

KTBL-Schrift 501

Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven

FNR/KTBL-Kongress
vom 10. bis 11. September 2013
in Kassel

Herausgeber

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) | Darmstadt

Fachliche Begleitung

Helmut Döhler | Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt
Susanne Döhler | Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt
Dr. Waldemar Gruber | Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Bonn
Ulrich Keymer | Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), München
Dr.-Ing. Jan Liebetrau | Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH (DBFZ)
Prof. Dr.-Ing. Bernd Linke | Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB)
Dr. Hans Oechsner | Universität Hohenheim, Stuttgart
Mark Paterson | Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt
Dr.-Ing. Gerd Reinhold | Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Jena
Detlef Riesel | Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow
Dr. Petra Schüsseler | Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow

Ideeller Partner



Fraunhofer
IWES

Die Informationen der vorliegenden Schrift wurden vom KTBL und den Autoren nach bestem Wissen und Gewissen nach dem derzeitigen Stand des Wissens zusammengestellt. Das KTBL und die Autoren übernehmen jedoch keinerlei Haftung für die bereitgestellten Informationen, deren Aktualität, inhaltliche Richtigkeit, Vollständigkeit oder Qualität.

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

© 2013

Herausgeber und Vertrieb

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)
Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt
Telefon +49 6151 7001-0 | Fax +49 6151 7001-123 | E-Mail: ktbl@ktbl.de
vertrieb@ktbl.de | Telefon Vertrieb +49 6151 7001-189
www.ktbl.de

Herausgegeben mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung von Texten und Bildern, auch auszugsweise, ist ohne Zustimmung des KTBL urheberrechtswidrig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigung, Übersetzung, Mikroverfilmung sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Satz

KTBL | Darmstadt

Redaktion

Susanne Döhler, Henning Eckel, Mark Paterson | KTBL, Darmstadt
Christine Weidenweber | Verbene, Weibersbrunn

Titelfoto

© Landpixel

Druck und Bindung

Silber Druck oHG | Niestetal

Printed in Germany

ISBN 978-3-941583-82-5

Methanertrag aus Biomasse – Übertragbarkeit von Laborergebnissen auf die Praxis

HANS OECHNSER, MARK PATERSON

1 Wozu werden Gärtests benötigt?

Die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen wird maßgeblich durch die Substratkosten bestimmt. Etwa 40 % bis 60 % der Jahreskosten einer NawaRo-Biogasanlage entfallen auf die Substratbeschaffung. Daher ist es unerlässlich, bereits bei der Planung einer Biogasanlage mit Standardzahlen zu kalkulieren. Neben den Daten zum spezifischen Methanertrag sind aber auch weitere Informationen zum eingesetzten Gärsubstrat erforderlich. Vor allem der Flächenertrag an Frischmasse, der Trockenmasseertrag und die Qualität des jeweiligen Futters üben einen erheblichen Einfluss auf die erzielbare Methanmenge aus.

Prinzipiell korreliert der Gehalt an Kohlenhydraten, Fetten und Eiweiß direkt mit dem Energieinhalt des verwendeten Substrates und sollte eigentlich als Berechnungsbasis für die Bestimmung des Methanertrages ausreichen. Zu dieser Abschätzung gibt es auch eine Reihe von Methoden. Angefangen mit der Kalkulation von BUSWELL (1936), der auf der Basis der Elementarzusammensetzung des Substrates den Biogasertrag und den Methan- und Kohlendioxidgehalt im Biogas abschätzte, wurden über die Bestimmung der Nährstoffzusammensetzung von BASERGA (1998) und später KEYMER und SCHILCHER (1999) Berechnungen vorgenommen. Diese Abschätzungen ergaben eine relativ gute Annäherung an den erzielbaren Methanertrag, wie er über Batch-Versuche nachgewiesen werden kann. Wie CZEPUK et al. (2006) bei Vergleichsuntersuchungen belegte, weichen die Ergebnisse jedoch um 10 % bis 20 % vom gemessenen Wert im Biogasertragstest ab. Da sich die Pflanzenmasse aus sehr unterschiedlichen Nährstoffkombinationen zusammensetzt, führen auch weitere Abschätzungsformeln, z.B. nach AMON et al. (2003) und KAISER (2007), sowie die Laborbestimmung des FoTS-Wertes (fermentierbare organische Trockensubstanz) (WEISSBACH 2012) nur bedingt zu zuverlässigen Ergebnissen.

Vor allem die unterschiedliche Zusammensetzung der Kohlenhydratfraktion und deren extrem unterschiedliche Verdaulichkeit wirken sich deutlich auf die Abbaubarkeit, die Abbaukinetik und schließlich die erzielbare Gasausbeute aus. Während Stärke als Energiespeicher der Pflanze in ca. 5 Tagen vollständig zu Biogas umgewandelt werden kann, ist die Umsetzung der pflanzlichen Stützgewebe wie Hemicellulose und Cellulose deutlich verlangsamt. Speziell wenn ein hoher Anteil von Lignocellulosekomplexen vorhanden ist, wirkt sich dies negativ auf den Methanertrag der gesamten Biomasse und

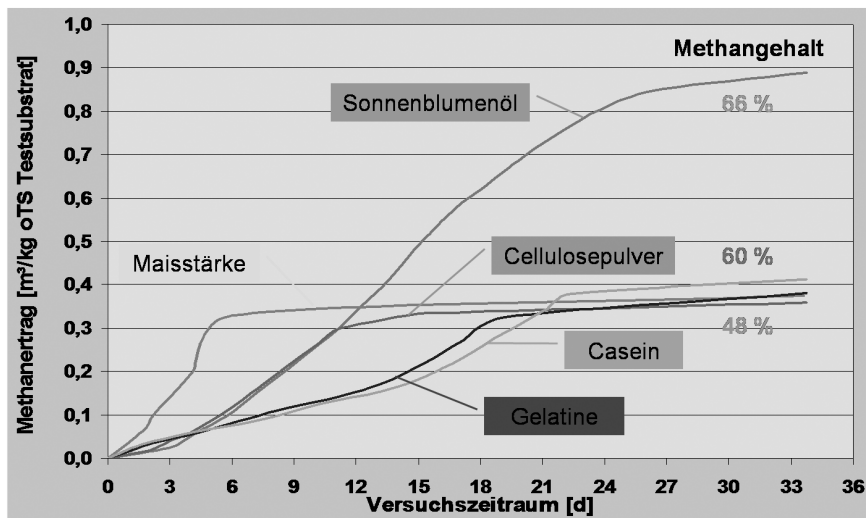


Abb. 1: Methanerträge und Bildungskinetik unterschiedlicher Nährstofffraktionen (CZEPÜCK et al. 2006)

deren Abbaubarkeit aus. Daher ist zur genauen Bestimmung des Methanertrages von Pflanzenmasse ein Gärtest die exakteste und zu empfehlende Methode.

2 Faustzahlen zum Methanertrag von Standardsubstraten

Für die Verwendung von Standardsubstraten existieren inzwischen zahlreiche Gasertragsrichtwerte beim KTBL, die mithilfe einer Vielzahl von Einzelergebnissen mehrerer namhafter Labore und Forschungseinrichtungen zusammengetragen wurden (KTBL 2010). Diese Richtwerte sind in der Regel für die Auslegung und Planung von Biogasanlagen äußerst hilfreich und sehr gut nutzbar.

Hierbei muss allerdings beachtet werden, dass je nach Standort, Sorte, Vegetationsverlauf des Jahres, Erntezeitpunkt und Lagerung/Silierung zum Teil deutliche Abweichungen von den Standardwerten möglich sind. Daher ist für die Bestimmung des Methanertrages in vielen Fällen die Laboranalyse im Biogaslabor zweckmäßig.

3 Richtlinien zur Durchführung von Gärversuchen

Mit zunehmender Bedeutung der Verwendung von trockensubstanzreichen Substraten wie NawaRo (nachwachsende Rohstoffe) als Futter für Biogasanlagen wurde es wichtig, eine angepasste Methode zur Bestimmung des Methanertrages zu entwickeln. Dies ist in

der VDI-Richtlinie 4630 (VDI 2006) sehr gut gelungen, in der sowohl die Vorgehensweise zur Durchführung von Batch- als auch von Durchflussversuchen beschrieben ist. Sie basiert auf der DIN 38414, die ausschließlich für die Untersuchung von Klärschlämmen (TS-armes Substrat) entwickelt war. Inzwischen wurde die VDI-Richtlinie überarbeitet und um eine Methodenvorschrift zur Bestimmung des Restgaspotenzials von Gärresten ergänzt (der Gründruck dieser Richtlinie soll Ende 2013 erscheinen). Von der KTBL-Arbeitsgruppe „Ringversuche“ wurde zusammen mit dem VDLUFA (Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten) die VDLUFA-Methodenvorschrift zur „Bestimmung der Biogas- und Methanausbeute in Gärtests“ (VDLUFA 2011) entwickelt, die etwas vereinfacht die wichtigsten Kriterien zur Durchführung von Gärtests zusammenstellt. Das Ziel dieser Methode ist, die Qualitätssicherung von Laborversuchen zum Biogasertrag zu verbessern.

In den Vorschriften ist festgelegt, dass ein Minimum an Versuchsbedingungen erfüllt sein muss:

- Verwendung geeigneter, gasdichter und temperierter „Kleinfärmer“
 - Verwendung eines geeigneten Inokulums (entweder speziell gezüchtet oder gärfähiges Material aus Praxisbiogasfermentern; Aushungern des Inokulum vor dem Start),
 - Mischungsverhältnis aus Inokulum und Gärsubstrat (oTS-bezogen) im Verhältnis 2 : 1, um eine ausreichende Pufferkapazität im Gäransatz vorzufinden
 - Inokulum parallel als Nullprobe vergären
 - mindestens ein Standardsubstrat mitvergären, z. B. mikrokristalline Cellulose oder laborinterne Standards
 - Gärtemperatur in der Regel bei $37 \pm 2 \text{ °C}$
 - möglichst häufig die Biogasbildung messen und bei jeder Gasentnahme den Methananteil bestimmen
 - mindestens 25 Tage Gärdauer; Abbruchkriterium für den Versuchsansatz, wenn an mindestens 3 aufeinanderfolgenden Tagen weniger als 0,5 % der bisher gebildeten Gasmenge entsteht
 - Bezug des Methanertrages auf den oTS-Input im Testsubstrat
 - bei Verwendung von Silagen oder Substraten mit flüchtigen Bestandteilen (Gärsäuren, Alkohole) muss der Wert des oTS-Gehaltes korrigiert werden (MUKENGELE et al. 2006)
 - Normierung der Gasproduktion (0 °C , 1013 hPa); Berücksichtigung von Wasserdampf
- Bei der Auswertung wird die Eigenproduktion des Inokulums an Biogas/Methan von der Gesamtproduktion abgezogen, um nur den Biogas-/Methanertrag der untersuchten Probe ermitteln zu können. Die über den Untersuchungsverlauf entstehende Biogas-/Methanmenge wird als Summenkurve dargestellt.

4 Ringversuche zur Absicherung der Untersuchungsqualität

Inzwischen bieten in Deutschland mindestens 40 Labore Untersuchungen zur Bestimmung des Methanertrages von Substratproben an. Unter diesen Laboren sind sehr erfahrene und auch weniger erfahrene vertreten, womit auch die Gefahr verbunden ist, dass sich aufgrund der komplexen und vielstufigen Versuchsabläufe Fehler einschleichen. In Veröffentlichungen weichen daher die angegebenen Methanerträge mitunter deutlich voneinander ab.

Aus diesem Grunde wurde eine KTBL-Arbeitsgruppe einberufen, über die in Zusammenarbeit mit der VDLUFA-NIRS GmbH und mit finanzieller Unterstützung des BMELV, Ringversuche für Biogaslabore durchgeführt wurden. Bisher fanden 4 Durchläufe statt, der fünfte Durchlauf wird noch im Jahr 2013 starten. Die Zahl der teilnehmenden Labore ist von 2006 (17 Labore) bis zum Jahr 2011 (33 Labore) kontinuierlich gestiegen. Durch die Auswertung der Versuchsergebnisse und einer umfangreichen Beschreibung der Methode sowie einer detaillierten Fehleranalyse hatten die Beteiligten die Möglichkeit, Fehler in ihrem eigenen Vorgehen zu erkennen und auszumerzen. Alle beteiligten Labore hatten die Vorgabe, sich bei der Versuchsdurchführung an die Vorgaben der VDI-Richtlinie 4630 bzw. der VDLUFA-Methodenvorschrift zu halten. Als Standard-Gärsubstrat wurde bei jedem Durchlauf mikrokristalline Cellulose verwendet. Die übrigen verwendeten Gärsubstrate sollten die übliche Palette der Substratvariation aus der Praxis abdecken. In allen Durchgängen wurde identisches Probenmaterial an alle Labore verschickt. Es handelte sich um gequetschtes Weizenkorn, getrockneten Mais, getrocknetes Gras, Maissilage, Grassilage und Rapspresskuchen. Bei der Versendung von frischen Silagen waren auch Einflüsse der Probenlagerung und Probenhomogenisierung auf das Endergebnis möglich.

Auffällig war beim ersten Durchlauf im Jahr 2006, dass die Ergebnisse für Cellulose, obwohl es sich hierbei um ein standardisiertes und sehr homogenes Testsubstrat handelte, eine relativ breite Streuung aufwiesen. So lag der Vergleichs-Variationskoeffizient des Methanertrages zwischen den Laboren bei 19,5 %. Es wurde beim Vergleich des Versuchsaufbaus und der Ergebnisse deutlich, dass die Abweichungen nicht auf die Art und Größe der jeweiligen Versuchseinrichtungen zurückzuführen waren. Vielmehr spielte die Genauigkeit von Methanmessgeräten, deren regelmäßige Kalibrierung, die rechnerische Auswertung unter Berücksichtigung der Bezugsgrößen für Normbedingungen und Berücksichtigung der Wasserdampfkorrektur bei Abweichungen eine deutlich erkennbarere Rolle. In den Folgejahren konnten trotz steigender Anforderungen an die Messungen und Erweiterung der teilnehmenden Labore dank der intensiven Abstimmung und der gemeinsamen Analyse von Fehlerquellen bessere Ergebnisse erzielt werden. In den Jahren 2007 und 2008 wurde der Vergleichs-Variationskoeffizient zwischen

den Laboren auf 12,7 bzw. 8,4 % verbessert. Im Jahr 2011 wurde mit einem Vergleichs-Variationskoeffizient von 4,0 % eine weitere Qualitätssteigerung erreicht. Auch bei der Untersuchung der anderen Substrate konnte diese Verbesserung nachvollzogen werden. Nur wenige Labore erreichten nicht die vorgegebene Genauigkeit.

5 Einfluss der Betriebsweise – Übertragung von Batch- auf Durchflussbetrieb

Mit Ausnahme weniger Systeme werden Biogasanlagen in der Praxis nicht als Batch, sondern als Durchflusssystem betrieben, bei denen dem Fermenter mehrmals täglich frisches Gärsubstrat zugegeben wird. Dies hat zur Folge, dass die Prozessschritte zum anaeroben Abbau organischer Substanz parallel und gleichzeitig ablaufen. Während beim Batchbetrieb über den Versuchsablauf eine deutliche Veränderung der Zusammensetzung des Biogases erkennbar wird, kann beim kontinuierlichen Betrieb kaum mehr ein Unterschied in der Gasqualität über den Tagesverlauf gemessen werden. Hinzu kommt, dass bei volldurchmischten Fermentern, aber auch bei den sogenannten Pfropfenstromfermentern, in enger Korrelation mit der hydraulischen Verweilzeit des Substrates im Fermenter sowie mit der Fermentergeometrie und der Beschickungshäufigkeit, immer auch gewisse Teile von frischem oder nur teilweise abgebautem Substrat den Fermenter vor Ablauf der hydraulischen Verweilzeit verlassen. Dies erfolgt auch bevor deren gesamtes Methanertragspotenzial ausgeschöpft ist, was somit Auswirkungen auf den erzielten Methanertrag hat.

Bei Batchsystemen wird dagegen bis zum fast vollständigen Abklingen des Gärprozesses gewartet. Aus diesem Grund sind bei der Übertragung von Batchergebnissen auf den Durchflussbetrieb Abweichungen zu erwarten. Da heutige Biogasanlagen, zum Teil auch aufgrund gesetzlicher Vorgaben, mit sehr langen hydraulischen Verweilzeiten ausgestattet sind und zum Teil in Kaskadenanordnung betrieben werden, kann das Methanertragspotenzial möglicherweise vollständig ausgenutzt werden. Methanertragspotenziale könnten dann auf gleichem Niveau liegen, wie über Batchversuche ermittelte Methanerträge. Durch die Bestimmung des Restgaspotenzials im Überlauf von Biogasfermentern kann relativ gut überprüft werden, wie weit das eingesetzte Gärsubstrat ausgenutzt ist bzw. ob noch ein Energiepotenzial vorhanden ist. In Untersuchungen an verschiedenen Praxisbiogasanlagen und bei Beprobungen von Fermenterkaskaden konnte belegt werden, dass das Restgaspotenzial mit der hydraulischen Verweilzeit und den Kaskaden korreliert (OECHSNER et al. 2006). In der Regel war bei Verweilzeiten der Fermenter (ggf. inkl. Nachgärer) über 100 Tage nur noch ein sehr niedriges Restgaspotenzial (< 5 % bei Bestimmung des Restgaspotenzials bei mesophiler Temperatur) mess-

bar. Untersuchungsergebnisse der beiden Bundesmessprogramme (FNR 2005, FNR 2009) bestätigen diese Aussagen.

In einem umfangreichen Versuch an der Universität Hohenheim wurden verschiedene Gärsubstrate in einer Kombination aus Batchtests und kontinuierlichen Versuchen im Biogaslabor unter Bestimmung des Restgaspotenzials des Fermenterüberlaufs untersucht. Bei diesen Untersuchungen wurden Maissilage, gemahlenes Weizenkorn und eine Mischung aus beiden Substraten vergoren. Die Energiepflanzen wurden bei 60 °C schonend getrocknet und gemahlen. Die Substrate wurden mit Flüssigmist (17 % oTS-Anteil) ergänzt, um stabile Betriebsbedingungen zu ermöglichen. Flüssigmist wurde auch alleine als Kontrollvariante vergoren. Im Durchflussbetrieb waren insgesamt 15 Horizontal-Fermenter (je 17 l Nutzvolumen) bei 2 Raumbelastungen (2,5 und 4,0 kg oTS/m³ FV und d) im Einsatz. Die hydraulische Verweilzeit in den Durchflussfermentern betrug 35 Tage bei einer Gärtemperatur von 37 °C ± 2 °C. Je Variation waren 2 Wiederholungen (Flüssigmist 1 WH) angesetzt und die Versuche dauerten über 123 Tage, also mehr als 3 Verweilzeiten. Neben der Biogas- und Methanmenge wurden auch der Gehalt an flüchtigen Fettsäuren und der FOS/TAC-Wert regelmäßig überwacht.

Der Fermenterbetrieb war bei allen untersuchten Varianten sehr stabil. Lediglich bei der Maissilage mit Raumbelastung von 4 kg oTS/m³ und Tag zeigte sich ab dem 67. Versuchstag ein Anstieg der Fettsäuren (HAC) bis auf maximal 6 500 mg/l und ein leichtes, aber unbedenkliches Absinken des pH-Wertes auf 7,2. Alle anderen Varianten liefen sehr stabil (pH-Werte 7,4 bis 7,6) (MUKENGELE et al. 2006).

Der Auslauf (Gärrest) der Durchflussfermenter wurde gegen Ende des Versuches (105., 108. und 115. Tag) gesammelt, um das Restmethanpotenzial im Hohenheimer Biogasertragstest (HBT) bei einer Gärtemperatur von 37 °C über 35 Tage zu bestimmen. Außerdem wurde der Methanertrag der als Futter verwendeten Gärsubstrate im HBT bei 37 °C über eine Gärdauer von 35 Tagen standardmäßig bestimmt. Dabei ergaben sich relativ hohe Methanerträge zwischen 0,377 und 0,399 Nm³ Methan je kg oTS. Bei der bombenkalorimetrischen Bestimmung des Heizwertes wurden Werte zwischen 4,7 und 5,3 kWh/kg oTS gemessen.

In Abbildung 2 ist eine Bilanzierung der verschiedenen Versuchsansätze dargestellt. Es zeigt sich, dass bei hoher Raumbelastung (BR 4) im Durchflussbetrieb, besonders bei Maissilage, weniger Methanertrag (81,0 % des HBT-Potenzials) erzielt werden kann als bei niedriger Raumbelastung (89,5 % bei BR 2,5). Dies ist auch bei Getreide tendenziell erkennbar, aufgrund der sehr guten Abbaubarkeit von gemahlenem Getreidekorn fällt dies allerdings kaum ins Gewicht (89,7 % bzw. 91,2 %).

Es wird deutlich, dass sich beim Addieren der Werte des Restgaspotenzials zu den Erträgen aus dem Durchflussversuch bei allen Varianten eine fast vollständig ausgeglichene Bilanz ergibt. In der Summe ergeben sich Werte zwischen 98,7 und 101,1 %.

Damit kann belegt werden, dass die Ergebnisse aus Batchversuchen relativ gut auf Durchflussversuche übertragen werden können. Es ist allerdings unbedingt zu beachten, dass ein Teil des Methanpotenzials über den Gärrest aus dem Fermenter gespült wird. Dies ist besonders bei kurzen Verweilzeiten, wie in dem dargestellten Beispiel (35 Tage), auffällig. Bei der Erfassung des Restgaspotenzials kann die fehlende Methanmenge nachgewiesen werden. Bei der Übertragung der Ergebnisse auf Praxisbiogasanlagen, mit Verweilzeiten über 100 Tage und Reihenschaltung mehrerer Fermenter, ist dies nicht zu erwarten.

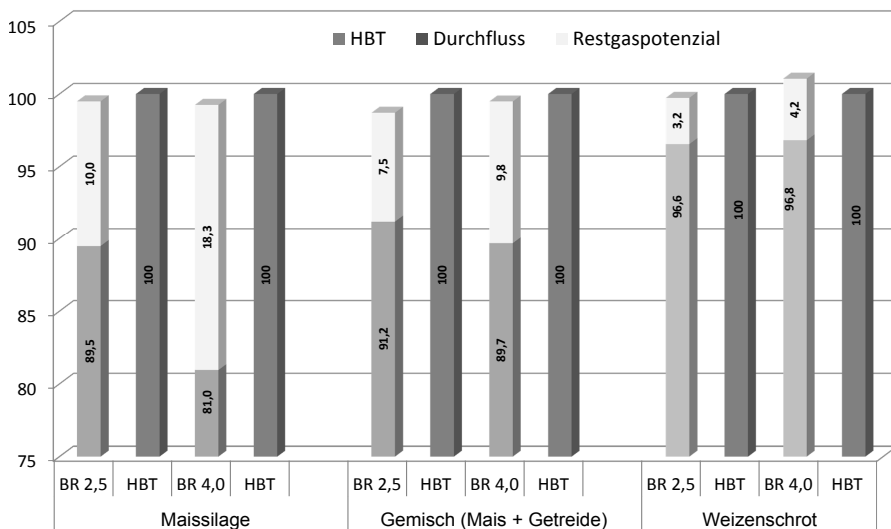


Abb. 2: Methanerträge aus einem Durchflussversuch mit anschließender Bestimmung des Restmethanpotenzials im Vergleich zu den Methanerträgen aus Batchtests im HBT-Verfahren – vergleichende Darstellung

6 Übertragbarkeit der Batchergebnisse auf Praxisanlagen

Mögliche Ursachen für Abweichungen in den Gaserträgen zwischen Labor und Praxis sind in den unterschiedlichen Gärbedingungen (wie z. B. der Raumbelastung) oder der in der Praxis „unvorhersehbaren“ Einflüsse auf biologische Prozesse begründet. Eine Übersicht ausgewählter Verfahrensunterschiede zwischen Batch-Versuchsaufbauten und Biogasanlagen zeigt folgende Tabelle 1.

Tab. 1: Ausgewählte Verfahrensunterschiede zwischen Batchversuchsaufbauten und Biogasanlagen

Parameter	Batchversuch	Biogasanlage
Gärvolumen	100 ml – 15 l	> 2000 m ³
Betriebsweise	kein Austausch von Material	täglicher Austausch von Material, Substratrückführung möglich
Biologischer Prozess	Stufen des Prozesses laufen nacheinander ab	Stufen laufen gleichzeitig ab
Raumbelastung	bis zu 50 g oTS/l zu Beginn des Versuchs	2–5 g oTS/l und Tag
Verweilzeit	35 Tage	bis > 100 Tage, z. T. Fermenterkaskaden
Substrate	in der Regel Einzelsubstrat, repräsentativ, homogenisiert	meist Substratmischung mit unterschiedlicher Zusammensetzung
Messverfahren	exakte Wiegung möglich, genaue Bestimmung der Biogasmenge und Qualität	Wiegereinrichtung ungenau, Gaszähler nicht geeicht und häufig ungenau, Gasqualität oft nicht erfasst

In der Auslegung von Biogasanlagen spielt das Verhältnis von Fermentergröße und Raumbelastung zur angestrebten Blockheizkraftwerk(BHKW)-Leistung eine wichtige Rolle. Im Anlagenmanagement ist die tägliche Substratzufuhr durch die verwendeten Substrate und deren Gaserträge ausschlaggebend. Unsicherheiten, die sich aus der Durchführung von Gärversuchen sowie deren Auswertung und Übertragbarkeit auf Praxisanlagen ergeben, haben somit große Auswirkungen auf alle genannten Faktoren der Biogaserzeugung (KTBL 2011).

Mögliche Abweichungen von den Richtwerten können aus den Substraten resultieren, da sie in großen Mengen für die Biogasanlage benötigt werden und ihre Substrateigenschaften je nach Sorte, Erntezeitpunkt und Anbaujahr variieren können. Das Substrat verändert z.B. auch seine Zusammensetzung (TS-/oTS-Gehalt, Gehalt an Gärsäuren, pH-Wert etc.) im Fahrtil über die Lagerdauer. Die Bestimmung der Substratinputmenge ist trotz vorhandener Wiegeeinrichtungen schwierig, da die Waagen häufig nicht die erforderliche Genauigkeit aufweisen, es zu Brückenbildung zwischen Mischbehälter und Eintragsschnecken kommt und da die Einzelsubstrate oft nicht separat und exakt erfasst werden. Die Menge an Flüssigmist und anderen Flüssigkeiten (Regenwasser, Silosickersaft) wird häufig nicht erfasst.

Im Fermenter wirken sich auch prozessbedingte Faktoren wie die Mischung der Substrate, deren Gehalt an Nährstoffen, besonders an Spurennährstoffen, das biologische Milieu im Fermenter, die Verweilzeit und die Raumbelastung auf die Methanausbeute aus.

Wie auch bei der Durchführung von Messprogrammen, z.B. bei den Bundesmessprogrammen I und II (FNR 2005, FNR 2009) festgestellt werden musste, bestehen in der Praxis z.T. erhebliche Probleme bei der Bestimmung des Biogasertrages und besonders auch

der Biogasqualität. Häufig wird wegen fehlender Gaszähler der Stromertrag gemessen und über den elektrischen Wirkungsgrad des BHKW abgeschätzt. Hierbei muss auch der tatsächliche Zündölanteil und möglicherweise über die Zähler laufende Eigenstromverbraucher berücksichtigt werden. Meist wird bei der Angabe von Praxismessdaten keine Umrechnung auf Normbedingungen vorgenommen. Dies kann eine Überschätzung des Gasvolumens um bis zu 20 % verursachen.

7 Praxisdaten und Batchtests

Ein Vergleich zwischen den Gaserträgen aus Labor und Praxis kann anhand der Substratausnutzung von über 1850 untersuchten Biogasanlagen der Fa. Bioreact GmbH betrachtet werden. Ein Vergleich der tatsächlichen Substratausnutzung dieser Anlagen mit dessen theoretischen Ertragswerten gemäß KTBL-Richtwerte (= 100 %; Datenbasis: KTBL 2005) zeigt, dass im Durchschnitt aller betrachteten Biogasanlagen und über alle Substrate hinweg die KTBL-Richtwerte überwiegend erreicht wurden (Abb. 3). In einer Spanne von ± 10 % zum Richtwert findet sich die Substratausnutzung von rund der 54 % Anlagen und im Bereich von ± 20 % sogar 82 % aller untersuchten Anlagen wieder.

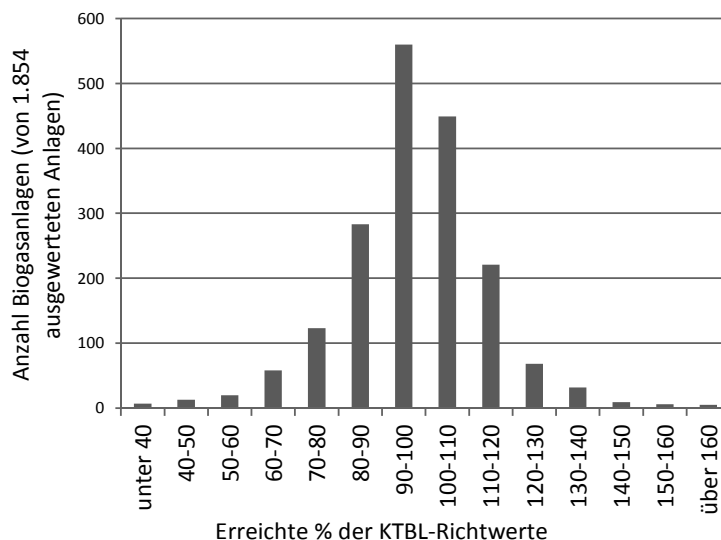


Abb. 3: Relative Substratausnutzung von 1850 untersuchten Biogasanlagen bezogen auf KTBL-Richtwerte (HÖLKER 2012)

Die Universität Hohenheim verfügt über eine Forschungsbiogasanlage im Praxismaßstab mit einer Leistung von 186 kW_{el}. Diese Anlage ist mit 2 getrennten Fermenterlinien (je 800 m³ Nutzvolumen) ausgestattet, sodass vergleichende Untersuchungen möglich sind. In einer von MÖNCH-TEGEDER (2013) durchgeführten Untersuchung wurde an dieser Anlage versucht, ähnlich wie vorher bei der Übertragung im Labor gezeigt, eine Bilanzierung der Daten im Praxismaßstab vorzunehmen. Diese Biogasanlage wird intensiv überwacht und die Zugabemenge und -qualität aller Inputstoffe wird genau erfasst und bleibt, soweit technisch möglich, über lange Zeit konstant. Im Versuch wurde ein relativ hoher Anteil an Flüssigmist (50,0 %) gefahren (frischmassebezogen). Außerdem kam Pferdemist (23,6 % zusammen mit anderem Festmist), Maissilage (10,1 %), Grassilage (8,8 %), Getreide-GPS (4,6 %) und gemahlenes Getreidekorn (2,9 %) zum Einsatz. Der oTS-Anteil des Pferdemistes lag bei 27,5 %. Von allen Inputstoffen wurde die Substratqualität bestimmt und ein Gärtest zum Methanertrag durchgeführt. Der beobachtete Fermenter ist mit einer mechanischen Aufbereitungstechnik (Querstromzerspaner, Fa. MEBA, Nördlingen) ausgerüstet. Die tägliche Inputmenge an Frischmasse betrug 12,1 mit einer Standardabweichung von 2,9 %. Die Raumbelastung lag bei 2,49 kg oTS/m³ FV und Tag, die Verweilzeit bei 62,4 Tagen.

Mithilfe der gewogenen Inputmengen, deren Gehalt an organischer Trockensubstanz und den Laborwerten zum Methanertrag wurde die erwartete Methanmenge des Fermenters berechnet und den am Gaszähler des Fermenters gemessenen Werten gegenübergestellt. Die Ergebnisse zur täglich gebildeten bzw. berechneten Methanmenge sind in Abbildung 4 zusammengestellt.

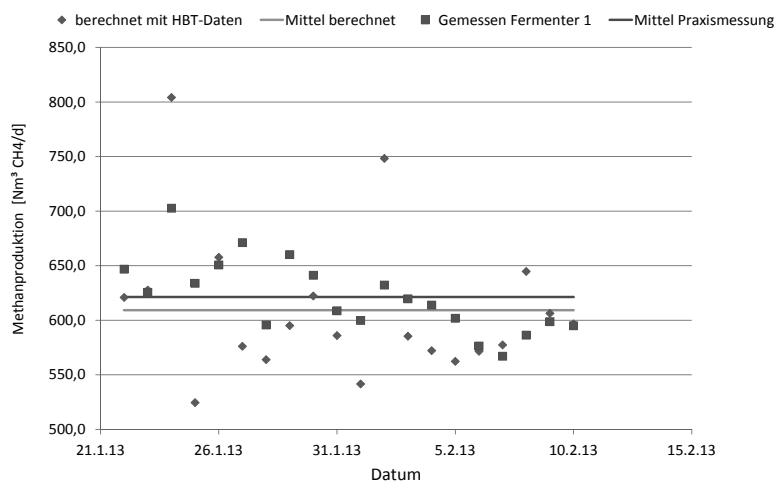


Abb. 4: Vergleich der über Inputmenge und HBT-Batch-Messung ermittelten mit der tatsächlich gemessenen Methanproduktion des Fermenters (MÖNCH-TEGEDER 2013)

Es zeigen sich bei der 20-tägigen Beobachtungsphase gewisse Schwankungen bei den gemessenen Werten, die bei den Inputmengen weiter gestreut sind. Diese Streuung lässt sich dadurch erklären, dass die täglichen Schwankungen des oTS-Inputs beim berechneten Wert für die Methanbildung direkt durchschlagen und damit in der Grafik deutlich sichtbar werden, während diese Schwankungen bei den Messwerten durch den auf mehrere Tage verteilten Substratabbau im Fermenter ausgeglichen werden. Der mittlere spezifische Methanertrag der über HBT berechneten Werte lag bei durchschnittlich 305 l CH₄/kg oTS, der der gemessenen Werte war um nur 2 % höher bei 311 l CH₄/kg oTS. Diese sehr geringe Abweichung zwischen den aus Laborwerten ermittelten Methanertträgen und den Messwerten am Praxisfermenter bestätigen, dass die Laborwerte sehr gut für eine Abschätzung des zu erwartenden Methanertrages und damit für eine Wirtschaftlichkeitsabschätzung genutzt werden können. Dies gilt, sofern eine repräsentative Probe auf den Methanertrag analysiert wurde und regelmäßig und in kurzen Abständen der oTS-Gehalt des Substratinputs und dessen genaues Gewicht erfasst wurden. In der Regel ergeben sich, wie dieses letzte Beispiel gezeigt hat, eher Ungenauigkeiten bei der Massenbestimmung in der Praxis als bei der Bestimmung des Methanertrages im Labor.

8 Schlussfolgerung

Die Bestimmung des Methanertrages über Batchversuche ist in Deutschland inzwischen weit verbreitet und wird von mindestens 40 Laboren betrieben. Über Ringversuche wird deren Qualität regelmäßig abgesichert.

Anhand von Beispielen im Labor und in der Praxis konnte gezeigt werden, dass eine relativ gute Übereinstimmung von Labor- und Praxiswerten zum Methanertrag besteht. Damit konnte auch belegt werden, dass die vom KTBL, auf Basis von Laborwerten mehrerer namhafter Biogaslabore, zusammengestellten Gasertragsrichtwerte für die wirtschaftliche Vorplanung von Biogasanlagen wichtig und unerlässlich sind.

Zum Teil ergeben sich gewisse Abweichungen von den angenommenen Werten an der später betriebenen Biogasanlage. Hier wirkt sich aber eine Vielzahl von Einflussfaktoren aus, die das verwendete Gärsubstrat und dessen Qualität betreffen, aber auch mit dem Verfahren und der Betriebsweise der Biogasanlage verknüpft sind.

Es handelt sich bei der Erzeugung von Biogas um ein mikrobielles Abbauverfahren, das unter Beteiligung einer Vielzahl von Mikroorganismen erfolgt. Hierbei sind immer gewisse Abweichungen im Bereich von 5 % bis 10 % möglich. Zur Absicherung der Genauigkeit der Laboruntersuchungen bei der Bestimmung des Methanertrages sollte eine regelmäßige Beteiligung an Ringversuchen und eine ständige laborinterne Absicherung mithilfe von Standardsubstraten selbstverständlich sein.

Literatur

- Amon, T.; Kryvoruchko, V. Amon, B.; Pötsch, E.; Zollitsch, W. (2003): Entwicklung eines „Methanenergiewertsystem (MEWS)“ zur Bewertung des Methanbildungsvermögens von Biomasse. 6. Internationale Tagung Bau, Technik und Umwelt in der Nutztierhaltung, KTBL, Darmstadt, S. 527–530
- Baserga, U. (1989): Landwirtschaftliche Co-Vergärungs-Biogasanlagen. FAT-Berichte Nr. 512, Tänikon
- Buswell, A.M. (1936): Anaerobic Fermentations. Bull. No.32. Div. State Water Survey, Univ. of Illinois
- Czepuck, K.; Oechsner, H.; Schumacher, B.; Lemmer, A. (2006): Biogasausbeuten im Labor im Vergleich zur rechnerischen Abschätzung. Landtechnik Heft 2, S. 82–83
- FNR (2005): Ergebnisse des Biogas-Messprogramms. FNR (Hrsg), Gülzow
- FNR (2009): Biogas-Messprogramm II – 61 Biogasanlagen im Vergleich. FNR (Hrsg), Gülzow
- Hölker, U. (2012): persönliche Mitteilung
- Kaiser, F. (2007): Einfluss der stofflichen Zusammensetzung auf die Verdaulichkeit nachwachsender Rohstoffe beim anaeroben Abbau in Biogasreaktoren. Dissertation, Technische Universität München
- Keymer, U.; Schilcher, A. (1999): Überlegungen zur Errechnung theoretischer Gasausbeuten in Biogasanlagen vergärbare Substrate. Landtechnik-Bericht Nr. 32, Freising
- KTBL (2005): Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Darmstadt
- KTBL (2010): Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Heft 88, Darmstadt
- KTBL (2011): Batchtests - Methoden und Übertragbarkeit auf Praxisanlagen. Tagungsband Biogas 2011. VDI-Berichte 2121, VDI-Verlag, Düsseldorf
- Mönch-Tegeder (2013): Weiterentwicklung von Technologien zur effizienten Nutzung von Pferdemist als biogener Reststoff und Test im Praxisbetrieb. Dissertation (in Vorbereitung), Universität Hohenheim
- Mukengele, M.; Brulé, M.; Oechsner, H. (2006): Wheat grain and ensiled maize as substrates for biogas production. Agricultural Engineering for a better world: XVI CIGR World Congress, Bonn, S. 719–720
- Oechsner, H.; Helffrich, D.; Schmidt, M. (2006): Bestimmung des Restgaspotenzials im Substratauslauf landwirtschaftlicher Biogasanlagen. Tagungsband „Emissionen der Tierhaltung“ und „Nationaler Bewertungsrahmen Tierhaltungsverfahren“, Kloster Banz, 05.–07.12.2006, KTBL, Darmstadt
- VDI 4630 (2006): VDI-Richtlinie: Vergärung organischer Stoffe – Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. VDI-Verlag, Düsseldorf
- VDLUFA (2011): Bestimmung der Biogas- und Methanausbeute in Gärtests. VDLUFA-Methodenvorschrift, Methodenbuch Band VII – Umweltanalytik, Speyer, 4. Aufl.
- Weissbach, F. (2012): The gas forming potential of dry chicken dung in biogas production. Landtechnik 4/2012, S. 299–304