

## Erhalt ökologisch wertvoller Grünlandstandorte durch eine Integrierte Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse (IFBB-Verfahren)

Richter, F.<sup>1</sup>, Kuschnerreit, S., Graß, R., Fricke, T. und Wachendorf, M.

*Keywords: Semi-natural grassland, nature conservation, biogas, solid fuel, bioenergy.*

### Abstract

*As a new utilisation concept for the conservation of ecologically valuable habitats the integrated generation of solid fuel and biogas from biomass (IFBB) was tested on five semi-natural grasslands from typical German mountain areas. Through hydrothermal conditioning and mechanical dehydration grassland silage was separated into a press cake and a press fluid. In anaerobic digestion experiments with press fluids methane yields of 304 to 522 normal litre per kg organic dry matter were obtained within 13 days. The specific methane production was higher and went faster compared to the fermentation of the untreated grassland silage. Elemental analyses of the press cakes showed a significant reduction in compounds detrimental for combustion. The ash softening temperature and the lower heating value of the press cakes increased compared to the parent material. The conditioning at high temperatures (60°C and 80°C) showed the best effects for a qualitative improvement of the press fluid as fermentation substrate and the press cake as solid fuel compared to the untreated grassland silage. The energy conversion efficiency of the IFBB procedure (52-62%) was higher compared to a conventional digestion of the whole crop silage (26%). In view of the results, the IFBB procedure is a promising utilisation alternative for areas managed under nature conservation standards, whose biomass is difficult to exploit.*

### Einleitung und Zielsetzung

Aufgrund mangelnder Einkommensperspektiven in der Milchviehhaltung und eines auch im ökologischen Landbau (ÖL) steigenden Kraffuttereinsatzes werden ca. 25% des deutschen Grünlandes für Futterzwecke künftig keine Verwendung mehr finden (Prochnow et al. 2007). Am stärksten davon betroffen sind extensiv bewirtschaftete, artenreiche Grünlandbestände, die aufgrund von ungünstigen Standortverhältnissen meist keine andere Bewirtschaftung zulassen. Für den notwendigen Erhalt dieser naturschutzfachlich wertvollen Flächen mit ihren wichtigen Funktionen im Bereich des Umwelt- und Artenschutzes, aber auch ihrem ästhetischen Wert muss ein neues ökologisch und ökonomisch sinnvolles Nutzungskonzept gefunden werden. Dafür bietet sich eine energetische Verwertung an. Die auch im ÖL diskutierten negativen Auswirkungen des Energiepflanzenbaus, wie Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion oder Ausweitung von Mais-Monokulturen können dabei vermieden werden. Die herkömmlichen energetischen Verwertungsverfahren weisen jedoch in Bezug auf Biomasse von extensiv bewirtschaftetem Grünland einige Nachteile auf. Diese werden durch hohe Faser- und Ligningehalte im Falle der Vergärung zu Biogas und durch hohe Aschegehalte im Falle der direkten Verbrennung hervorgerufen und machen eine Verwertung vielfach unrentabel (Lemmer und Oechsner, 2001).

Vor diesem Hintergrund wurde das Verfahren der „Integrierten Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse“ (IFBB) entwickelt (Graß et al. 2007). Es hat zum

---

<sup>1</sup> Universität Kassel, FG Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Steinstr. 19, 37213 Witzenhausen, Deutschland, frichter@uni-kassel.de, www.agrar.uni-kassel.de/gnr

Ziel, sowohl eine möglichst effiziente Konversion der in der Biomasse enthaltenen Energie zu realisieren, als auch im Gegensatz zu konventionellen Bioenergiesystemen, die Nutzung futterbaulich ungünstiger, aber ökologisch wertvoller Flächen zu ermöglichen. Durch hydrothermale Konditionierung und mechanische Entwässerung wird die verlustarm als Silage konservierte Grünlandbiomasse in einen faserarmen, leicht vergärbaren Presssaft und einen aschereduzierten, als Festbrennstoff nutzbaren Presskuchen separiert. Der Strom aus der Biogasproduktion des Presssaftes wird ins öffentliche Stromnetz eingespeist, während die Abwärme, im Gegensatz zu vielen konventionellen Biogasanlagen, ganzjährig und vollständig zur Trocknung des Presskuchens genutzt wird. Dieser steht dann als lager- und verkaufsfähiger Brennstoff bereit und kann zu Pellets verarbeitet werden. Als drittes Produkt entsteht ein mineralstoffreicher Gärrest, der die teilweise Rückführung der Nährstoffe auf die landwirtschaftlichen Flächen gewährleistet und somit einer wichtigen Zielsetzung im ÖL, weitestgehend geschlossenen Nährstoffkreisläufen, Rechnung trägt.

Ziel der vorliegenden Studie war es, Grünlandbiomasse extensiver Standorte nach dem IFBB-Verfahren zu verwerten und das Methanpotenzial der Presssäfte in Gärversuchen sowie die Brennstoffqualität der Presskuchen zu analysieren, um daraus auf die Konversionseffizienz dieser Energiebereitstellung zu schließen.

### Material und Methoden

Das Ausgangsmaterial (AM) für die Untersuchungen stammte von fünf extensiven Grünlandflächen in den Höhenlagen der deutschen Mittelgebirge Rhön und Schwarzwald, die in einem späten ersten Schnitt (Ende Juli bzw. Ende August) beerntet und deren Biomassen zur Konservierung für 3 Monate einsiliert wurden. Bei den Flächen handelte es sich um zwei Magerrasen, ein Kleinseggenried, eine Hochstaudenflur und eine Goldhaferwiese. Nach Prüfung der Silagequalität (Geruch, Aussehen) wurde jede Silage im Rahmen der hydrothermalen Konditionierung in drei verschiedenen Temperaturstufen (5°C, 60°C, 80°C) mit Wasser im Verhältnis 1:4 (Silage:Wasser) für 15 Minuten gemischt. Anschließend fand die mechanische Entwässerung mit einer Schneckenpresse (Typ Av, Fa. Anhydro, Kassel) statt.

Die Presssäfte (PS) und die AM als Ganzpflanzensilagen (GPS) wurden in Batch-Versuchen mit Doppelbestimmung in 20-l-Fermentern bei 37°C für 13 (PS) bzw. 27 (AM) Tage vergoren. Als Impfsubstrat diente Gülle aus einer landwirtschaftlichen Biogasanlage. Aus den Gärversuchen wurde die spezifische Methanausbeute in Normlitern je kg organische Trockensubstanz ( $\text{Nl kg}^{-1} \text{ oTS}$ ) ermittelt. Im Presskuchen (PK) und im AM wurden die Gehalte der für die Verbrennung schädlichen Elemente sowie der wasserfreie Heizwert ( $H_{u(wf)}$ ) und die Ascheerweichungstemperatur bestimmt.

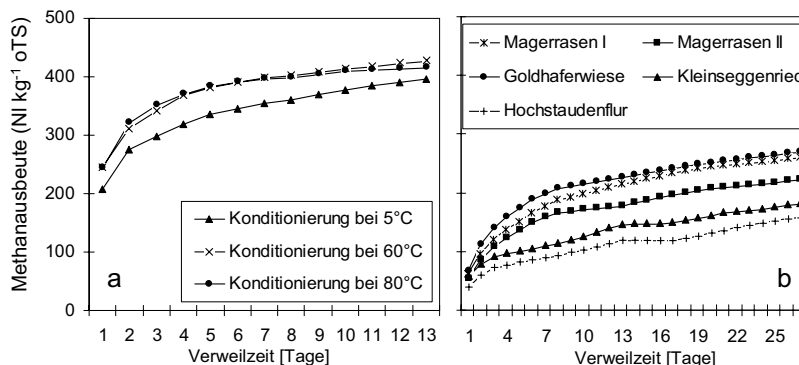
Zur Berechnung der Konversionseffizienz des Verfahrens wurden Energieinput (Ernte, Lagerung, hydrothermale Konditionierung, mechanische Entwässerung, Fermenterbetrieb, Trocknung und Pelletierung der PK) und Energieoutput (Strom und Wärme aus PS, Wärme aus PK) erfasst. Der daraus errechnete Nettoenergieertrag wurde als prozentualer Anteil der in der Biomasse enthaltenen Energie (Heizwert) angegeben. Als Vergleichsverfahren diente die konventionelle GPS-Vergärung der AM.

Als statistische Auswertung wurden Varianzanalysen mit den fünf Beständen als Wiederholungen auf dem Signifikanzniveau  $P < 0.05$  und Mittelwertvergleiche (Tukey Test) mit der GLM procedure in SAS 9.1 (SAS Institute, Cary, NC, USA) durchgeführt.

### Ergebnisse und Diskussion

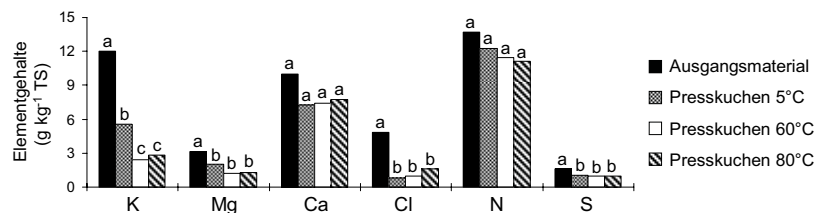
Eine hohe Methanbildung in den ersten vier Tagen des Versuches (80-89% der gesamten Methanausbeute) war kennzeichnend für die Vergärung der PS (Abb. 1a).

Die spezifische Methanausbeute war im Temperaturstufen-Mittel bei den warm konditionierten Varianten höher (60°C: 426 NI kg<sup>-1</sup> oTS, 80°C: 415 NI kg<sup>-1</sup> oTS) als bei den 5°C-Varianten (397 NI kg<sup>-1</sup> oTS) und lag zwischen den Extremwerten 304 (Magerrasen I, 5°C) und 522 (Magerrasen II, 60°C) NI kg<sup>-1</sup> oTS. Die hier ermittelten spezifischen Methanausbeuten übertreffen damit deutlich die von Mais-GPS mit beispielsweise 312-365 NI kg<sup>-1</sup> oTS (Amon et al. 2007). Die Methanbildung der GPS aus dem AM erfolgte hingegen langsamer und kontinuierlicher über den gesamten Versuchszeitraum, während die spezifische Methanausbeute mit 158 (Hochstaudenflur) bis 268 (Goldhaferwiese) NI kg<sup>-1</sup> oTS deutlich geringer war (Abb. 1b)



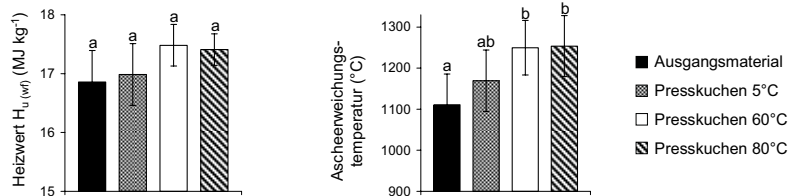
**Abbildung 1: Gärverläufe und spezifische Methanausbeuten der (a) Presssäfite bei unterschiedlichen Konditionierungstemperaturen (Mittelwerte der 5 Grünlandbestände) und (b) Ausgangsmaterialien (Ganzpflanzensilagen)**

Die Gehalte der feuerungstechnisch problematischen Elemente waren im PK gegenüber dem AM um bis zu 80% (K, Cl) bzw. 60% (Mg) reduziert (Abb. 2). K, Mg und Cl führen zur Erweichung der Asche und rufen Korrosionen im Brennkessel hervor (Hartmann, 2001). Eine stärkere Reduktion innerhalb der PK durch hohe Konditionierungstemperaturen konnte bei K (signifikant) und Mg beobachtet werden. Die vergleichsweise geringe Reduktion des Ca-Gehaltes ist positiv zu bewerten, da dieses Element der Ascheerweichung entgegen wirkt (Hartmann, 2001). Eine Minderung der emissionsrelevanten Elemente S und N fand nur in geringem Maße statt.



**Abbildung 2: Gehalte verschiedener Elemente als Mittelwerte der 5 Bestände im Ausgangsmaterial und den Presskuchen bei unterschiedlicher Konditionierung**

Im Vergleich mit dem AM zeigten sich in den PK leicht gesteigerte Heizwerte und eine signifikante Erhöhung der Ascheerweichungstemperatur (Abb. 3), die mit bis zu 1250°C das Niveau von Weidenholz aus Kurzumtriebsplantagen erreichte (Hartmann, 2001). Insgesamt wiesen die bei 60°C bzw. 80°C konditionierten PK die besten Brennstoffqualitäten auf.



**Abbildung 3: Heizwert und Ascheerweichung als Mittelwerte der 5 Bestände im Ausgangsmaterial und den Presskuchen bei unterschiedlicher Konditionierung**

Die mittlere Konversionseffizienz (Verhältnis Nettoenergieertrag zu Energiegehalt der Biomasse) lag beim IFBB-Verfahren bei 52% (5°C Konditionierung), 62% (60°C) und 59% (80°C), während sie bei der GPS-Vergärung inklusive vollständiger Abwärmenutzung nur 26% betrug. Der Anteil der elektrischen Energie am Nettoenergieertrag betrug dabei im Mittel aller Varianten 5% (IFBB) bzw. 51% (GPS-Vergärung), der Anteil der Wärmeenergie entsprechend 95% (IFBB) bzw. 49% (GPS-Vergärung).

### Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass mit dem IFBB-Verfahren eine viel versprechende Nutzungsalternative für schwierig zu verwertende Biomassen zur Verfügung steht, die auf ihre wirtschaftliche Realisierbarkeit hin geprüft werden muss. Bei der Erzeugung der Biomasse können naturschutzfachliche Gesichtspunkte (z.B. später Erntetermin, Erhalt von artenreichen Habitaten durch Nutzung) und geopolitische Ziele (Schonung fossiler Ressourcen, Klimaschutz) miteinander verknüpft werden. Darüber hinaus kann mit hoher Konversionseffizienz Bioenergie ohne Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion erzeugt werden. Für eine nachhaltige Flächenbewirtschaftung müssen jedoch Nährstoffzüge durch den Presskuchen (vor allem N) ausgeglichen werden.

### Literatur

- Amon T., Amon B., Kryvoruchko V., Zollitsch W., Mayer K., Gruber L. (2007): Biogas production from maize and dairy cattle manure - influence of biomass composition on the methane yield. *Agriculture, environment and the ecosystem* 118: 173-182.
- Graß R., Reulein J., Scheffer K., Wachendorf M. (2007): Innovatives Nutzungsverfahren zur energetischen Verwertung von Biomassen aus naturschutzfachlich bedeutsamen Landschaften. In: Beiträge zur 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Hohenheim, 20.-23. März 2007, Band 1, S. 125-128.
- Hartmann, H. (2001): Brennstoffzusammensetzung und -eigenschaften. In Kaltschmitt, M. and Hartmann, H. (Hrsg.): *Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 248-272.
- Lemmer A., Oechsner H. (2001): Kofermentation von Gras und Silomais. *Landtechnik* 56: 412-413
- Prochnow A., Heiermann M., Idler C., Linke B., Mähner P., Plöchl M. (2007): Biogas vom Grünland: Potenziale und Erträge. In: *Gas aus Gras und was noch? Schriftenreihe des Deutschen Grünlandverbandes*, 1/2007: 11-22. Deutscher Grünlandverband, Berlin.