

Vergleichende Untersuchung alternativer Verfahrensketten für die Einwerbung und Vergärung von Grünlandaufwüchsen

U. Keymer¹, M. Effenberger², S. Thurner², J. Ostertag³, M. Strobl¹, J. Winkler¹, R. Kissel², F. Ebertseder² und P. Scheiber²

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, ¹INSTITUT FÜR LÄNDLICHE STRUKTURENTWICKLUNG, BETRIEBSWIRTSCHAFT UND AGRARINFORMATIK,
Menzinger Str. 54, 80638 München,

²INSTITUT FÜR LANDTECHNIK UND TIERHALTUNG,
Vöttinger Str. 36, 85354 Freising

³INSTITUT FÜR TIERERNÄHRUNG UND FUTTERWIRTSCHAFT,
Prof.-Dürrwaechter-Platz 3, 85586 Poing; Stefan.Thurner@LfL.Bayern.de

1. Einleitung und Problemstellung

Grünland wird bisher überwiegend zur Grundfutterbereitung für Wiederkäuer genutzt. Als Alternative bietet sich auch die energetische Verwertung, entweder als Substrat in Biogasanlagen oder als Brennstoff an. Eine Studie zum Potential der Nutzung von Grünland zur Biogaserzeugung in Bayern kommt zu dem Ergebnis, dass bis 2020 ein Rückgang des Rinderbestands um 18,8 % zu erwarten ist, und somit eine Fläche von bis zu 200.000 ha Grünland freigesetzt werden kann (LfL, 2011). Weiterhin stehen auch vermehrt Klee grasflächen von ökologisch wirtschaftenden Ackerbaubetrieben für eine energetische Nutzung in Biogasanlagen zur Verfügung. Im vorliegenden Projekt sollen die technischen und betriebswirtschaftlichen Herausforderungen der Nutzung von Gras oder Klee gras in Biogasanlagen analysiert und bewertet werden. Ziel der Arbeiten ist es, an fünf bestehenden Biogasanlagen, die überwiegend Gras oder Klee gras als Einsatzstoff nutzen, verfahrenstechnische und ökonomische Daten zu erheben. Daraus sollen Empfehlungen für die technische Ausstattung und das Management von Betrieben mit solchen Biogasanlagen abgeleitet werden. Die auszuwählenden Anlagen sollen möglichst die vorherrschende Vielfalt an Standorten sowie an Anlagenkonzepten in Bayern abbilden.

Beim Silomais ist pro Jahr nur eine Erntekampagne notwendig. Im Gegensatz dazu müssen Grünland- und Klee grasflächen je nach Standort und Nutzungsintensität zwischen zwei- bis sechsmal pro Jahr beerntet werden, wobei der gesamte Trockenmasseertrag in günstigen Fällen den von Silomais erreichen kann. Zudem erfordert jede Erntekampagne beim Grünland oder Klee gras mehrere absätzi ge Arbeitsschritte, die optimal aufeinander abgestimmt sein müssen. Ziel des ersten Projektteils ist es daher, verschiedene Verfahrensketten für die Ernte und Konservierung von Grünlandaufwüchsen für Biogasanlagen hinsichtlich der Verfahrensqualität und verschiedener verfahrenstechnischer Kenndaten wie z.B. Betriebsmitteleinsatz oder Arbeitskraft- und -zeitbedarf zu vergleichen und Optimierungspotentiale zu identifizieren. Im Speziellen soll der Schmutzeintrag in das Erntegut mit angepasster Technik bzw. korrekter Technikeinstellung reduziert werden, da die größeren Kornfraktionen zu Ablagerungen im Fermenter führen, welche das Risiko von Prozessstörungen erhöhen und später aufwändig aus den Gärbehältern entfernt werden müssen. Im Weiteren werden die konkurrierenden Verfahren Häcksler und Kurzschnittladewagen bezüglich der optimalen Schnittlänge, des dafür benötigten Energieaufwands und verschiedener Möglichkeiten zur späteren Nachzerkleinerung vor oder im Fermenter

und den dabei zu erzielenden Methanausbeuten untersucht. Bei der Konservierung der Erntegüter geht es vor allem um die Vermeidung von Verlusten. Dazu wird in regelmäßigen Abständen an den Betrieben ein Silocontrolling durchgeführt und entsprechende Kenngrößen wie der wöchentliche Vorschub ermittelt.

Der Einsatz hoher Anteile an Grünlandaufwuchs oder Klee gras in einer Biogasanlage ist im Vergleich zur gülle- und stärkebetonten Fütterung mit höheren Anforderungen an die Technik und das Management verbunden. Aufgrund der physikalischen Eigenschaften des Materials müssen Eintrags-, Rühr- und Fördertechnik angepasst werden. Zudem muss aufgrund der chemischen Eigenschaften (hoher Stickstoffgehalt) mit hohen Ammoniumstickstoff-Gehalten in der Gärsuspension gerechnet werden, die in Form von Ammoniak zur Hemmung des Biogasprozesses führen können. An der LfL liegen aus mehreren Jahren des Monitorings von Biogasanlagen mit Ackerfrüchten (vorwiegend Silomais) als Einsatzstoffen umfangreiche Daten als Vergleichsbasis für das Monitoring der Vergärung von Grünland bzw. Klee gras basierten Biogasbetrieben vor (EFFENBERGER ET AL., 2010; BACHMAIER ET AL., 2011). Ziel dieses zweiten Projektteils ist es daher, basierend auf einer umfangreichen Datenerfassung verfahrenstechnische Kennzahlen der Biogaserzeugung zu ermitteln. Aus den Beobachtungen sollen Empfehlungen für die technische Ausstattung und das Management von Biogasanlagen, die überwiegend Grünland- oder Kleeaufwuchs vergären, abgeleitet werden.

Neben den verfahrenstechnischen Aspekten ergeben sich auch hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Gras oder Klee gras in Biogasanlagen verschiedene Besonderheiten. Erfahrungsgemäß ist von höheren Erntekosten im Vergleich zu Getreide oder Mais sowie von Mehrkosten in der Anschaffung und im Anlagenbetrieb auszugehen. Zudem ist die Ertragslage von Grünland bzw. Klee grasflächen oft nur vage bekannt. Die daraus resultierende Unsicherheit führt zusammen mit den genannten Mehrkosten dazu, dass der Einsatz von Gras oder Klee gras als Substrat in Biogasanlagen oft nicht erstrebenswert erscheint. In bestimmten Regionen stehen Gras- und Klee grasflächen jedoch kostengünstig zur Verfügung, was die genannten Faktoren relativieren kann. Im Hinblick darauf soll die ökonomische Auswertung der ausgewählten Biogasanlagen mehr Aufschluss darüber geben, wie die Wirtschaftlichkeit von den genannten Faktoren im Detail abhängt. Dies betrifft neben der Rentabilität v.a. auch den Aspekt des Investitionsrisikos. Diesbezügliche Unterschiede bei den verschiedenen Anlagenkonzepten, die hinsichtlich Ernte und Gärprozess in der Praxis und auch bei den Pilotbetrieben bestehen, werden dabei besonders betrachtet. Aufbauend auf den Ergebnissen der einzelbetrieblichen Analysen ist es ein weiteres Ziel dieses dritten Projektteils, die entscheidenden Stellgrößen für die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Gras und Klee gras aufzuzeigen, um für Beratung und Praxis eine fundierte Planungsgrundlage zu schaffen.

2. Material und Methoden

Um geeignete Pilotbetriebe zu finden, wurde in Zusammenarbeit mit den Fachberatern an den Ämtern für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten in Bayern sowie durch Kontaktaufnahme mit verschiedenen Anlagenherstellern eine Liste mit Biogasbetrieben erstellt, die zum größten Teil Gras oder Klee gras als nachwachsenden Rohstoff einsetzen. Diese Betriebe wurden besucht und auf Ihre Eignung für eine Projektteilnahme überprüft, wobei grundlegende Daten zur Anlage und zum landwirtschaftli-

chen Betrieb erhoben wurden. Schließlich wurden fünf Pilotbetriebe ausgewählt (Tab. 1 und Tab. 2).

Tabelle 2: Technische Daten zu den Biogasanlagen der Pilotbetriebe

Betriebskennung	17	18	19	20	21
BHKW-Nennleistung [kW _{el}]	265	180	147	100	625
Anzahl BHKW *	1	2	1	1	2
Gärraum-Nutzvolumen [m ³]	2.400	1.200	1.800	1.540	4.800
Anzahl der Gärstufen	2	2	2	2	2
Gärtemperatur [°C]	44/52	42	50	43	45
Massenanteil GS / KGS** [%]	70	66	55	44	70
Zerkleinerung vor/im Fermenter	nein	nein	geplant	nein	ja

* BHKW: Blockheizkraftwerk

** am Gesamtinput inkl. Gülle; GS: Grassilage vom Grünland; KGS: Kleegrassilage vom Acker

Die ausgewählten Betriebe werden mit der erforderlichen Mess- und Datenverarbeitungstechnik ausgestattet bzw. nachgerüstet. Soweit möglich werden Daten automatisch geloggt und mittels Datenfernübertragung übermittelt. Daten von allen Erntekampagnen und vom Silocontrolling für den ersten Projektteil werden vor Ort automatisiert erhoben und wo nötig mit entsprechenden manuellen Aufzeichnungen und Probenahmen ergänzt. Daten, die für den zweiten Projektteil nicht automatisch aufgezeichnet werden können (z.B. Einsatzstoffmengen), werden von den Betreibern in einem elektronischen Betriebstagebuch dokumentiert. Hierfür wurde eine Anwendung für PDA programmiert, mit welcher der Betreiber die Betriebsdaten bei seinem täglichen Rundgang auf der Anlage erfassen und auf seinen PC übertragen kann. Von dort werden die Daten täglich per E-Mail an den Projektbearbeiter übermittelt.

Tabelle 2: Flächenausstattung der Pilotbetriebe und Verfahrensketten zur Ernte und Konservierung

Betriebskennung	17	18	19	20	21
Überwiegendes Substrat*	KGS	KGS	GS	GS	GS
Grünland / Klee gras [ha]	137	100	35	61	bis 400
Anzahl Schläge [n]	24	24	4	21	>100
Verfahrensglieder Mähen bis Schwaden*	MK + KS	MK + Band-schwader	MK + Z + KS	MK + Z + KS	MK + Z + KS
Verfahrensglieder Bergen*	H + LKW + SL	H + LKW + SL	KSL	KSL	H + KSL + Silierwagen
Verfahrensglieder Einlagerung*	Radlader + Schubraupe	Radlader	Radlader	Traktor	TL + Traktor

*KGS: Klee grassilage; GS: Grassilage; MK: Mähkombination; Z: Zetter; KS: Kreiselschwader; KSL: Kurzschnittladewagen; H = Häcksler; TL: Teleskoplader

Jeder Betrieb wird mindestens einmal im Monat oder bei Bedarf (z.B. Ernte) besucht, um die Messtechnik zu kontrollieren und Proben vom Erntegut sowie von den Einsatzstoffen, den Gärgemischen und ggf. dem Gärrest zu gewinnen. Neben den in

Tab. 3 dargestellten chemischen Parametern der Einzelproben werden in Proben von den Einsatzstoffen alle drei Monate Untersuchungen nach Weender und Van Soest sowie auf die Hauptnährstoffe und Indikatoren für den Gärprozess wie Gärsäuren und FOS/TAC-Wert durchgeführt. Ferner wird mit den Betreibern bei jedem Besuch ein Gespräch über den Verlauf des Anlagenbetriebs geführt.

Tabelle 3: Chemisches Untersuchungsprogramm für die Proben von den Pilotbetrieben

Parameter / Probenart*	Erntegut	Silagen und weitere feste Einsatzstoffe	Gülle	Gär-gemische	Gär-rückstand
TM [Massen-%]	x	x	x	x	x
Korr. TM-Gehalt [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$]	x	x	-	-	-
XA [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$]	(x)	x	x	x	x
oTM [% TM]	(x)	x	x	x	x
CSB [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$]	-	(x)	-	(x)	(x)
KS4,3 [$\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$]	-	-	-	x	-
FFS gesamt [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	-	(x)	(x)	x	(x)
FOS/TAC [-]	-	-	-	x	-
pH [-]	-	(x)	x	x	x
Milchsäure [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	-	(x)	-	-	-
Essigsäure [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	-	(x)	(x)	x	(x)
Propionsäure [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	-	(x)	(x)	x	(x)
iso-Buttersäure [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	-	(x)	(x)	x	(x)
Buttersäure [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	-	(x)	(x)	x	(x)
iso-Valeriansäure [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	-	(x)	(x)	x	(x)
Valeriansäure [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	-	(x)	(x)	x	(x)
Alkohol [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$] / [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	-	(x)	-	-	-
NH ₃ -Anteil am ges. N [%]	-	(x)	-	-	-
NH ₄ ⁺ -N [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	-	(x)	(x)	x	x

* x: Untersuchung an allen Proben; (x): Untersuchung an einem Teil der Proben

Bei der kontinuierlichen Datenauswertung werden für die Pilotbetriebe verfahrenstechnische Kennzahlen ermittelt, die zur Beurteilung der Effizienz und Leistungsfähigkeit der Verfahrensketten bei der Ernte und Konservierung sowie der Biogasanlagen erforderlich sind (vgl. Tab. 4 und 5). Durch das chemische Untersuchungsprogramm werden zusätzlich die Abbauleistung und die Stabilität des Gärprozesses beurteilt. Weitergehende Auswertungen, beispielsweise zum spezifischen Stromverbrauch der Hauptkomponenten (Rührwerke, Eintrags- und Pumpentechnik), erlauben eine Beurteilung des Einflusses der Beschaffenheit des Grünland- bzw. Kleegras-aufwuchses im Vergleich zu anderen Einsatzstoffen.

Die ökonomische Bewertung erfolgt anhand einer Leistungs-Kostenrechnung. Die relevante Erfolgsgröße ist dabei der Unternehmergewinn. Datengrundlage sind die entsprechenden bestands- und erfolgswirksamen Vorgänge im Unternehmen, die weitgehend aus den Aufzeichnungen der Buchhaltung entnommen werden, sowie ergänzende produktionstechnische Daten der Biogasanlagen. Die praktische Umsetzung dieser Auswertung erfolgt mit Hilfe des an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft entwickelten EDV-Programms „BZA Biogas nach DLG-Standard“

Tabelle 4: Auswahl aus den zu ermittelnden Kenngrößen der Verfahrensketten zur Ernte und zum Silocontrolling

Kenngröße	Einheit	Kenngröße	Einheit
Arbeitszeit	$h \cdot ha^{-1}$	Trockenmasse- (TM-) ertrag	$t \cdot ha^{-1}$
Flächenleistung	$ha \cdot h^{-1}$	Ernteverluste	%TM
Transportweg Straße/Feld	$km \cdot ha^{-1}$	Anschnittfläche	m^2
Transport/Verdichtungsleistung	$t \cdot h^{-1}$	Vorschub bei Siloentnahme	$m \cdot Woche^{-1}$
Treibstoffverbrauch	$l \cdot ha^{-1}$	Lagerungsdichte	$kg \cdot TM \cdot m^{-3}$
Frischmasseertrag	$t \cdot ha^{-1}$	Temperatur	$^{\circ}C$

Tabelle 5: Auswahl aus den zu ermittelnden Kenngrößen der Biogasanlagen

Kenngröße	Einheit	Kenngröße	Einheit
FM-Durchsatz*	$t \cdot d^{-1}$	Restmethanpotential	$l_N \cdot kg \text{ FM}^{-1}$
oTM-Durchsatz*	$t \cdot d^{-1}$	Stromausbeute oTM	$kWh \cdot t \text{ oTM}^{-1}$
Hydr. Verweilzeit	d	Netto-Stromausbeute	$kWh \cdot t \text{ oTM}^{-1}$
Raumbelastung	$kg \text{ oTM} \cdot (m^3 \cdot d)^{-1}$	Eigenstrombedarf	$kWh \cdot d^{-1}$
CH ₄ -Gehalt im Biogas	Vol.-%	Wärme-Nutzung extern	$kWh \cdot d^{-1}$
H ₂ S-Gehalt im Biogas	ppm	Wärmeverbrauch	$kWh \cdot d^{-1}$
Biogasausbeute FM	$m^3_N \cdot t^{-1}$	Arbeitsausnutzung BHKW	%
Biogasausbeute oTM	$l_N \cdot kg \text{ oTM}^{-1}$	Elektr. Nutzungsgrad BHKW	%

* FM: Frischmasse; oTM: organische Trockenmasse

Aufgrund ihrer herausragenden Bedeutung werden die Kosten der Biomasse-Ernte-Logistik genauer untersucht. Neben den hier entstehenden Kosten werden auch produktionstechnische Daten erfasst, dabei vor allem die Einsatzumfänge von Arbeitskräften und Maschinen, der Kraftstoffverbrauch sowie die geernteten Substratmengen. Dies ermöglicht einen Vergleich der Ernteverfahren, indem die Kosten auf die Menge Erntegut bezogen werden.

Literatur

- EFFENBERGER, M., H. BACHMAIER, E. KRÄNSEL, A. LEHNER und A. GRONAUER (2010): Wissenschaftliche Begleitung der Pilotbetriebe zur Biogasproduktion in Bayern - Abschlussbericht. *LfL-Schriftenreihe*: 1/2010.
- BACHMAIER, H., F. EBERTSEDER, M. EFFENBERGER, R. KISSEL, E. RIVERA GRACIA und A. GRONAUER (2011): Wissenschaftliche Begleitung der Pilotbetriebe zur Biogasproduktion in Bayern – Fortsetzung 2008 – 2010. *LfL-Schriftenreihe*: 5/2011.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL) (2011): Nutzung von Grünland zur Biogaserzeugung – Machbarkeitsstudie. *LfL-Schriftenreihe*: 4/2011.