



## Gas aus Gras -

### Welche Grünlandaufwüchse eignen sich für die Biogaserzeugung?

J. MESSNER UND M. ELSÄßER (2012): Landinfo 4/2012, S. 28-31

**Schlagworte:** Biogas, Grünland, Methanertrag

#### 1. Einleitung

Aufgrund der Einspeisevergütung nach dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) für Strom aus Biogas wurden in Baden-Württemberg insbesondere bis Ende 2011 viele Biogasanlagen neu errichtet. Ende 2016 waren nach Erhebung der staatlichen Biogasberatung 927 Biogasanlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von zusammen rund 325.000 KW am Netz.

Um den Güllebonus zu erhalten, wird in einem ein großen Teil der Anlagen frischmassebezogen 30% oder mehr Gülle und Mist eingesetzt. Aufgrund der geringen Energiedichte, insbesondere der Gülle, werden dadurch in den meisten Anlagen aber nur 5 - 10% der benötigten Energiemenge bereitgestellt. Das bedeutet, dass mehr als 90% der Energie aus der Biomasse kommen muss. Der Substratmix in den einzelnen Anlagen ist je nach den regionalen und betrieblichen Rahmenbedingungen unterschiedlich. Bei einer Umfrage in Baden-Württemberg in 2012 konnten 146 Betriebe ausgewertet werden (Härdtlein, et al. 2013). Die Ergebnisse basieren auf dem Kalenderjahr 2012 und können als repräsentativ für die baden-württembergische Biogaserzeugung gewertet werden. In Abbildung 1 ist der durchschnittliche Substratmix dargestellt.

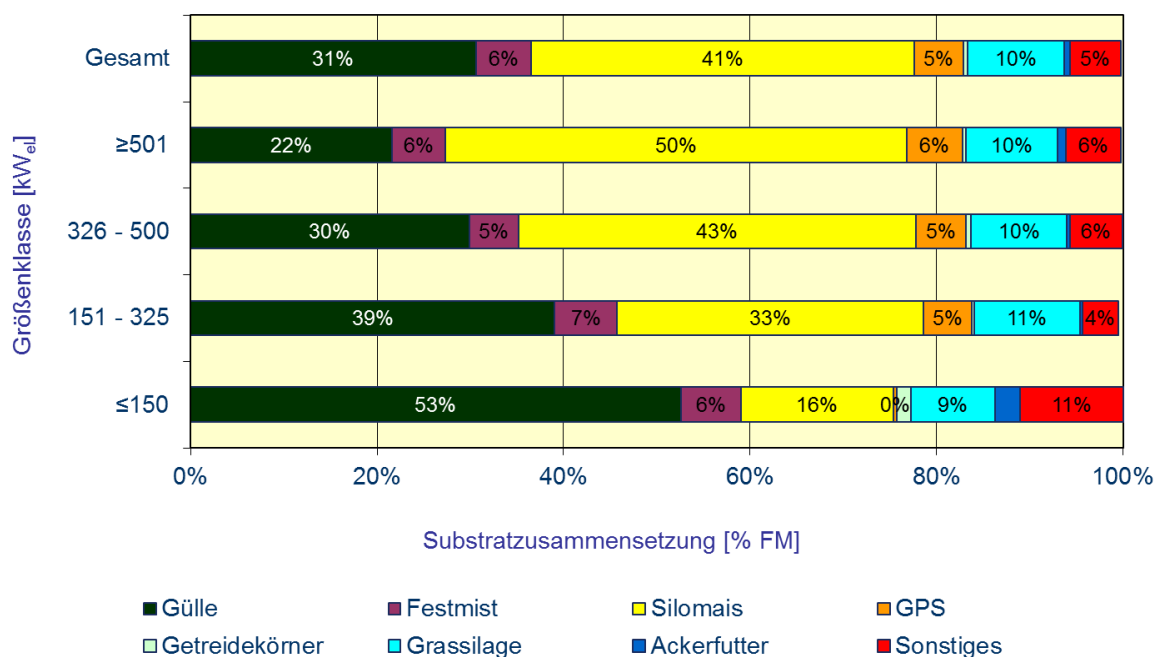


Abbildung 1: Substratmix (frischmassebezogen) von 146 befragten Biogasanlagen in Baden-Württemberg (Härdtlein et al., 2013).

Bezogen auf die pflanzliche Biomasse liegt der Silomaisanteil im Durchschnitt bei 66%, GPS bei 8%, Gras bei 17%, die restlichen Einsatzstoffe machen zusammen 9% aus. Gras stellt nach Silomais somit den zweithäufigsten pflanzlichen Einsatzstoff für Biogasanlagen in Baden-Württemberg dar. Über 80% der befragten Betriebe setzen Grassilage in ihrer Biogasanlage ein.

Im Folgenden soll nun anhand von eigenen Ergebnissen dargestellt werden, welche Grünlandaufwüchse sich für die Biogaserzeugung eignen und ob die Reduzierung der Schnitffrequenz eine mögliche Strategie für Biogaserzeuger darstellt.

## 2. Problemstellung

### 2.1 Flächenbedarf für die Biogaserzeugung

Zieht man von der in Baden-Württemberg aktuell installierten Leistung den Teil ab, der durch Gülle und Bioabfälle betrieben wird, dann ergibt sich ein jährlicher Bedarf von rund 5,5 Mio t Biomasse. In Tabelle 1 ist der daraus resultierende Flächenbedarf auf Basis durchschnittlicher Erträge geschätzt

Tabelle 1: Durchschnittlich geschätzter Flächenbedarf für die Biogaserzeugung in Baden Württemberg auf Basis der mittleren Biomasseverwendung

| Substrat          | Anteil | Menge (FM)  | Ertrag / ha<br>(frei Anlage) | Flächenbedarf | Anteil an LF |
|-------------------|--------|-------------|------------------------------|---------------|--------------|
| <b>Mais</b>       | 66%    | 3.540.000 t | 52 t FM (17,2 t TM)          | 68.000 ha     | 4,8%         |
| <b>Grassilage</b> | 17%    | 910.000 t   | 25 t FM (8,8 t TM)           | 36.000 ha     | 2,5%         |
| <b>GPS</b>        | 8%     | 430.000 t   | 35 t FM (12,5 t TM)          | 12.000 ha     | 0,8%         |
| <b>Sonstige</b>   | 9%     | 480.000 t   | 30 t FM (10,5 t TM)          | 16.000 ha     | 1,1%         |
| <b>Gesamt</b>     | 100%   | 5.360.000 t |                              | 132.000 ha    | 9,3%         |

Bezogen auf die Ackerfläche (820.000 ha) liegt der Anteil der für Biogas genutzten Fläche von ca. 96.000 ha im Landesmittel bei 9,7%. Bezogen auf die Grünlandfläche liegt der Anteil des für Biogas genutzten Grünlandes bei 6,6%.

Aufgrund des vergleichsweise hohen Anteils Grünland an der LF in Baden Württemberg und der Tatsache, dass auch in Grünlandregionen Biogasanlagen errichtet wurden, liegt der Anteil an Grassilage mit 15 - 20% bezogen auf die pflanzliche Biomasse vergleichsweise hoch. In einer bundesweiten Betreiberbefragung liegt der Grassilageanteil deutschlandweit im Mittel lediglich bei 11%, der Silomaisanteil hingegen bei 78% (DBFZ, 2010). Bedingt durch die steigende Milchleistung ist die Zahl der Milchkühen in Baden-Württemberg weiter rückläufig. Somit wird noch weiteres Grünland frei, das nicht für als Futtergrundlage für die Tierhaltung benötigt wird. Nach Schätzungen von Rösch et al. (2007) werden 2015 rund 26% des Grünlandes in Baden-Württemberg nicht für die Tierhaltung benötigt. Andererseits umfasst diese Zahl auch Flächen, die aufgrund ihrer standörtlichen Lage und schlechter Mechanisierbarkeit nicht automatisch gleichzeitig für die Nutzung als Biomasse geeignet sind. In den frühen 2000er Jahren drängte sich die Frage bereits 2003 auf, wie das überschüssige Grünland genutzt werden kann. Das Landwirtschaftliche Zentrum Baden-Württemberg (LAZBW) legte deshalb unter dem Titel „Grünland: Zweimal schneiden und was dann?“ (Elsaesser, 2007), noch bevor der Biogasboom begann, einen Versuch an. Ziel war es, stoffliche Veränderungen an den Grünlandaufwüchsen bei rückläufiger Nutzungsintensität zu dokumentieren.

## 2.2. Besonderheiten Grünland

Grünland stellt eine Kohlenstoffsенке dar. Deshalb sollte aus Sicht der CO<sub>2</sub>-Bilanz, aber auch aus Erosionsschutzgründen ein Grünlandumbruch unbedingt vermieden werden. In Grünlandregionen gibt es Biogasbetriebe, die Grassilageanteile von weit über 50% in der Ration haben. Allerdings ist die Vergärung von Grassilage nicht ganz unproblematisch, da es sich um ein rohfaserreiches und halmgutartiges Substrat handelt. Idealerweise sollte die Grassilage kurz gehäckselt werden, damit sie sich besser in den Fermenter einbringen und einrühren lässt. Schon bei der Auswahl der Technik ist deshalb darauf zu achten, ob die Verarbeitung von großen Mengen an Grassilage mit dieser Technik möglich ist. Da bei einem hohen Einsatz von Grassilage i.d.R. aufgrund der Faserbestandteile im Fermenter und auch im Gärrest ein hoher TS-Gehalt vorliegt, ist eine Separierung des Gärrestes sinnvoll. Dadurch kann die Düngülle auch auf dem Grünland effizient verwertet werden.

Grassilage ist unter der Betrachtung der Vollkosten in der Regel bezogen auf die Energieeinheit teurer als beispielsweise Maissilage. In Abbildung 2 sind die Kosten für verschiedene Biomassen je erzeugter kWh Strom dargestellt. Die rote Linie zeigt die Höhe des Nawaro-Bonus von 7 ct / kWh an.

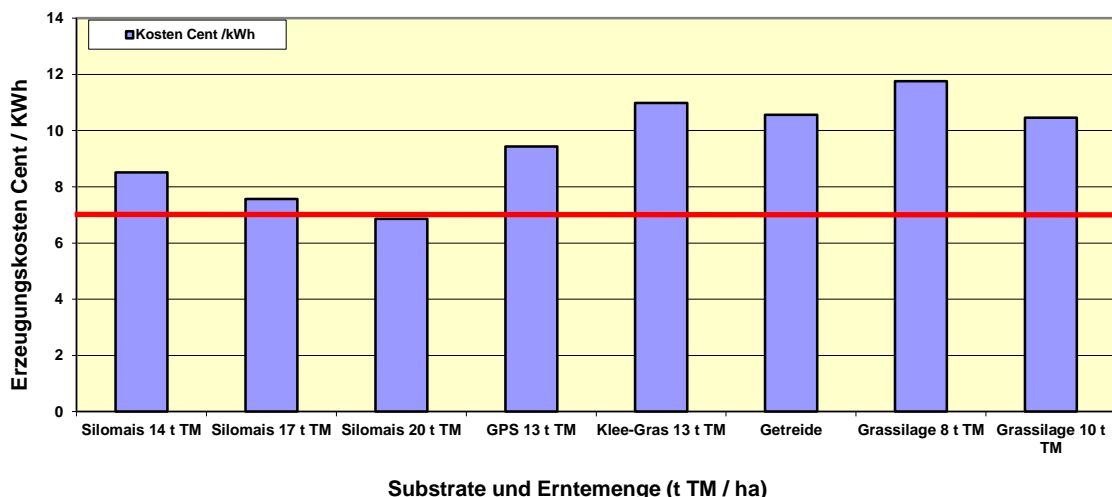


Abbildung 2: Erzeugungskosten der Biomasse je kWh Strom (Messner, 2009)

Um kostengünstig Biogas erzeugen zu können, werden für die Biomasseerzeugung in der Regel gut mechanisierbare und intensiv bewirtschaftbare Flächen benötigt. Damit steht die Biogaserzeugung oftmals direkt in Konkurrenz zur Milchviehhaltung. Für eine erfolgreiche Milchviehfütterung sind sehr gute Futterqualitäten essentiell. Deshalb ist eine intensive Nutzung und häufiger Schnitt erforderlich. Ob Biogasanlagen die gleichen Ansprüche an das Gärsubstrat haben ist noch zu klären, da die Verweilzeit im Fermenter sehr lang ist, so dass schwer abbaubare organische Masse ebenfalls noch genutzt werden kann. Dementsprechend scheint die Reduktion der Schnittfrequenz eine mögliche Nutzungsstrategie von Dauergrünland sein, um Zeit und Kosten zu sparen.

## 3. Material und Methoden

### 3.1 Probenherkunft

Der Versuch wurde auf einer Dauergrünlandfläche in Aulendorf angelegt (590 m ü.NN., durchschnittlich 1000 mm Jahresniederschlag und 8,4°C Durchschnittstemperatur) und von 2003 bis 2008 durchgeführt. Vier unterschiedliche Behandlungen wurden verglichen. Die Parzellengröße

betrug 25m<sup>2</sup>, die Varianten wurden jeweils 4-fach wiederholt (Tabelle 1). Botanische Zusammensetzung, Trockenmasseertrag, Futterqualität (Energiegehalt, Rohprotein, Rohfaser und spezifischer Methanertrag) und die Siliereignung wurden untersucht. Das Methanbildungspotential wurde mit dem „Hohenheimer Biogasertragstest“ (HBT) an Proben aus den Jahren 2006 - 2008 ermittelt. Dafür wurden die frischen Grasproben getrocknet und gemahlen.

Tabelle 2. Beschreibung der Versuchsvarianten

|    | Behandlung                  | Schnittfrequenz  | Menge und Aufteilung der N-Düngung (kg /ha) |
|----|-----------------------------|--|---|
| V1 | Kontrolle                   | 5 Mal pro Jahr - praxisüblich  | 250 (60/60/60/50/20)                        |
| V2 | Früher Schnitt und Ernte    | 2 frühe Schnitte (Anfang Mai, Mitte Juni und ein 3. Schnitt im September)                            | 120 (60/60/0/0/0)                           |
| V3 | Früher Schnitt und Mulchen* | 2 frühe Schnitte (Anfang Mai, Mitte Juni und spätes Mulchen des 3. Aufwuchses im September)          | 160 (80/80/0/0/0)                           |
| V4 | Früher Schnitt und Mulchen* | 3 frühe Schnitte (Anfang Mai, Mitte Juni, Ende Juli und spätes Mulchen des 4. Aufwuchses im Oktober) | 120 (60/40/20/0/0)                          |

\* Für die Ertragsfeststellungen wurden die Mulchvarianten ebenfalls berücksichtigt.

### 3.2. Laboranalysen

Die Inhaltsstoffuntersuchungen wurden im Labor des LAZBW durchgeführt. Die Parameter und Methoden sind in Tabelle 3 aufgelistet.

Tabelle 3: Untersuchte Parameter im Frischmaterial und eingesetzte Methoden

| Parameter                                       | Methode  |
|---|--|
| Trockensubstanz, Rohprotein, Rohfaser, Rohasche | NAUMANN et al. (1976)  |
| Netto-Energie-Laktation                         | HFT nach MENKE u. STEINGASS (1987)<br>NEL nach GfE (1998) und Weißbach et al. (1996) |

### 3.3 Messung des Gasertrags mit dem Hohenheimer Biogasertragstest (HBT)

Am LAZBW wird seit Mai 2007 ein sogenannter „Hohenheimer Biogasertragstestes (HBT)“ eingesetzt (Helffrich & Oechsner, 2003). Die Proben werden dabei auf Gasausbeute, Methangehalt und Methanausbeute untersucht. Dabei werden nach DIN 4630 im klimatisierten Brutschrank 400 mg TM Probenmaterial und 30 ml Impfsubstrat bei 37 °C über 35 Tage vergoren und die Gasmenge sowie der Methanertrag erfasst. Nach DIN 38414 wird die Gasausbeute so lange gemessen, bis die tägliche Zunahme der Gasmenge unter 1 % (absolut) fällt. Damit wird eine hohe Ausbeute der eingewogenen Trockenmasse erreicht. Im HBT wird aus Gründen der Standardisierung die Fermentation bis zum 35. Tag fortgeführt. Gas- und Methanertrag werden in der Einheit Normkubikmeter (Nm<sup>3</sup>) einheitlich auf ein Kilogramm organische Trockenmasse (oTM) bezogen. Dabei ist die Trockenmasse (TM<sub>k</sub>) beim Einsatz von getrockneten Silagen um die bei der Trocknung flüchtigen Substanzen korrigiert.

Das standardisierte Impfsubstrat stammt von der Landesanstalt für landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen in Hohenheim. Für diese Unterstützung und auch sonst gute Zusammenarbeit danken wir Herrn Dr. Oechsner an dieser Stelle ganz herzlich.

#### 4. Ergebnisse und Diskussion

Bezüglich des Trockenmasseertrages und des Energieertrages wurden signifikante Unterschiede beobachtet (Tabelle 4). Generell lag der Stickstoffentzug in allen Varianten deutlich über der jeweiligen Stickstoffdüngung. Große Unterschiede konnten in der Energiedichte festgestellt werden, mit einem starken Abfall beim 3. und 4. Schnitt. Bezüglich des Energieertrages scheint es, dass die Reduktion der Schnitffrequenz eindeutige Effekte hervorruft. Mit der üblichen Bewirtschaftungsweise von 5 Schnitten konnte der höchste Energieertrag erzielt werden, aber Variante 4 (drei Schnitte mit einem späten Mulchschnitt) zeigte ebenfalls gute Ergebnisse bei gleichzeitiger Einsparung von N-Dünger und Arbeitszeit.

Die höchste Nutzungsintensität erbrachte auch den höchsten N-Ertrag je ha. Das in Grasaufwüchsen enthaltene Rohprotein bringt allerdings keinen Nutzen für die Biogasanlage, für die Milchkuh hingegen sehr wohl. Biogas besteht weitestgehend aus den beiden Fraktionen Methan (CH<sub>4</sub>) und Kohlendioxyd (CO<sub>2</sub>). Somit wird beim Abbau von Eiweiß lediglich der Kohlenstoff entzogen, der Stickstoff verbleibt im Fermenter bzw. im Gärrest. Somit kann sich durch die Zufuhr von viel eiweißreichen Substraten im Fermenter Stickstoff anreichern. Bei hohen Ammonium-N-Gehalten (NH<sub>4</sub>) im Fermenter wird Ammoniak frei, das als Zellgift wirkt und somit die mikrobielle Aktivität hemmen kann. Bei NH<sub>4</sub>-Gehalten von mehr als 4 kg /m<sup>3</sup> können Hemmungen auftreten, die Mikroorganismen sind aber in der Lage sich an höhere Konzentrationen zu adaptieren. Durch Verdünnen (Substratmix, Flüssigkeitszugabe) oder Prozesshilfsmittel, die Ammoniak binden, kann einer Hemmung entgegengewirkt werden (Gronauer et al. 2009).

Tabelle 4: Mittlere Erträge an Trockenmasse, Nettoenergie und Stickstoffabfuhr jeweils mit und ohne Berücksichtigung der Mulchschnitte in Variante 3 und 4 (Mittel 2004 - 2008) (gleiche Buchstaben = n.s. bei P<0.05)

| Variante | Trockenmasse (t ha <sup>-1</sup> ) |                   | Energie (NEL MJ ha <sup>-1</sup> ) |                   | N Ertrag (kg ha <sup>-1</sup> ) |                   |
|----------|------------------------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|
|          | Mit Mulchschnitt                   | Ohne Mulchschnitt | Mit Mulchschnitt                   | Ohne Mulchschnitt | Mit Mulchschnitt                | Ohne Mulchschnitt |
| 1        | 11,48 a                            | 11,48 a           | 69.667 a                           | 69.667 a          | 321,6 a                         | 321,6 a           |
| 2        | 10,08 b                            | 10,08 b           | 58.440 b                           | 58.440 b          | 239,5 c                         | 239,5 b           |
| 3        | 11,48 a                            | 7,93 d            | 65.263 a                           | 47.086 c          | 277,1 b                         | 204,2 c           |
| 4        | 11,53 a                            | 9,35 c            | 67.849 a                           | 55.501 b          | 293,7 b                         | 236,0 b           |
| LSD (5%) | 0,97                               | 0,56              | 5.711                              | 3.208             | 17,4                            | 16,1              |

Verzicht auf Nutzungen (Variante 2 im Vergleich zu Variante 1) führte zu einem signifikant geringeren Trockenmasseertrag. Tabelle 5 zeigt, dass unter Berücksichtigung aller Aufwüchse (auch den Mulchschnitten in Variante 3 und 4) in dieser Variante auch der Methanertrag tendenziell am geringsten ist. Allerdings lässt sich dies nicht immer signifikant gegenüber den anderen Varianten absichern.

Tabelle 5: Jährlicher Methanertrag in Norm-m<sup>3</sup> (Nm<sup>3</sup>) mit Berücksichtigung der Mulchschnitte in Variante 3 und 4 (gleiche Buchstaben = n.s. P<0.05)

| Variante | Jährlicher Methanertrag (Nm <sup>3</sup> / ha) |           |           |           |
|----------|--|-----------|-----------|-----------|
|          | Jahr 2006                                      | Jahr 2007 | Jahr 2008 | Mittel    |
| 1        | 2.350 c  | 3.618 a   | 2.887 a b | 2.952 a b |
| 2        | 2.499 b c                                      | 3.062 b   | 2.720 b   | 2.760 b   |
| 3        | 2.907 a  | 3.206 b   | 2.995 a   | 3.036 a   |
| 4        | 2.845 a b                                      | 3.625 a   | 2.902 a b | 3.124 a   |
| Mittel   | 2.650  | 3.378     | 2.876     | 2.968     |
| LSD (5%) | 371  | 405       | 269       | 249       |

Tabelle 6: Jährlicher Methanertrag in Norm-m<sup>3</sup> (Nm<sup>3</sup>) ohne Berücksichtigung der Mulchschnitte in Variante 3 und 4 (gleiche Buchstaben = n.s. P<0.05)

| Variante | Jährlicher Methanertrag (Nm / ha) |           |           | Mittel  |
|----------|-----------------------------------|-----------|-----------|---------|
|          | Jahr 2006                         | Jahr 2007 | Jahr 2008 |         |
| 1        | 2.350 a b                         | 3.618 a   | 2.887 a   | 2.952 a |
| 2        | 2.499 a                           | 3.062 b   | 2.720 a   | 2.760 a |
| 3        | 1.805 c                           | 2.388 c   | 2.155 c   | 2.116 c |
| 4        | 2062 b c                          | 3.078 b   | 2.392 b   | 2.510 b |
| Mittel   | 2.179                             | 3.036     | 2.539     | 2.585   |
| LSD (5%) | 363                               | 382       | 206       | 237     |

#### 4.1. Spezifische Methanausbeute

Die spezifische Methanausbeute ist ein Maß dafür, wie gut sich die organische Substanz in der Biogasanlage in Methan umsetzen lässt und ist somit der Maßstab für die Energiedichte eines Biogassubstrates. Die untersuchten Grasproben unterschiedlicher Nutzungsintensität (3 - 5 Schnitte) erzielten eine mittlere spezifische Methanausbeute von 294 Normliter (NI) / kg oTM. Die Methanausbeute der Einzelwerte schwankte dabei von 233 NI / kg oTM bis 338 NI / kg oTM. Das KTBL gibt als Richtwert für die Gasausbeute von Grassilage 320 NI Methan / kg oTM an (KTBL, 2010). In anderen Untersuchungen wurde eine deutlich stärkere Schwankungsbreite von 200 bis über 400 NI / kg oTM ermittelt (Kaiser & Gronauer, 2007). Die Methanausbeute von Grasaufwüchsen liegt damit etwas niedriger als die Methanausbeute von Maissilage. Diese ist vom KTBL mit 340 NI / kg oTM angegeben (KTBL, 2010). In Untersuchungen wurden bei Mais häufig Methanerträge von rund 350 NI / kg oTM ermittelt (Kaiser & Gronauer, 2007; Schumacher, 2008). Einzelne Proben, insbesondere vom 1. Schnitt bei Intensivgrünland mit 5 Schnitten lagen mit knapp 340 NI Methan / kg oTM auf dem Niveau von Mais.

Tabelle 7a: spezifische Methanausbeute der Schnitte 1 - 3 in NI / kg oTM mit Berücksichtigung der Mulchschnitte in Variante 3 und 4 (gleiche Buchstaben = n.s. P<0.05)

| Var.     | Spezifische Methanausbeute 1.<br>Schnitt (NI / kg oTM) |              |              | Spezifische Methanausbeute 2.<br>Schnitt (NI / kg oTM) |              |              | Spezifische Methanausbeute 3.<br>Schnitt (NI / kg oTM) |              |              |
|----------|--|--------------|--------------|--|--------------|--------------|--|--------------|--------------|
|          | Jahr<br>2006   | Jahr<br>2007 | Jahr<br>2008 | Jahr<br>2006   | Jahr<br>2007 | Jahr<br>2008 | Jahr<br>2006   | Jahr<br>2007 | Jahr<br>2008 |
| 1        | 304 a  | 331 a        | 320 a        | 267 a  | 300 a        | 310 b        | 254 c  | 288 a        | 314 a        |
| 2        | 307 a  | 327 a b      | 317 a        | 265 a  | 300 a        | 325 a        | 263 b  | 257 b        | 288 b        |
| 3        | 302 a  | 319 b        | 301 b        | 267 a  | 295 a        | 322 a b      | 284 a  | 242 b        | 278 c        |
| 4        | 302 a b  | 321 b        | 301 b        | 269 a  | 300 a        | 323 a b      | 270b   | 277 a        | 312 a        |
| Mittel   | 304  | 325          | 310          | 267  | 299          | 320          | 268  | 266          | 299          |
| LSD (5%) | 8,8  | 9,1          | 11,9         | 11,7   | 8,3          | 13,8         | 7,5  | 14,2         | 9,2          |

Tabelle 7b: spezifische Methanausbeute der Schnitte 4 + 5 in NI / kg oTM mit Berücksichtigung der Mulchschnitte in Variante 4 (gleiche Buchstaben = n.s. P<0.05)

| Var.     | Spezifische Methanausbeute 4.<br>Schnitt (NI / kg oTM) |              |              | Spezifische Methanausbeute 5.<br>Schnitt (NI / kg oTM) |              |              |
|----------|--|--------------|--------------|--|--------------|--------------|
|          | Jahr<br>2006   | Jahr<br>2007 | Jahr<br>2008 | Jahr<br>2006   | Jahr<br>2007 | Jahr<br>2008 |
| 1        | 284 a  | 290 a        | 302 a        | 290  | 294          | 324          |
| 4        | 270 b  | 269 b        | 295 a        |  |              |              |
| Mittel   | 277  | 280          | 299          |  |              |              |
| LSD (5%) | 11,5   | 8,6          | 17,9         |  |              |              |

#### 4.2. Beziehung zwischen spezifischer Methanausbeute und Energiedichte MJ NEL

Bei Futterproben wird standardmäßig als Parameter für die Energiedichte die Netto-Energie-Laktation ermittelt (MJ NEL / kg TM). Hier stellt sich nun die Frage, ob die Energiedichte ebenfalls als Parameter für die Gasausbeute dienen kann, um die zeitaufwändige und teure Gasertragsmessung einsparen zu können. Das Ergebnis in Abbildung 3 zeigt, dass zwar in der Tendenz ein Zusammenhang erkennbar ist ( $r^2 = 0,38$ ), die einzelnen Werte aber stark streuen.

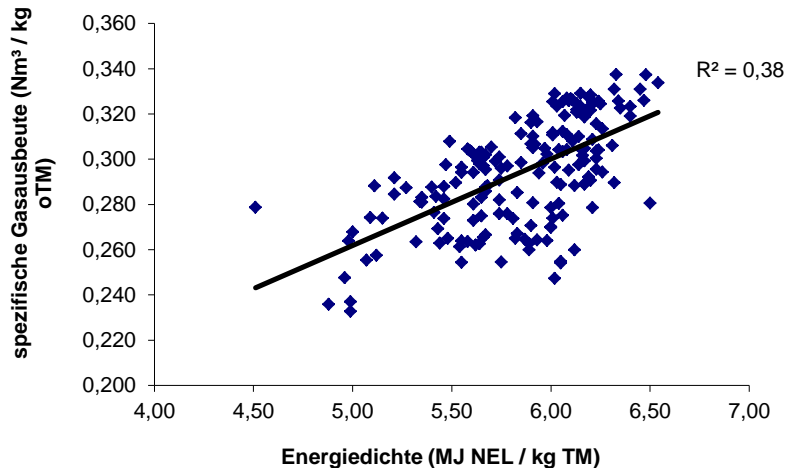


Abbildung 3: spezifische Methanausbeute (Nm³ / kg oTM) in Relation zur Energiedichte (MJ NEL / kg TM)

#### 4.3. Beziehung zwischen Methanertrag / ha und Ertrag an organischer Trockenmasse (oTM)

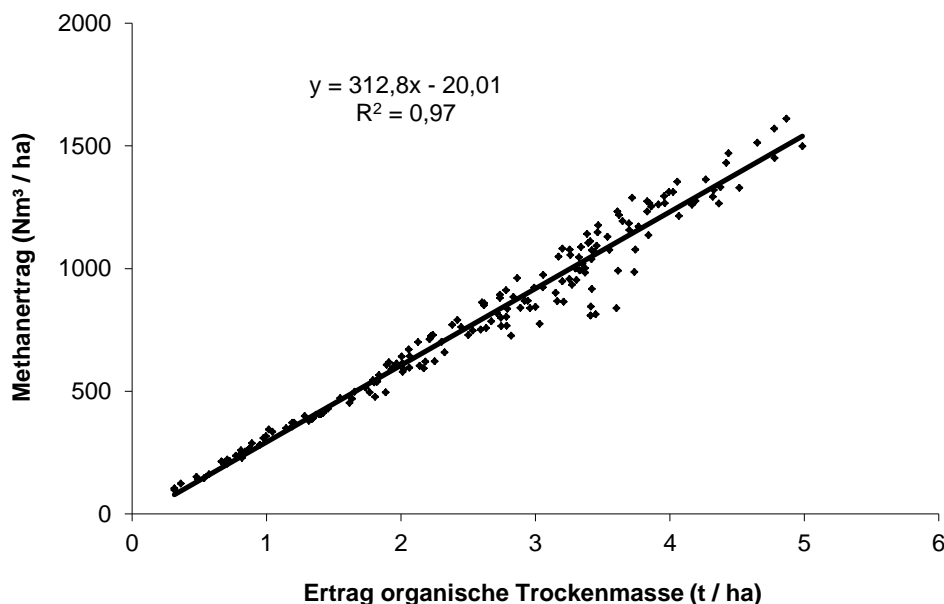


Abbildung 4: Zusammenhang zwischen Ertrag an oTM und an Methan

Biogasanlagen sind aufgrund der deutlich längeren Verweilzeit des Substrats im Gärbehälter, verglichen mit dem Wiederkäuer, in der Lage auch die langsam abbaubare organische Substanz noch gut zu verwerten. Im HBT mit dem fein vermahlenden Probenmaterial reichen 35 Tage Verweilzeit aus, in Praxisanlagen werden mittlere Verweilzeiten von 80 Tagen und mehr angestrebt. Die Mikro-

organismen in der Biogasanlage sind unter anaeroben Bedingungen in der Lage bei ausreichend Verweilzeit die organische Substanz mit Ausnahme von Lignin zu über 80% abzubauen und in Biogas umzusetzen (Chandler et al., 1980; Lemmer, 2005). Deshalb führen hohe Rohfasergehalte nicht zwingend zu geringeren Methanerträgen, entscheidend ist der Ligningehalt. Somit besteht ein sehr enger Zusammenhang zwischen dem Ertrag an organischer Trockenmasse und dem Methanertrag. Dies ist in Abb. 4 dargestellt.

#### 4.4. Spezifische Methanausbeute in Abhängigkeit von der Schnittfolge

Die spezifischen Methanausbeuten je Schnitt und Kalenderjahr sind in den Tabellen 7a und 7b dargestellt. In der Abbildung 5 sind die jeweiligen 3-jährigen Mittelwerte für die einzelnen Varianten je Schnitt graphisch dargestellt. Bei den Varianten 3 und 4 fällt der Methanertrag beim dritten Schnitt deutlich ab, da diese Aufwüchse erst spät genutzt werden. Bei der 5-schürigen Nutzung fällt auf, dass die spezifischen Methanerträge vom ersten bis zum dritten Schnitt abnehmen und danach wieder ansteigen. Aufgrund der hohen Temperaturen und starker Strahlungsintensität in den Sommermonaten wird hier möglicherweise mehr Lignin eingelagert, was vermutlich ursächlich zu den geringeren Gaserträgen dieser Aufwüchse führt. Der 5. Schnitt bringt für die Biogasanlage wieder fast die gleiche Energiedichte wie der erste Schnitt.

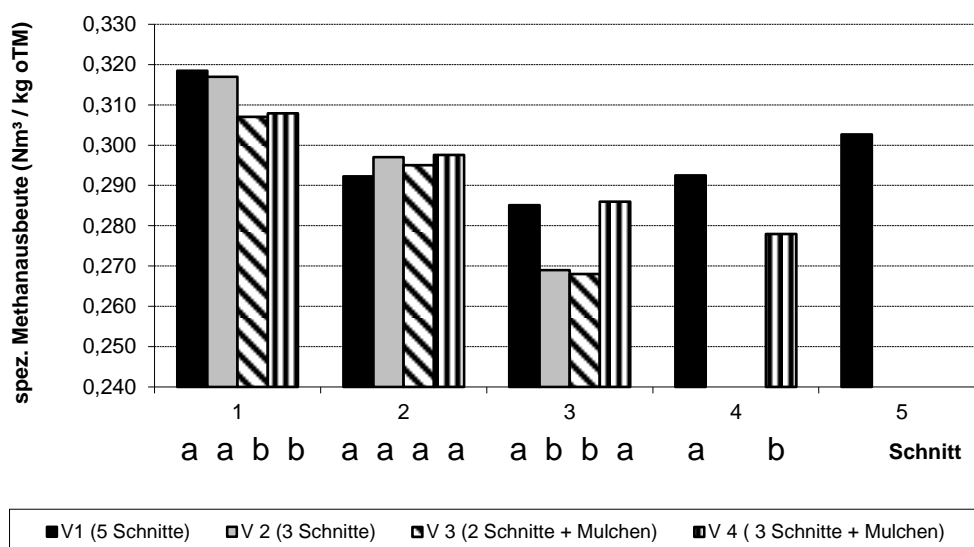


Abbildung 5: Mittlere spezifische Methanausbeuten in Nm<sup>3</sup> / kg oTM der unterschiedlichen Aufwüchse

#### 4.5. Spezifische Methanausbeute in Abhängigkeit vom Rohproteingehalt

Unterschiedliche Rohproteingehalte hatten keinen Einfluss auf die spezifische Methanausbeute. Lediglich der Methangehalt kann bei höheren Rohproteingehalten tendenziell ansteigen. Dies bestätigte sich allerdings in der vorliegenden Untersuchung nicht. Eiweißverbindungen weisen aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung einen Methangehalt im Biogas von rund 60% auf, Fette liegen bei gut 70% und Kohlenhydrate bei ungefähr 50% Methan im Biogas (Buswell, 1936). Zudem kann, wie bereits ausgeführt, bei hohen Rohproteingehalten eine Hemmung der Fermenterbiologie durch das freiwerdende Ammoniak erfolgen.



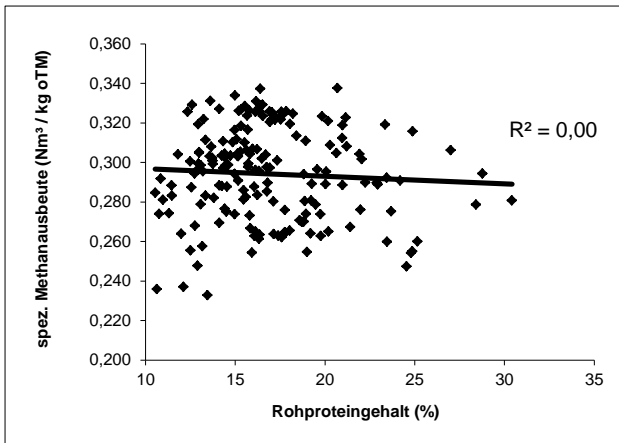


Abbildung 6: Zusammenhang zwischen Rohproteingehalt und spezifischer Methanausbeute

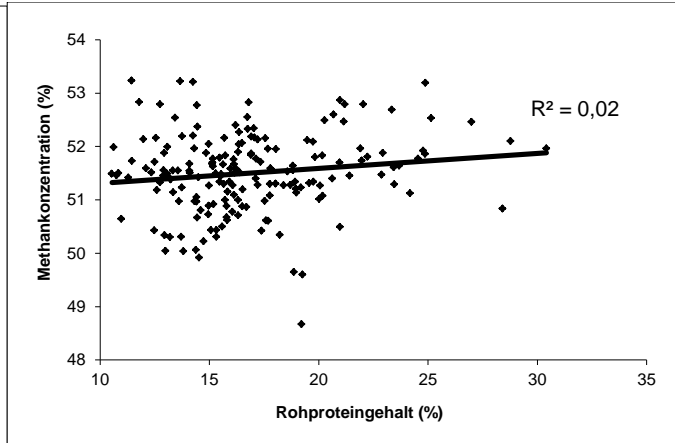


Abbildung 7: Zusammenhang zwischen Rohproteingehalt und Methankonzentration

#### 4.6. Spezifische Methanausbeute in Abhängigkeit vom Rohfaser- bzw. NDF-Gehalt

Es ist zu erwarten, dass die spezifische Methanausbeute bei steigendem Rohfasergehalt sinkt. Allerdings zeigt die Abbildung 8, dass es in der vorliegenden Untersuchung zwischen den beiden Parameter keinen Zusammenhang gibt. Eine gewisse Tendenz ergibt sich zumindest in Bezug auf den NDF-Gehalt. Somit lässt sich festhalten, dass die spezifische Methanausbeute nicht von einem einzelnen Parameter abgeleitet werden kann, sondern von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst wird. In einer anderen Untersuchung zeigte sich beispielsweise, dass bei identischen ADF-, bzw. NDF-Gehalten die spezifische Methanausbeute bei Gräsern deutlich höher lag als bei Kräutern und Leguminosen (Messner und Tonn, 2010 unveröffentlicht).

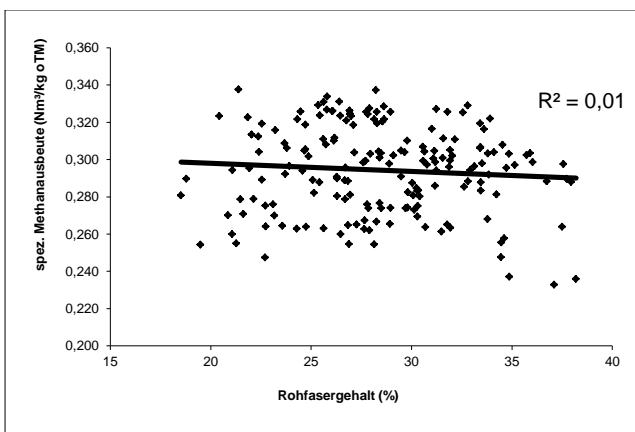


Abbildung 8: Zusammenhang zwischen Rohfasergehalt und spez. Methanertrag

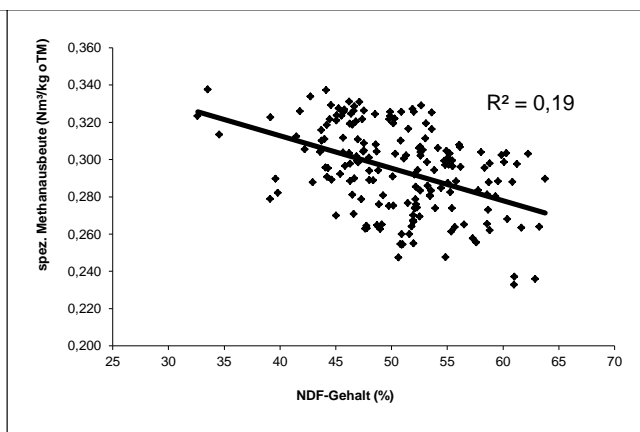


Abbildung 9: Zusammenhang zwischen NDF-Gehalt und spez. Methanertrag

#### 4.7. Effekte bei reduzierter Schnitffrequenz und deren ökonomische Bewertung

Da Biogasanlagen wie oben beschrieben in der Lage sind, auch Aufwüchse mit einer etwas geringeren Energiedichte noch gut zu verwerten, stellt sich die Frage, inwieweit eine Reduzierung der Schnitffrequenz sinnvoll und möglich ist, um bei der Grünlandbewirtschaftung Zeit und Kosten zu sparen. In der Praxis wird häufig beobachtet, dass Biogasbetriebe die Nutzungsfrequenz des Grünlandes um einen Schnitt reduzieren, um Erntekosten zu sparen. Dabei werden i.d.R. die Herbstauf-

wüchse zusammengefasst. Abbildung 10 zeigt, dass bei der 5-maligen Nutzung in manchen Jahren einzelne Schnitte nur einen geringen Energieertrag erzielen.

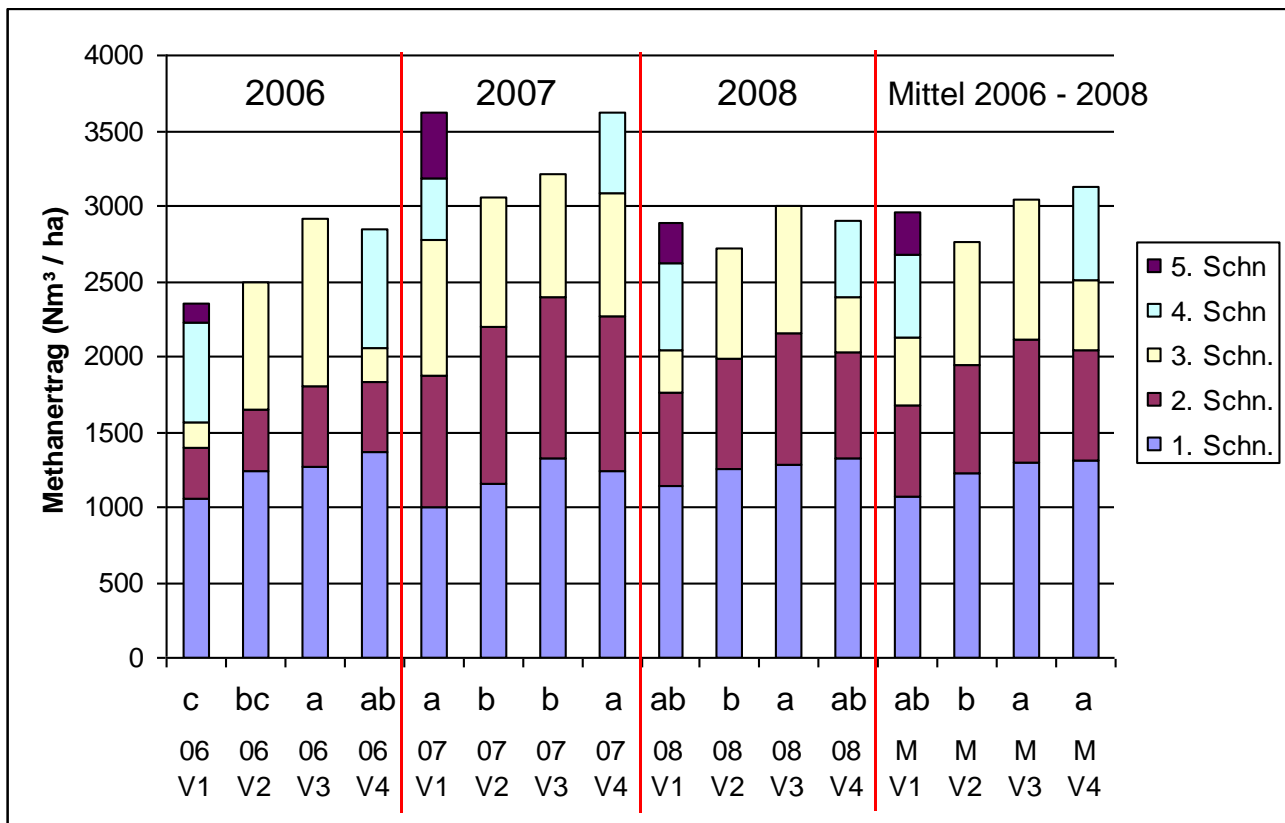


Abbildung 10: Jährlicher Methanertrag in Nm³ / ha der einzelnen Varianten mit Berücksichtigung der Mulchschnitte

Im Folgenden soll kurz darauf eingegangen werden, welche Auswirkung eine reduzierte Schnittfrequenz auf die ökonomische Situation haben kann. Werden die Varianten 1 (5 Schnitte) und die Variante 2 (3 Schnitte) verglichen, dann beträgt der Unterschied im Methanertrag durchschnittlich 192 m³ pro Hektar und Jahr. Diese Methanmenge muss somit auf anderen Flächen erzeugt oder zugekauft werden. Die Vollkosten für den Biomasseanbau frei Fahrsilo für einen m³ Methan aus Grassilage liegen laut Kalkulationsdaten Futterbau (LEL UND LAZBW, 2010) bei rund 0,4 €. Somit fallen jährlich 77 € an zusätzlichen Kosten an, um die gleiche Methanmenge zu erzeugen. Andererseits können zwei Schnitte eingespart werden. Die variablen Kosten für Mähen, Zetten, Schwaden und Häckseln liegen bei rund 80 - 110 € je Schnitt und Hektar. Somit können die Erntekosten je Hektar um 160 - 220 € gesenkt werden. Demnach ist die Kostenersparnis deutlich höher, als die Kosten für den Methanverlust. Andererseits kann der höhere Gehalt an Rohfaser durch die geringe Schnittfrequenz zu höheren Anforderungen an den Anlagenbetrieb führen. Gegebenenfalls erhöht sich der Rühraufwand, was zu einem höheren Prozessenergiebedarf und zu mehr Verschleiß führen kann. Dies ist jedoch stark abhängig von der Anlagentechnik und dem Substratmix.

Die Variante 4 (mit Berücksichtigung des Mulchschnitts) zeigt, dass bei einer viermaligen Schnittnutzung die gleichen Methanerträge erzielt werden können, wie bei der 5-Schnittvariante. Es kann ein Schnitt eingespart werden und durch die viermalige Nutzung wird die Pflanzenmasse in einem physiologisch jüngeren Stadium geerntet werden, wodurch die Probleme mit der Silierung und der Anlagentechnik im Vergleich zu der 3-Schnitt-Variante geringer sein dürften. In Tabelle 5 zeigt sich zudem, dass der Methanertrag je ha auch bei der 3 Schnitt-Variante auf dem Niveau der 5-Schnitt-Variante liegen kann, wenn der Düngeaufwand erhöht wird. Vergleicht man in Tabelle 5 und 6 die beiden Varianten 3 und 4, dann wird deutlich, dass es nicht sinnvoll erscheint, die Herbstaufwüchse nicht für die Biogaserzeugung zu nutzen. Ohne den letzten Aufwuchs fallen die Methanerträge je ha

um ca. 20% (Variante 4) bzw. 30% (Variante 3) ab. Somit dürfte eine Strategie von 3 - 4 Nutzungen, die über den gesamten Vegetationszeitraum verteilt sind, am vorteilhaftesten sein.

## 5. Empfehlungen für die Praxis

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass eine Reduzierung der Schnitthäufigkeit bei Grünland zwar möglich ist, aber auch Nachteile mit sich bringen kann und deshalb für Biogasanlagenbetreiber nur begrenzt anwendbar ist. Eine Reduzierung von 5 auf maximal 3 - 4 Schnitte ist aber durchaus sinnvoll und machbar. Eine noch stärkere Rückfuhr der Intensität ist aus mancherlei Gründen nicht anzuraten. Zu nennen sind: Der steigende Rohfasergehalt führt zu einer stärkeren Schwimmdeckenbildung im Fermenter. Der Rühraufwand erhöht sich, was einen höheren Eigenstromverbrauch mit sich bringt. Zudem ist auch der Verschleiß an Einbring- und Rührtechnik stärker und der Betreuungsaufwand an der Anlage steigt. Bei hohen Grassilageanteilen in der Ration verstärken sich diese Probleme, zudem ist die Anlagentechnik oftmals nicht hierfür geeignet. Die Silierbarkeit dieser rohfaserreichen und oft zuckerarmen Aufwüchse ist zudem problematisch, es kann zu Fehlgärungen (Zuckermangel) und Nacherwärmung (mangelnde Verdichtbarkeit) kommen. Zudem kann sich die veränderte Nutzungsintensität langfristig auch auf den Pflanzenbestand auswirken, was zu einem verringerten Trockenmasseertrag führen kann.

Eine stärkere Reduzierung der Schnittfrequenz ist deshalb in erster Linie für Betriebe interessant, die geringere Grassilageanteile in der Ration einsetzen und die nicht noch zusätzliche rohfaserreiche Substrate wie z.B. Festmist oder Getreide-GPS in größerem Stil einsetzen. Eine Reduzierung um einen Schnitt im Vergleich zur Grünlandbewirtschaftung für Milchviehfütterung ist aber häufig möglich. Darum muss bereits bei der Auswahl der Anlagentechnik stärker darauf geachtet werden robuste Technik einzusetzen, die nicht nur auf die Maisvergärung ausgerichtet ist, sondern auch mit rohfaserreichen und halmgutartigen Einsatzstoffen noch funktioniert. Folgende Punkte sollten beim Einsatz von rohfaserreichen Grasaufwüchsen beachtet werden:

- kurz häckseln
- verschmutzungsarme Futterbergung
- Nicht zu trocken einsilieren (30 – 35% TS)
- Lange Verweilzeiten von > 100 Tagen notwendig (Fermenter richtig dimensionieren)
- Passende Anlagentechnik wählen
- Kurze, großvolumige Eintragschnecken
- Kein Einpressen in den Fermenter
- Langsam laufende Rührwerke, mind. 2 Rührwerke im Fermenter
- Kombination mit stärkereichen und eiweißarmen Substraten (z.B. Maissilage)
- ggf. thermophiler Anlagenbetrieb (Heizungsdimensionierung, Eignung der Rührwerke und Fermenterisolierung beachten)
- ggf. Enzymeinsatz
- ggf. Vorbehandlung / Substrataufschluss

Bei sehr hohen Anteilen von extensiven Grasaufwüchsen, bzw. Landschaftspflegematerial, kann es auch denkbar sein, von der üblichen Nassvergärung mit stehenden Fermentern abzuweichen und ggf. Pfropfenströmer oder Feststoffvergärungsanlagen (Garagenfermenter) zu errichten. Allerdings liegen hier die Investitionskosten in der Regel deutlich höher, was einen wirtschaftlichen Betrieb der Anlage erschwert.

Aktuell werden sehr stark die verschiedenen Verfahren zum Substrataufschluss (Desintegration) diskutiert. Diese machen insbesondere dann Sinn, wenn größere Mengen an schwer abbaubaren, rohfaserreichen Substraten eingesetzt werden. In mehreren Untersuchungen und Forschungsprojekten wurden Mehrerträge durch den Substrataufschluss erzielt. Zudem konnte der Rühraufwand an der Anlage deutlich reduziert werden. Andererseits verursachen die Verfahren Investitions- und

Betriebskosten. Auch fehlt bei den meisten Verfahren die Praxis- und Langzeiterfahrung. Hier ist im Einzelfall genau zu prüfen, ob ein Einsatz an der Anlage sinnvoll ist und tatsächlich einen Mehrwert bringt (Oechsner & Lemmer, 2009).

Da die Biogasanlage auch qualitativ schlechtere Aufwüchse noch verwerten kann, können insbesondere in Betrieben mit der Kombination Milch und Biogas die Aufwüchse je nach Qualität der einen oder der anderen Nutzungsrichtung zugeführt werden.

## 6. Zusammenfassung

Grassilage stellt in Baden-Württemberg als Einsatzstoff mit knapp 20% an der pflanzlichen Biomasse für Biogasanlagen einen wichtigen Einsatzstoff dar. Die Verwendung von Grassilage bringt aber auch gewisse Nachteile mit sich, die sich negativ auf den Anlagenbetrieb auswirken können. Grassilage ist, bezogen auf die Energieeinheit, i.d.R. teurer als beispielsweise Maissilage. Eiweißreiche Grassilage kann zu prozessbiologischen Störungen im Fermenter führen, rohfaserreiche Grassilage hingegen zu Störungen der Anlagentechnik.

Grassilage von Wirtschaftsgrünland lässt sich durch anaerobe Vergärung energetisch gut nutzen. Bei Gasertragsmessungen im HBT wurden hohe spezifische Methanausbeuten erzielt, die teilweise nur geringfügig unter dem Niveau von Mais liegen. Um eine möglichst hohe Futterqualität für die Milchviehfütterung zu erzeugen, ist es notwendig, Grünland früh und häufig zu nutzen. Für die Nutzung in einer Biogasanlage dagegen scheint es vorteilhaft zu sein, hohe Trockenmasseerträge bei einer reduzierten Schnitffrequenz anzustreben. Zwischen dem Trockenmasseertrag und dem Methanertrag besteht ein eindeutiger Zusammenhang. Eine Nutzungshäufigkeit von 3 - 4 Schnitten erscheint auch auf sehr guten Standorten mit ortsüblich fünfmaliger Nutzung für die Biogasnutzung die richtige Strategie darzustellen. Zudem kann dies ökonomische Vorteile für den Biogaslandwirt mit sich bringen. Probleme können bei einer zu starken Absenkung der Schnitffrequenz durch den erhöhten Rohfasergehalt hervorgerufen werden. Dies ist jedoch ein technisches Problem und sollte lösbar sein. Deshalb ist bei der Auswahl der Anlagentechnik bereits darauf zu achten, dass rohfaserreiche Stoffe mitvergoren werden können.

## 7. Literatur

- Buswell, A.M., 1936. Anaerobic Fermentations - Bull.No.32. Div. State Water Survey. UNiv. of Illionois. 1936
- Chandler, J-A.; Jewell, W.J.; Gosset, J.M.; van Soest, P.J.; Robertson, J.B. (1980): Predicting methane fermentation biodegradability - Biotechnology and Bioengineering, No 10, 1980, S. 93-107
- DBFZ (2010): Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse - Zwischenbericht Projekt im Auftrag des BMU
- DIN 4630 (2006): Vergärung organischer Stoffe - Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. Beuth Verlag, Berlin.
- Elsässer, M. (2007): Two cuts - and afterwards? - Effects of adapted management on permanent grassland. Proceedings of the 14<sup>th</sup> Symposium of the European Grassland Federation, 580-583.
- GfE Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (1998), Proc. Soc. Nutr. Physiol. Band 7
- Gronauer, A; Andrade, D.; Bauer, C.; Effenberger, M.; Heuwinkel, H.; Leuhn, M.; Marin-Perez, C. (2009). Prozessoptimierung - Ein Zusammenspiel von Technik und Mikrobiologie. - Tagungsband zum KTBL / FNR-Biogas-Kongreß „Biogas in der Landwirtschaft - Stand und Perspektiven“. ISBN: 978-3-942147-00-2
- Härdtlein, et al. (2013): Schwachstellen-Identifikation und Optimierungspotenziale von Biogasanlagen in Baden-Württemberg - Eine technisch-ökonomische Analyse auf der Basis einer Befragung von Biogasanlagenbetreibern. [http://www.bioenergieforschungsplattform-bw.de/pb/site/pbs-bw-new/get/params\\_Dattachment/1681796/Biogasanlagenmonitoring%202012.pdf](http://www.bioenergieforschungsplattform-bw.de/pb/site/pbs-bw-new/get/params_Dattachment/1681796/Biogasanlagenmonitoring%202012.pdf)
- Helffrich, D. und Oechsner, H. (2003): Hohenheimer Biogasertragstest - Vergleich verschiedener Laborverfahren zur Vergärung von Biomasse. Landtechnik-Fachzeitschrift für Agrartechnik und ländliches Bauen: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL). Landwirtschaftsverlag Münster, Jahrgang 58, Heft 3, 148-149.

- Kaiser, F. und Gronauer, A. (2007). Methanproduktivität nachwachsender Rohstoffe in Biogasanlagen. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, LfL-Information, Juli 2007
- KTBL (2010), Gasaussbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. ISBN 978-3-941583-42-9
- LEL und LAZBW (2010). Kalkulationsdaten Futterbau 3.5 - Grünland / Acker / Kofermente
- Lemmer, A. (2005). Kofermentation von Grüngut in Landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Dissertation Universität Hohenheim. VDI-MEG Schrift 435
- Menke, K.H. und Steingäß, H. (1987): Schätzung des energetischen Futterwerts auf der in vitro mit Pansen-saft bestimmten Gasbildung und der chemischen Analyse - II. Regressionsgleichungen. Übers. Tierernäh-rung 15, 59-94
- Messner, J. (2009): Wie rechnet sich Biogas im Hochschwarzwald? - Badische Bauernzeitung Nr. 17, 2009, S.29 -31
- Messner, J. und Elsässer, M. (2011): Auch Gras gibt Gas! - die Bewertung von Grünlandaufwüchsen zur Bio-gasnutzung aus baden-württembergischer Sicht. Tagungsband DLG-Grünlandtagung 2011
- Messner, J; Nussbaum, H. und Elsässer, M (2012): Specific utilization intensity of permanent grassland used as biogas-substrate. Proceedings of the 16<sup>th</sup> Symposium of the European Grassland Federation, 392-394.
- Naumann, K.; Bassler, R.; Seibold, R.; Barth K. (1976): Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. - Me-thodenbuch, Band III, mit Ergänzungen von 1983, 1988, 1993, 1997, 2004 und 2006. Verband deutscher landw. Untersuchungs- und Forschungsanstalten. VDLUFA-Verlag Darmstadt
- Oechsner, H. und Lemmer, A. (2009): Wie lässt sich die Effizienz einer Biogasanlage steigern? - Tagungs-band der 18. Jahrestagung des Fachverbandes Biogas e.V., S.105-112
- Prochnow, A.; Heiermann, M.; Drenckhan, A.; Schelle, H. (2007): Biomethanisierung von Landschaftspflege-aufwuchs - Naturschutz und Landschaftsplanung 39, 2007, S. 19-24
- Rösch, C.; Raab, K.; Skarka J.; Stelzer V. (2007): Energie aus dem Grünland – eine nachhaltige Entwicklung? - Wissenschaftliche Berichte FZKA 7333
- Schumacher, B. (2008). Untersuchungen zur Aufbereitung und Umwandlung von Energiepflanzen in Biogas und Ethanol. Dissertation Universität Hohenheim. ISBN: 978-3-86664-492-2
- Weißbach, F.; Kuhla, S.; Schmidt, L. (1996): Proc. Soc. Nutr. Physiol. 5, S. 115