

Biogas im Ökolandbau - Prozessführung bei der Vergärung von Kleegrassilage



www.biogas-forum-bayern.de/bif29

Biogas Forum Bayern, Verfasser:

Rainer Kissel

Vasilis Dandikas

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Inhaltsverzeichnis

Seite

1. Ökologischer Landbau in Bayern	4
2. Düngung im ökologischen Landbau ohne Tierhaltung	4
3. Düngung im ökologischen Landbau mit Biogasanlage	4
3.1 Problematik der Biogasproduktion im ökologischen Landbau	4
3.2 Bisheriger Kenntnisstand an begleiteten Praxisanlagen	5
3.2.1 Anlagentechnik	5
3.2.2 Fermenterbiologie	5
3.3 Neu erarbeitete Erkenntnisse (LfL 2021)	6
3.3.1 Versuchstechnik und Betriebsparameter	6
3.3.2 Fütterungsmanagement	7
3.3.3 Ergebnisse: Maßnahmen zur Behebung von Störungen.....	8
3.3.4 Ergebnisse – Vermeidung von Störungen durch Anhebung des C/N-Verhältnisses.....	9
3.3.5 Ergebnisse – chemische Parameter.....	10
4. Fazit.....	10
Quellenverzeichnis	11

1. Ökologischer Landbau in Bayern

Im Jahr 2020 bewirtschafteten in Bayern rund 11.000 Ökobetriebe ca. 385.000 ha Land. Das entspricht einem Anteil von knapp 12 % an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche Bayerns (StMELF, 2021). Gemessen an der Gesamtzahl der deutschen Ökobetriebe nehmen die bayerischen einen Anteil von rund 30 % ein. Ei-

ne Erhebung des Instituts für Ernährungswirtschaft und Märkte der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) zeigt, dass rund 40 % der Betriebe mit mehr als 10 ha Fläche, die zwischen 2015 und 2017 begonnen hatten auf ökologischen Landbau umzustellen, Betriebe ohne Tierhaltung sind (Enzler, 2018).

2. Düngung im ökologischen Landbau ohne Tierhaltung

Für Ökobetriebe ohne Tierhaltung ist eine ausreichende Nährstoffversorgung der Nutzpflanzen wesentlich schwieriger zu erreichen als für Ökobauern mit Tieren. Zwar dürfen auch diese keine Mineraldünger einsetzen, können das aber zu einem großen Teil durch den Einsatz von Wirtschaftsdüngern kompensieren. Tierlose Ökobetriebe hingegen müssen den Stickstoff von in die Fruchtfolge integrierten Leguminosen nutzen, um die Versorgung der Folgekulturen

sicher zu stellen. Diese „Stickstoffsammler“ werden in der Regel gemulcht und eingearbeitet. Der Stickstoff ist jedoch auf diese Weise nicht immer dann verfügbar, wenn er von den Pflanzen gebraucht wird, was neben Ertragseinbußen auch zu erhöhten Stickstoffausträgen führen kann. Zudem verursacht nach Blumenstein et al. (2015) allein der Mulchvorgang bereits Stickstoffverluste von ca. 20 %.

3. Düngung im ökologischen Landbau mit Biogasanlage

Durch eine Aufbereitung des Leguminosenaufwuchses in Biogasanlagen kann neben der energetischen Nutzung der fixierte Stickstoff in eine größtenteils schnell pflanzenverfügbare Form umgewandelt und bedarfsnah eingesetzt werden. Hülsbergen (2018) attestiert den Biogas-Gärresten eine direkte (in Form von Ammonium (NH_4^+)-N) und eine langfristige Düngewirkung (in Form von N_{org}). Sie erhöhen den Stickstoffvorrat im Boden und damit das N-Mineralisierungspotenzial. Somit können insbe-

sondere die viehlosen Betriebe im ökologischen Landbau von der Vergärung der Leguminosenbestände profitieren, die nun als räumlich mobiler Dünger (Gärrest) zur Verfügung stehen, der die Frischmasseerträge von ökologisch produziertem Weizen oder Kartoffeln fast verdoppeln kann (Blumenstein et al., 2015). Eine Konkurrenzsituation zur Nahrungserzeugung entsteht bei der Biogasproduktion nicht, da die Leguminosen ohnehin zur Düngung angebaut würden.

3.1 Problematik der Biogasproduktion im ökologischen Landbau

Da erhöhte Stickstoffgehalte im Gärgemisch toxisch auf die Prozessbiologie wirken können, ist der stabile Betrieb einer Biogasanlage mit hohen Anteilen an stickstoffreichem Substrat schwierig. Es ist davon auszugehen, dass das

C/ N-Verhältnis beim schwerpunktmäßigen Leguminoseneinsatz dabei eine große Rolle spielt. Diese Zahl ohne Einheit gibt das Gewichtsverhältnis vom organischen C-Gehalt (C_{org} in g / L) und dem Gesamtstickstoff (N_{tot} in g / L) an. Die

Zahl ist ein wichtiger Parameter für die Stickstoffverfügbarkeit der Mikroorganismen im Fermenter. Ein zu niedriges (enges) C/N-Verhältnis im Fermenter, von z. B. kleiner als 10 kann zu einer vermehrten Produktion von Ammoniak im Fermenter führen, was das Zellwachstum behindert und somit zu einer Verminderung des Gasertrags führen kann. Für die richtige Berechnung wichtig: $C/N = C_{org}/N_{tot}$. Den Wert für C_{org} erhält man, indem vom Ge-

samt-C-Gehalt der anorganische Anteil abgezogen wird. Der hohe Faseranteil der Leguminosen verursacht eher Störungen technischer Art, kann aber auch zu einer Anreicherung der Trockenmasse™ im Fermenter führen. Welche Probleme auftreten können, anhand welcher Parameter sie zuverlässig und rechtzeitig erkannt werden können, ob und wie sie im Vorfeld vermieden bzw. beseitigt werden können, wird in Kapitel 3.3 besprochen.

3.2 Bisheriger Kenntnisstand an begleiteten Praxisanlagen

Im Rahmen des von der LfL durchgeführten Monitorings an Praxisbiogasanlagen wurden u. a. auch vier Anlagen auf ökologisch bewirtschafteten Betrieben untersucht. Hier wurden

die Tücken des Einsatzes hoher Anteile an stickstoffreichen Einsatzstoffen, vor allem von Kleegrassilage, deutlich (Kissel et al. 2017). Diese werden im Folgenden kurz beschrieben.

3.2.1 Anlagentechnik

In der Frühphase der Grasvergärung wurden zahlreiche Probleme durch Anlagenkomponenten verursacht, die sich für die Maisvergärung als geeignet erwiesen hatten, beim Einsatz größerer Anteile von Gras jedoch Störungen zur Folge hatten: Häufig brachen Eintragungsschnecken, bildeten sich massive Schwimmdecken, verstopften Pumpen und Leitungen und stiegen durch die erforderliche Intensivierung der Rührvorgänge die Stromverbräuche deutlich an. Da-

raufhin wurden die Durchmesser von Eintragungsschnecken auf 40 cm oder mehr vergrößert und Drehkolben- durch Exzentrerschneckenpumpen ersetzt. Auf externe Heizungen wurde verzichtet und Tauchmotorrührwerke bzw. Stabmixer wurden durch langsam laufende Rührgeräte ersetzt (z. B. Paddel- oder Zentralrührwerke). Durch diese Maßnahmen wurden mechanische Probleme erfolgreich beseitigt.

3.2.2 Fermenterbiologie

In Tab. 1 sind die Klee grasanteile der vier von der LfL untersuchten Biogasanlagen dargestellt. Im Gärgemisch aller vier Biogasanlagen wurden hohe Säurekonzentrationen und ungünstige Verhältnisse zwischen Propion- und Essigsäure festgestellt, was auf eine Beeinträchtigung der Biologie hinweist. In zwei Fällen lagen die

mittleren Konzentrationen von Ammoniumstickstoff bei über 3 g/L Fermenterinhalt, bei einem sogar über 4 g/L. Nach Effenberger et al. (2010) kann ein Ammoniumgehalt von ca. 3 g/L im mesophilen Temperaturbereich (ca. 38 °C) bei einem pH-Wert von 8,2 eine deutliche Hemmwirkung verursachen.

Tab. 1: Klee grasanteile in vier Biogasanlagen auf Ökobetrieben

Betrieb ID	A	B	C	D
Anteil von Klee gras an der zugeführten Frischmasse, %	77	88	56 + Geflügelmist: 17	63

Dennoch erreichten die Anlagen im Mittel elektrische Auslastungsgrade zwischen 90 und 92 %. Diese Werte sind überraschend hoch, zumal die Gärtemperaturen für eine leichtere Durchmischbarkeit des faserreichen Materials deutlich höher lagen als 38 °C, was die Problematik der Ammoniak induzierten Hemmung noch verschärft. Gleichzeitig wurde in drei Fällen eine stark schwankende elektrische Auslastung beobachtet und in einem Fall konnte nach einer massiven technischen Störung der Regelbetrieb erst nach einem Jahr wieder aufgenommen werden. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich die Biozönosen in den untersuchten Anlagen erfolgreich an die Bedingungen bei erhöhten Ammoniumgehalten anpassen können. Offensichtlich reagieren diese aber sehr sensibel auf Veränderungen durch zusätzliche Stressfaktoren wie z. B. Substratwechsel, Spurennährstoffmangel oder schwankende Gärtemperatu-

ren. So kam es im Verlauf des Beobachtungszeitraums auch ohne deutliche Veränderungen bei den Betriebsparametern in allen Anlagen wiederholt zu deutlichen Einbrüchen bei den Gasbildungsraten, die sich ohne Gegenmaßnahmen auch nicht mehr erholten. Folgende Gegenmaßnahmen wurden getroffen:

- ▶ Verdünnen mit Wasser zur Senkung der Ammoniumkonzentration.
- ▶ Verdünnen mit Rindergülle (gleicher Effekt, aber gleichzeitige Animpfung).
- ▶ Zugabe stickstoffarmer und leichter hydrolysierbarer Substrate wie CCM oder Maissilage.

Ein Patentrezept für die Beseitigung der Störungen gab es hierbei nicht. Die Erholungsphasen dauerten bei den unterschiedlichen Maßnahmen zwei Wochen bis mehrere Monate.

3.3 Neu erarbeitete Erkenntnisse der LfL

Aufgrund dieses fehlenden Patentrezepts zur Behebung oder Vermeidung von Störungen in Biogasanlagen, die hohe Leguminosenanteile einsetzten, wurde an der LfL experimentell versucht eine geeignete Methode zu erarbeiten. Bei der Planung wurde großen Wert darauf gelegt, dass die verwendeten Substrate für einen Biobetrieb in Frage kommen, so dass die Konzepte auch in die Praxis umgesetzt werden kön-

nen. Geprüft wurden nur die Effekte auf die erste Stufe einer Anlage (ohne Nachgärer). Insgesamt wurden vier unterschiedliche Fütterungskonzepte für je ein Jahr geprüft: Zwei Konzepte, bei denen Gegenmaßnahmen bei Störungen auf Wirksamkeit und Wirkdauer getestet wurden und zwei, bei denen Störungen durch die Futterstrategie von vornherein verhindert werden sollten.

3.3.1 Versuchstechnik und Betriebsparameter

Für die Durchflussversuche wurden vier Laborfermenter mit je 40 L Gärraum verwendet. Jedes der vier Konzepte wurde in zwei Wiederholungen geprüft. Damit Mangelerscheinungen oder Stoßbelastungen als Problemursacher ausgeschlossen werden konnten, wurden regelmäßig Spurenelemente einge-

setzt und die Fütterung auf mehrere Gaben pro Tag verteilt. Die verwendete, von einem Biobetrieb stammende Kleegrassilage wurde zusätzlich gehäckselt. Als Grundlage für die eingestellten Betriebsparameter (Tab. 2) wurden die Daten von fünf Pilot-Biogasanlagen auf Ökobetrieben in Bayern herangezogen.

Tab. 2: Betriebsparameter für die Durchflussversuche

Betriebsparameter	Einheit	Wert
Raumbelastung	kg oTM/(m ³ ·d)	4
Verweilzeit	Tage	60
Fermentertemperatur	°C	45

3.3.2 Fütterungsmanagement

Anhand zweier Varianten wurde die Wirksamkeit von Maßnahmen zur Behebung von Störungen geprüft, die durch sehr hohe Kleeerasanteile hervorgerufen werden können. Bei der ersten bestand die tägliche Standardfuttermischung aus Kleeeras und Rindergülle, bei der zweiten wurde ausschließlich Kleeeras gefüttert. Wenn Störungen anhand reduzierter Gasbildungsrate und sinkender Methangehalte erkannt wurden, wurde ein Teil des Kleeerases durch leicht abbaubare Substrate (CCM) ersetzt, um die Essigsäurebildung zu fördern. Bei der reinen Kleeerasvariante wurde außerdem Gülle zugemischt (Verdünnung und Animpfung).

Anhand weiterer zwei Varianten galt es herauszufinden, ob die Eigenschaften bestimmter Substrate, die zusammen mit den Leguminosen eingesetzt werden, den Biogasprozess dauerhaft stabilisieren können. In diesem Zusammenhang wurde zusätzlich zum Kleeeras das Stroh

von Körnermais gefüttert, um das C/N Verhältnis auf 16 : 1 anzuheben. Denn grundsätzlich sollte bei der Zusammenstellung der Einsatzstoffe darauf geachtet werden, dass ein C/N-Verhältnis von etwa 15:1 bis 30:1 eingehalten wird, damit hohe Methanerträge bei stabilem Betrieb erreicht werden können. Da im Fermenter aufgrund des C-Abbaus bei der Methanbildung das C/N-Verhältnis stetig kleiner wird, ist es vorteilhaft, wenn die C/N-Verhältnisse der Einsatzstoffe bekannt sind. In der Fachinformation [“Einsatzstoffspezifische Besonderheiten bei der Prozessführung”](#) des Biogas Forum Bayern können typische C/N-Verhältnisse für verschiedene Einsatzstoffe eingesehen werden. Da nicht auszuschließen war, dass es zu gärbioologischen Problemen kommt, wurde auch hier ein Futterkonzept für den Störfall entworfen.

Die Verhältnisse der einzelnen Futterbestandteile aller vier Varianten im Regelbetrieb („Standard“) sind in Tab. 3 dargestellt.

Tab. 3: Frischmassebezogene Anteile der Futterbestandteile der Varianten bei Standardfütterung in %

Fütterungsart	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Standard	70 KG: 30 RG	100 KG	60 KG: 20 RG : 20 KMS	70 KG : 30 KMS

*KG = Kleeeras, RG = Rindergülle, MKS = Maiskörnsilage, KMS = Körnermaisstroh

Im Störfall wurden alle Varianten mit 20 % KG + 70 % RG + 10 % CCM beschickt.

3.3.3 Ergebnisse: Maßnahmen zur Behebung von Störungen

Die Standardfütterung (Tab. 3) für Variante 1 wurde während 80 % der gesamten Versuchsdauer (rund 300 Tage), die für Variante 2 lediglich während 57 % eingesetzt, auch weil die Methanbildung bei der Variante mit Güllezusatz nur einmal und bei der reinen Klee grasvariante dreimal stark abnahm. Die Maßnahmen zur Stabilisierung und der Zeitpunkt der Maßnahmen wurden im Laufe des Versuchs angepasst. Wenn die Gasproduktion nur noch bei 60 % der Produktion im stabilen Betrieb lag, wurde dies als Hemmung definiert und die Futtermischung zunächst nur leicht modifiziert - was ohne Wirkung blieb. Erst die unter Tab. 3 beschriebene Mischung brachte den gewünschten Effekt. Bei weiteren Hemmungen (nur Variante 2) wurde bereits dann eingegriffen, wenn die Gaspro-

duktion bei 70 % des stabilen Betriebs lag. Es wurde dann sofort die wirkungsvolle Mischung verabreicht, woraufhin sich der Genesungszeitraum von 63 auf 21 Tage reduzierte.

Bei der letzten Hemmung wurde statt Gülle Wasser zugesetzt, was ebenfalls und in der gleichen Geschwindigkeit zum Erfolg führte. In Abbildung 1 sind die Kurven der täglichen Gasproduktion und des Methangehalts für Variante 1 und 2 in einem Diagramm dargestellt. Dass die Gasproduktion der Variante ohne Gülle deutlich stärker schwankte und dort dreimal so häufig die 70 % der stabilen Produktion unterschritten wurden zeigt, dass diese wesentlich anfälliger für Störungen war.

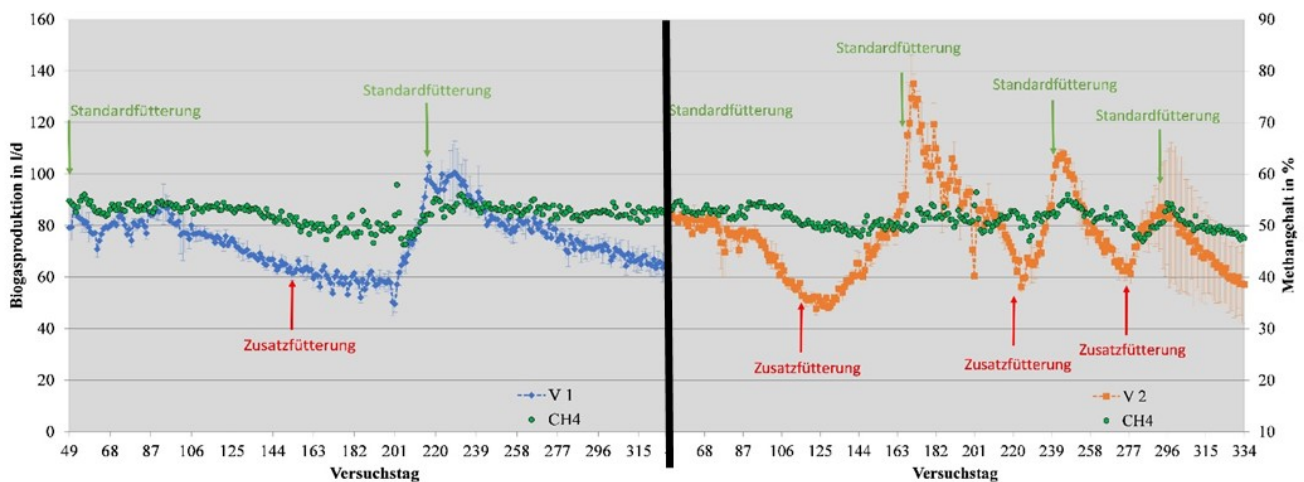


Abb. 1: Biogasproduktion und Futterstrategie der Varianten 1 (links) und 2 (rechts)

Auffällig ist, dass in den Perioden mit Standardfütterung bei beiden Varianten generell ein abnehmender Trend bezüglich der Gasproduktion zu beobachten ist. In den Phasen mit Zusatzfütterung wurden dann offenbar vorher nicht

nutzbare Potentiale mobilisiert und abgebaut, so dass sich die maximal produzierten Gas mengen der beiden Varianten stark voneinander unterschieden, nicht aber die mittleren Methanausbeuten (Abb. 1 und Tab. 4).

Tab. 4: Methanausbeute der Varianten 1 und 2 in l/kg oTM

	Variante 1	Variante 2
Mittelwert	237	241
Min	141	137
Max	332	429

3.3.4 Ergebnisse – Vermeidung von Störungen durch Anhebung des C/N-Verhältnisses

Die Beeinflussung des C/N-Verhältnisses durch die zusätzliche Fütterung eines kohlenstoffreichen Substrats (Körnermaisstroh), führte zu einem deutlich stabileren Verlauf der Gasproduktion. Dies betrifft sowohl die Variante mit, als auch die ohne Gülleeinsatz. Die Standardfütterungsmischung konnte bei beiden über den gesamten Versuchszeitraum eingesetzt werden, Störungen traten nicht auf. Allerdings kam es in beiden Fällen zur Anreicherung von TM in den Ferment-

tern bis zu einem Gehalt von 17,5 % (mit Gülle) bzw. über 18,5 % (ohne Gülle), die durch Verdünnen mit Wasser auf 16 % eingestellt werden musste, um die Technik zu schonen. Bemerkenswert ist die schnelle Reaktion der Biologie auf veränderte Bedingungen. Deutlich zu erkennen ist in Abb. 2 der rasche Anstieg des Methangehalts in beiden Varianten, nachdem die Fütterung für einen Tag ausgesetzt wurde.

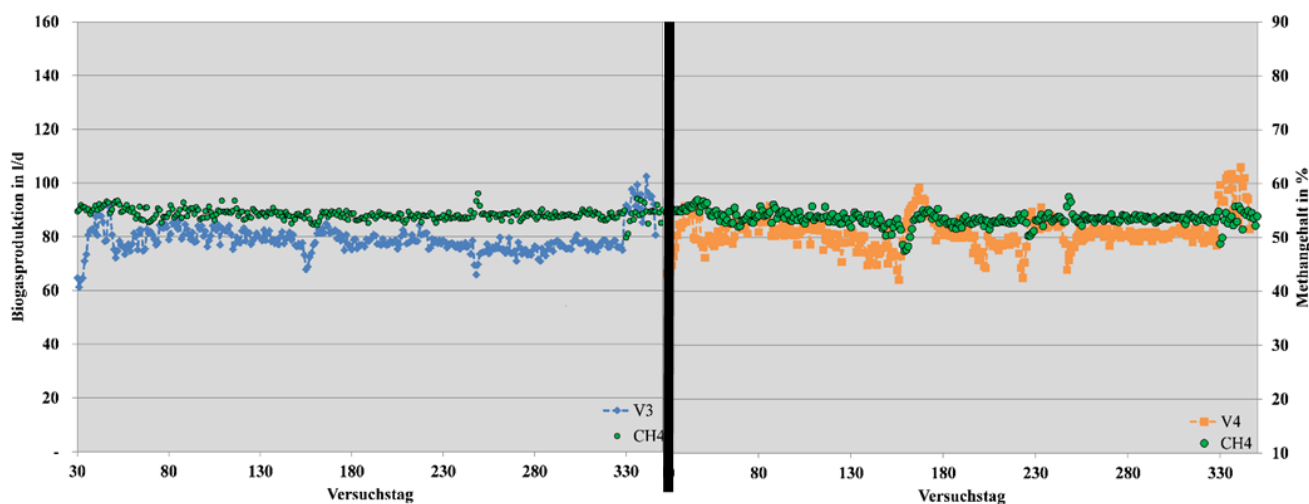


Abb. 2: Biogasproduktion und Futterstrategie der Varianten 1 (links) und 2 (rechts)

Auch die Varianten 3 und 4 unterschieden sich bezüglich der mittleren Biogasausbeute nicht. Da keine Störfälle auftraten und keine Gegenmaßnahmen getroffen werden mussten, unter-

schieden sie sich auch bei den Min. und Max. Werten weitaus weniger voneinander als die Varianten 1 und 2.

Tab. 5: Methanausbeute der Varianten 3 und 4 in l/kg oTM

	Variante 3	Variante 4
Mittelwert	272	278
Min	230	210
Max	368	374

3.3.5 Ergebnisse – chemische Parameter

Die Versuchsergebnisse deuten darauf hin, dass es sich um an die besonderen Gärbedingungen sehr gut angepasste biologische Systeme handelt, die offensichtlich nicht dauerhaft stabil betrieben werden können, wenn der Klee grasanteil zu hoch ist (Variante 1 und Variante 2). Grundsätzlich erwiesen sich die gängigen Richtwerte zur Beurteilung der Gesundheit der Biozönose als wenig brauchbar, denn sie wurden auch bei günstigen Abbauraten stets um ein Vielfaches überschritten (Tab. 6). An dieser Stelle soll erwähnt werden, dass es sich hier um Verhältnisse in der ersten Vergärungsstufe handelt und die Richtwerte anhand der Daten von zweiphasigen Systemen (mit Rezirkulation) ermittelt

wurden. Auch wenn diese von den Varianten 3 und 4 deutlich überschritten werden, so sind sie weitaus niedriger als die der Varianten 1 und 2, woraus sich der gleichmäßigere, stabilere Verlauf der Vergärung über den gesamten Versuchszeitraum erklären lässt. Dennoch signalisieren hohe Gehalte an Zwischenprodukten (z. B. Propionsäure) immer eine Beeinträchtigung einzelner Abbauschritte und stellen ein Methanpotential dar. Das zeigen auch die Ergebnisse. In den Varianten 1 und 2 wurden knapp über 70 % und in den Varianten 3 und 4 knapp über 80 % des Methanpotentials der jeweiligen Futtermischung produziert.

Tab. 6: Richtwerte gängiger Prozessindikatoren im Vergleich zu den mittleren gemessenen Werten der Variante (n=22)

	Essigsäure	Propionsäure	NH ₄ -N	FOS/TAC
Richtwerte	< 3 g/l	< 1 g/l	< 3	< 0,5
Variante 1	4,7 g/l	8,2 g/l	5,0 g/l	0,9
Variante 2	5,8 g/l	8,5 g/l	5,1 g/l	1,2
Variante 3	1,8 g/l	3,2 g/l	4,6 g/l	0,5
Variante 4	1,8 g/l	3,8 g/l	4,6 g/l	0,6

4. Fazit

Der Einsatz hoher Anteile an stickstoffreichen Einsatzstoffen, wie sie im ökologischen Landbau auftreten, ist grundsätzlich möglich. Es müssen aber einige Voraussetzungen erfüllt werden, damit Biologie und Gasproduktion nicht beeinträchtigt werden. Dazu gehören möglichst kurze Häcksellängen und die tägliche Überwachung von Methangehalt und Gasbildungsrate. Eine zusätzliche Inline-Zerkleinerung (z. B. RotaCut) verbessert die Verhältnisse. Ist ein Spurennährstoffeinsatz im jeweiligen Bioverband erlaubt, sollte das genutzt werden.

Bei 100 % Klee graseinsatz sind Störanfälligkeit und Überwachungsaufwand am höchsten. Eine Zumischung von 30 % Rindergülle wirkt stabilisierend, Störungen können dadurch aber nicht ausgeschlossen werden und der Überwachungsaufwand bleibt hoch. Gegenmaßnahmen sollten

dann erfolgen, wenn der Methangehalt unter 50 % absinkt und die Gasbildung bei nur noch 70 % im Vergleich zu einem stabilen Anlagenbetrieb liegt (zu beachten ist, dass das analysierte Gas in Praxisanlagen meist ein Gemisch aus den Gasen des Fermenters und des Nachgärers ist, was sinkende CH₄-Gehalte im Fermentergas schwerer erkennbar macht). Wenn dann ein Teil des stickstoffreichen Substrats durch leicht abbaubares Material (z. B. CCM) ersetzt wird, um die Essigsäurebildung zu fördern und gleichzeitig 70 % Gülle eingesetzt werden, kann der Prozess innerhalb von etwa drei Wochen wieder stabilisiert werden.

Die Einstellung des C/N-Verhältnisses der Futtermischung auf 16:1 durch die Beimischung kohlenstoffreicher, stickstoffarmer Substrate wie z. B. Körnermaisstroh stabilisiert den Gär-


prozess deutlich. Dieser Effekt ist unabhängig davon, ob zusätzlich Gülle eingesetzt wird. Auf diese Weise ist ein störungsfreier und weitgehend gleichmäßiger Betrieb über die Dauer eines Jahres nachgewiesen. Allerdings ist gelegentlich eine Verdünnung (z. B. Wasser) erforderlich, da Trockensubstanzgehalte von mehr als 18 % auftreten können. In der Praxis würde sich dafür Rezirkulat aus einer der nachfolgenden Vergärungsstufen anbieten.

In der ersten Stufe sind zwischen 70 und 80 % der Methanpotentiale der Ausgangsmaterialien umsetzbar. In der Praxis sollte die Umsetzung des verbleibenden Energiepotentials in einem Nächgärer keine Probleme bereiten. Alle geprüften Varianten reagieren sehr sensibel auf Veränderungen der Betriebsparameter. Temperaturschwankungen und Substratwechsel sollten bei dieser Art der Vergärung deshalb möglichst vermieden werden.

Quellenverzeichnis

- ▶ Ebertseder, F.; Kissel, R.; Lehner, A.; Gracia, E.; Bachmeier, H.; Effenberger, M. (2012): Monitoring u. Dokumentation von Praxis-Biogasanlagen. LfL Schriftenreihe Band 8 2012; ISSN: 1611-4159.
- ▶ Kissel, R.; Adikaram, K.; Pohl, A.; Effenberger, M. (2015): Vergleichende Untersuchung für die Einwerbung und Vergärung von Grünlandaufwüchsen - Schwerpunkt Anlagen-Monitoring. Abschlussbericht. Homepage LfL: https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ilt/dateien/ilt2_ab_gr%C3%BCnland-monitoring.pdf
- ▶ Blumenstein, B.; Siegmeier, T.; Selsam, F.; Hofmann, F.; Zerger, U.; Möller, D. (2015): Auswirkungen einer integrierten Biogaserzeugung auf ökologische Betriebssysteme: Monetäre Bewertung. 13. Wissenschaftstagung - Ökologischer Landbau in Eberswalde - Tagungsbandbeitrag. [http://orgprints.org/27199/1/27199 Blumenstein.pdf](http://orgprints.org/27199/1/27199_Blumenstein.pdf)
- ▶ Hülsbergen, K. J. (2018): Wenn Biogas den Ökolandbau bereichert – Nährstoffversorgung und Stoffströme. Vortrag im Rahmen eines C.A.R.M.E.N. Fachgesprächs am 30.10.2018 in Kaufering. Homepage C.A.R.M.E.N.: https://www.carmen-ev.de/files/informationen/fachgespraeche/FG_Biogas_Oekolandbau/4_H%C3%BClsbergen_N%C3%A4hrstoffl%C3%BCsse.pdf
- ▶ Kissel, R.; Effenberger, M. (2017): Anlagentechnik und Prozessbiologie bei Vergärung hoher Anteile von Klee gras bzw. Grünlandaufwuchs. In: Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven; Tagungsband zum FNR/KTBL-Kongress, 25. -26. September 2017, Bayreuth, Hrsg.: Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR); Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL): S. 304 – 313 - ISBN: 978-3-945088-52-4.
- ▶ StMELF (2021): Information des Bayerischen Staatsministeriums zur Anzahl der Biobetriebe und dem Umfang der in Bayern ökologisch bewirtschafteten Fläche; Internet: <https://www.stmelf.bayern.de/landwirtschaft/oekolandbau/index.php>
- ▶ Enzler, J. (2018): Anzahl der in Bayern auf ökologische Landwirtschaft umgestellten Betriebe zwischen 2015 und 2017; Anteil der viehlosen Betriebe. LfL – Institut für Ernährungswirtschaft und Märkte; Schriftliche Mitteilung 2018.
- ▶ Effenberger, M., Lebuhn, M. (2008): Biologie der Methangärung – die Belastungsgrenzen erkennen. Mais 2/2008, mais special 2008: 4-7

Zitiervorlage: Kissel, R. und Dandikas, V. (2022): Biogas im Ökolandbau - Prozessführung bei der Vergärung von Klee grassilage. In: Biogas Forum Bayern bif29, Hrsg. ALB Bayern e.V., <https://www.biogas-forum-bayern.de/bif29>, Stand [Abrufdatum]



Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und
Landwirtschaftliches Bauwesen (ALB)
in Bayern e.V.

Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

Telefon: 08161 / 887-0078

Telefax: 08161 / 887-3957

E-Mail: info@alb-bayern.de

Internet: www.alb-bayern.de