland

Die Nutzung der Flächen im Deichvorland der Elbe durch Mutterkuhhaltung und Schafhaltung ist unter bestimmten Bedingungen möglich:

- Eine Vermarktung der **Mutterkühe** als Lebensmittel ist mit erheblichen Risiken einer Höchstwertüberschreitung verbunden und sollte deshalb nicht mehr erfolgen.
  Bei gleicher Haltung sind diese Risiken für das Fleisch von **Mutterschafen** geringer.
- **Kälber** sollten im Deichvorland bei den Mutterkühen lediglich bis zu einem maximalen Körpergewicht von 200 kg weiden. Anschließend sollen die Tiere bis zu einem Endge-

wicht von mindestens 400 kg auf Flächen im Binnendeichbereich oder mit Futter aus dem Binnendeichbereich im Stall gemästet werden.

- **Lämmer** sollten im Deichvorland bei den Mutterschafen lediglich bis zu einem maximalen Körpergewicht von 20 kg weiden. Anschließend sollen die Lämmer bis zu einem Endgewicht von mindestens 40 kg auf Flächen im Binnendeichbereich oder mit Futter aus dem Binnendeichbereich im Stall gemästet werden.

Bei Nutzung besonderer Rassen wird empfohlen, die oben genannten maximalen Körpergewichte mit der Spezialberatung abzustimmen.

### Ausschließliche Beweidung der Deiche

Die Pflege und Beweidung der Deiche mit Schafen ist möglich. Bei einer ausschließlichen Pflege der Deiche mit Schafen können die Jungtiere und Muttertiere uneingeschränkt vermarktet werden, wenn die Lebern verworfen werden.

## Stallfütterung

- Nur sauberes Futter verfüttern.
- In der Futterration sollte der Anteil an Heu und Silagen von den betroffenen Flächen möglichst gering sein.
- Ein Anteil an Maissilage von mehr als 50 % an der Grundfutterration sollte angestrebt werden, weil Mais von allen Grundfutterkonserven die niedrigsten Dioxingehalte aufweist.
- Bei deutlich sichtbaren Verschmutzungen des Futters ist das Futter einer alternativen Verwertung zuzuführen.
- Silagen und Heu von Außendeichflächen sollten in milchviehhaltenden Betrieben vorrangig an weibliche Jungrinder verfüttert werden.

## Spezialberatung der Landwirtschaftskammer Niedersachsen in der Elbtalaue

Landwirtschaftskammer Niedersachsen
Bezirksstelle Uelzen, Wilhelm-Seedorf-Straße 3, 29525 Uelzen
**Sekretariat**, Telefon: 0581 8073-129

**Bernhard Ende**
Wirtschaftsberatung, Unterstützung bei Förderanträgen
Handy: 0152 54782-453, Telefon: 0581 8073-187
E-Mail: bernhard.ende@lwk-niedersachsen.de

**Franz-Josef Flögel**
Spezielle Betriebsberatung, Produktionsberatung, Hilfe bei Höchstwertüberschreitung
Handy: 0152 54782-303, Telefon: 0581 8073-193
E-Mail: franz-josef.floegel@lwk-niedersachsen.de

**Matthias Gutfleisch**
Futterberatung, Spezialberatung Rind
Telefon: 0581 8073-121
E-Mail: matthias.gutfleisch@lwk-niedersachsen.de

**Hans-Jürgen Heuer**
Produktionstechnik und fachlich rechtliche Fragen
Telefon: 0581 8073-136
E-Mail: hans-juergen.heuer@lwk-niedersachsen.de

**Andreas Scholvin**
Ökologischer Landbau
Telefon: 0581 8073-137
E-Mail: andreas.scholvin@lwk-niedersachsen.de

**Dr. Karl Severin**
Fachbereich 3.12, Johannssenstraße 10, 30159 Hannover
Telefon: 0511 3665-1296
E-Mail: karl.severin@lwk-niedersachsen.de