

Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen

KTBL-Heft 107
3. Auflage



Fachliche Begleitung

KTBL-Arbeitsgruppe “Biogaserträge”

Prof. Dr. Thomas Amon | Dr. Manfred Bischoff | Dr. Joachim Clemens |
Dr. Hauke Heuwinkel | Ulrich Keymer | Gabriele Meißauer | Dr. Hans Oechsner |
Dr.-Ing. Gerd Reinhold (Vorsitzender) | Hannelore Schelle | Prof. Dr.-Ing. Peter Weiland |
Winfried Welsch | Walter Zerr

Die Anschriften der Autoren sowie die an der Datenerhebung beteiligten Institutionen und Personen sind im Anhang aufgeführt.

Die Informationen der vorliegenden Publikation wurden vom KTBL und den Autoren nach dem derzeitigen Stand des Wissens zusammengestellt. Das KTBL und die Autoren übernehmen jedoch keine 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 www.dnb.de abrufbar.

© 2015, 3. Auflage

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 und Landwirtschaft 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.

Redaktion

Ursula Roth, Mark Paterson, Sebastian Wulf | KTBL

Satz

Serviceteam Herstellung | KTBL

Titelfoto

Susanne Döhler | Memmelsdorf

Druck und Bindung

Druckerei Silber Druck oHG | Niestetal

Printed in Germany

ISBN 978-3-945088-03-6

Inhalt

1	Problemstellung	5
2	Zielsetzung	6
3	Herangehensweise	7
4	Ermittlung der Gasausbeute	8
4.1	Methoden und Verfahren	8
4.2	Probenahme und Ergebnisberechnung	9
5	Gaserträge	12
5.1	Gaserträge der Laborversuche	12
5.2	Richtwerte für die Gasausbeuten	17
6	Gausausbeute und Stabilität des Fermentationsprozesses	19
6.1	Einflussfaktoren	19
6.2	Beispiele zur Berechnung/Darstellung der Anlageneffizienz	24
	Literatur	29
	ANHANG	
	Mitwirkende	31
	KTBL-Veröffentlichungen	33
	aid-Veröffentlichungen	36

1 Problemstellung

Mit den Novellierungen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) wurden die Voraussetzungen für einen verstärkten Einsatz der Biogaserzeugung in der Landwirtschaft geschaffen. Zusätzlich zu den Nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) und Wirtschaftsdüngern werden verstärkt auch rein pflanzliche Nebenprodukte (durch das EEG 2009) und Reststoffe (durch das EEG 2012/2014) verwendet.

Die in den Biogasanlagen erzielbare Gasausbeute wird sowohl von der Zusammensetzung des Substrates als auch durch die Verfahrens- und Prozesstechnik beeinflusst. Die Abschätzung der zu erwartenden Gasausbeute, die für die Auslegung der Biogasanlagen im Zuge der Planung notwendig ist, erfolgt aufgrund von individuellen Erfahrungswerten. Dies führt zu sehr unterschiedlicher Dimensionierung der Anlagen bei sonst gleichen Ausgangsbedingungen. Da sich Biogasanlagen durch hohen Kapitalbedarf und Langlebigkeit auszeichnen, wirken sich Fehler in der Anlagenauslegung oft gravierend aus, weil eine spätere Korrektur der Auslegungsmängel meist nicht möglich ist. Mit der im Jahr 2005 veröffentlichten ersten Auflage des vorliegenden KTBL-Heftes (KTBL 2005) wurde ein einheitlicher Standard zur Abschätzung der Gasausbeute landwirtschaftlicher Biogasanlagen auf Basis des bekannten Wissens bereitgestellt.

Seit 2005 erfolgten durch Labore und wissenschaftliche Einrichtungen weitere Gärversuche mit unterschiedlichen Zielstellungen. Schwerpunkte waren die Ermittlung der Gaserträge für die Anlagenauslegung und die Beantwortung von Fragen wie der Einfluss von Erntetermin, Art und Sorte auf die Gasausbeute. Durch die Vorgaben der VDLUFA-Methodenvorschrift „Bestimmung der Biogas- und Methanausbeute in Gärtests“ (VDLUFA 2011), der VDI-Richtlinie „Vergärung organischer Stoffe“ 4630 (VDI 2014) und durch die bundesweit durchgeführten Ringversuche konnte die Variation in den Messergebnissen der einzelnen Labore im Vergleich zur ersten Auflage deutlich verringert werden.

Der Betrieb von landwirtschaftlichen Biogasanlagen lieferte zudem Praxiserfahrungen zu verfahrenstechnischen Einflussfaktoren sowie Hinweise zur substanzgerechten Dimensionierung der Anlagen.

2 Zielsetzung

Dieses KTBL-Heft fasst die Ergebnisse der zugänglichen Batch-Fermentationsversuche zusammen und dokumentiert die statistische Auswertung der ermittelten Gaserträge. Durch die Auswertung vieler, unter vergleichbaren Bedingungen im Labormaßstab durchgeführter Gärversuche und die Einbeziehung des Wissens von Experten können fundierte Richtwerte für den zu erwartenden Gasertrag als Basis für Anlagenkonzeption und -planung sowie die Prozessführung bereitgestellt werden.

Infolge der EEG-Novellen sind deutliche Veränderungen in der Substratzusammensetzung, Verfahrenstechnik und im Anlagenbetrieb erkennbar. Qualifizierte Richtwerte zu Gaserträgen sind daher z.B. erforderlich für:

- bestehende Biogasanlagen (z. B. Substratauswahl, Belastungssteigerung),
- die Auslegung neu zu errichtender Biogasanlagen (Auslegungs- und Optimierungsmöglichkeiten) auf Basis der regionalen Verfügbarkeit der Substrate und
- die Entscheidung zum eigenen Anbau bzw. dem Zukauf pflanzlicher Ko-Substrate oder dem Einsatz rein pflanzlicher Nebenprodukte.

In der Praxis wird die Gasausbeute aus Substraten nicht nur durch deren Gasbildungspotenzial bestimmt. Biologische und technische Parameter im Anlagenbetrieb haben erheblichen Einfluss auf den Gasertrag und sind daher ebenfalls dargestellt.

Damit trägt dieses Heft dazu bei, in der Praxis vorhandene Auslegungs- und Planungsprobleme zu vermindern. Zusätzlich werden Informationen zur Bedeutung einer genauen Massenermittlung und zur Normierung des Gasvolumens zur Verfügung gestellt.

3 Herangehensweise

Laborversuche

Durch die Arbeit der KTBL-Arbeitsgruppe „Biogaserträge“ und die Bereitstellung von Versuchsergebnissen durch die beteiligten Einrichtungen konnten insgesamt 1386 Datensätze für die Auswertung zusammengestellt werden.

Basis für die statistische Auswertung bildeten Batch-Fermentationsversuche mit Einzelsubstraten im mesophilen Temperaturbereich, die entsprechend der VDLUFA-Methodenvorschrift „Bestimmung der Biogas- und Methanausbeute in Gärtests“ (VDLUFA 2011) bzw. der VDI-Richtlinie „Vergärung organischer Stoffe“ 4630 (VDI 2014) durchgeführt wurden. Kontinuierliche Gärversuche wurden hingegen nicht einbezogen, da diese meist mit anderen Zielsetzungen, z. B. Untersuchung der Prozessstabilität, durchgeführt werden.

Die Ergebnisse der in die Auswertung einbezogenen Laboruntersuchungen wurden gemittelt. Durch die Angabe des Stichprobenumfangs und des Variationskoeffizienten besteht die Möglichkeit, die Genauigkeit des Mittelwertes zu bewerten, die ein Produkt der Probenheterogenität und der messmethodischen Variation ist.

Fachlich ermittelte Ausreißer im Bereich der Gaserträge, aber auch Datensätze zu Substraten mit praxisunüblichen Trockenmassegehalten in den zur Verfügung gestellten Datensätzen blieben in Absprache mit den durchführenden Einrichtungen von Beginn an in der Auswertung unberücksichtigt. Aus den verbleibenden Datensätzen wurden diejenigen in die hier dargestellten Werte einbezogen, deren Ergebnisse innerhalb einer Spanne der zweifachen Standardabweichung um den Mittelwert des jeweiligen Substrates lagen.

Substrate, für die nur einzelne Untersuchungsergebnisse vorlagen, sind nicht dargestellt, da eine statistische Auswertung nicht möglich war.

Richtwerte für die Gasausbeute

Bei der Zusammenstellung der Ergebnisse aus den Gärversuchen zeigte sich, dass z.T. große und aus den vorliegenden Daten nicht begründbare Unterschiede zwischen den Einzelergebnissen vorliegen. Gleichzeitig differierte die Anzahl der auswertbaren Einzelversuche je Labor und Substratart teilweise erheblich. In Anbetracht dieser Faktoren und auch aufgrund der z.T. geringen Anzahl von Gär-

Parameter (im Fermenter bzw. dem Gärückstand)	Bemerkungen
Mikronährstoffe	Eine ausreichende Spurenelementversorgung ist bei vielen Anlagen bereits durch einen hohen Gülleanteil sichergestellt. Dies ist jedoch abhängig von Art und Umfang der Ko-Substrate. Bei Monovergärung von nachwachsenden Rohstoffen (wenig Pflanzenvariation) sollte die Spurenelementversorgung regelmäßig geprüft und entsprechend des Bedarfs ergänzt werden. Hohe Schwefelgehalte können Mikronährstoffe binden.

¹⁾ FOS: Flüchtige organische Säuren, TAC: anorganisch gebundener Kohlenstoff (Carbonat- oder Hydrogencarbonatpuffer).

6.2 Beispiele zur Berechnung/Darstellung der Anlageneffizienz

Die Richtwerte für die Gasausbeuten der unterschiedlichen Substratarten können dazu dienen, die Effizienz einer in Betrieb befindlichen Biogasanlage anhand der Inputstoffe und der produzierten Biogas- und Strommenge zu überprüfen. Durch einen Soll-Ist-Vergleich der Stromproduktion ist es möglich, suboptimale Betriebsbedingungen zu erkennen, die z. B. auf einem Spurenelementmangel oder einer unerwünschten Anreicherung von Stoffwechselprodukten beruhen.

Voraussetzung für einen solchen Vergleich in den Biogasanlagen ist eine genaue Massen- und Trockensubstanzermittlung. Sofern keine Wägung der Einzelsubstrate erfolgt, sind z. B. die Probewägung der Radladerschaufeln bzw. Volumenermittlung über Behälterfüllstände geeignete Methoden, die allerdings periodisch zu wiederholen sind.

Für die Berechnung der Soll-Stromproduktion sind folgende Annahmen zu treffen:

- Die Methanausbeute der eingesetzten Substratmischung setzt sich additiv aus den Methanerträgen der einzelnen Substrate der Substratmischung zusammen.
- Das Blockheizkraftwerk erreicht den unterstellten elektrischen Wirkungsgrad.

Unter diesen Voraussetzungen kann aus der Summe der Stromerträge der einzelnen Substrate die zu erwartende Stromausbeute der Biogasanlage errechnet werden. Ist die von der Biogasanlage pro Tonne Substratmischung erzeugte Strommenge geringer als der errechnete Stromertrag, so empfiehlt es sich, eine detaillierte Prozessanalyse durchzuführen, um die Ursachen für den suboptimalen Betrieb zu finden und Maßnahmen zur Prozessoptimierung einzuleiten.

Beispiel 1

Der Rechengang wird nachfolgend am Beispiel einer 500 kW_{el} Praxisanlage (Gas-Otto-Motor) erläutert, die mit einer Gesamtverweilzeit von 100 Tagen betrieben wird.

Die erzielte Stromproduktion beträgt 13 875 kWh_{el}/d liegt somit, falls die Substratmassen exakt ermittelt wurden, deutlich über dem errechneten Sollwert von 10 966 kWh_{el}, der sich aus den Richtwerten für die Gaserträge der einzelnen Substrate errechnet (Tab. 5). Das hier dargestellte Praxisbeispiel zeigt, dass die Biogasanlage unter dem Gesichtspunkt der Substratausnutzung optimal betrieben wird. Möglichkeiten zur Optimierung der Biogasanlage bestehen hier daher nicht beim eigentlichen Abbauprozess und sollten vorrangig in anderen Bereichen (z. B. Eigenstromverbrauch, Wärmenutzung, Betriebsabläufe) gesucht werden.

Tab. 5: Substratcharakterisierung und daraus berechnete Methan- bzw. Stromproduktion für Rechenbeispiel 1

Substrat	Substratmasse t FM/d	oTM-Gehalt % FM	Methan- ertrag ¹⁾ m ³ /t oTM	Methan- volumen m ³ /d	Strom- produktion ²⁾ kWh _{el} /d
Rindergülle	14,0	6,4	210	199	793
Maissilage	11,0	29,0	340	1 236	4 929
Grassilage	8,0	23,0	320	801	3 195
Gersten-GPS	1,8	37,0	330	198	791
Rinderfestmist	6,0	20,0	250	316	1 258
Summe	41,8			2 751	10 966

¹⁾ Die Methanerträge der Einzelsubstrate entsprechen den Richtwerten aus Tabelle 2 dieses Heftes.

²⁾ Berechnet für einen elektrischen Wirkungsgrad von 40 % und den Heizwert von Methan (9,97 kWh/m³).

Beispiel 2

Der Rechengang wird nachfolgend am Beispiel einer einstufig betriebenen Praxisanlage erläutert, die mit einer Gesamtverweilzeit von 80 Tagen betrieben wird.

Die Gasverwertung erfolgt mit einem Zündstrahlmotor von 180 kW_{el} Nennleistung. Die tägliche Stromproduktion beträgt 4 808 kWh_{el}. Aus dem Zündölverbrauch von 71 l/d werden unter der Annahme eines Heizwertes von 9,39 kWh/l bei einem elektrischen Wirkungsgrad des BHKW von 42,8 % täglich 284 kWh_{el} Strom erzeugt. Die aus dem Biogas erzeugte Strommenge reduziert sich damit auf 4 524 kWh_{el}.