

# Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen

KTBL-Heft 88  
2. überarbeitete Auflage



## Projektbetreuung

Ursula Roth, Dr. Sebastian Wulf | KTBL

© 2010

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)  
Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt  
Telefon 06151 7001-0 | Fax 06151 7001-123  
E-Mail [ktbl@ktbl.de](mailto:ktbl@ktbl.de) | [www.ktbl.de](http://www.ktbl.de)

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.

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

### Lektorat

Claudia Molnar | KTBL

### Redaktion

Ursula Roth, Dr. Sebastian Wulf | KTBL

### Titelfoto

Susanne Döhler | KTBL

### Vertrieb

KTBL | Darmstadt

### Druck

Druckerei Lokay | Reinheim

Printed in Germany

ISBN 978-3-941583-42-9

Der Erarbeitung dieses Heftes liegen Untersuchungsergebnisse und Laborwerte zugrunde, die von den Mitgliedern der KTBL-Arbeitsgruppe „Biogaserträge“ im Rahmen des FNR-Projekts „Ringversuch zur Vergleichbarkeit von Biogaserträgen“ ermittelt, bereit- und zusammengestellt wurden. Der Dank hierfür gilt den Autoren und Einrichtungen:

- Prof. Dr. Thomas Amon, Dr. Alexander Bauer | Universität für Bodenkultur, Institut für Land-, Umwelt- und Energietechnik, Wien
- Dr. Manfred Bischoff | LUFA Nord-West, Oldenburg
- Dr. Joachim Clemens | Gewitra mbH, Bonn
- Dr. Hauke Heuwinkel | Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Landtechnik und Tierhaltung (ILT), Freising
- Ulrich Keymer | Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Ländliche Strukturentwicklung, Betriebswirtschaft und Agrarinformatik, München
- Gabi Meißbauer | Schmack Biogas AG, Schwandorf
- Dr. Hans Oechsner | Universität Hohenheim, Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie, Stuttgart
- Dr.-Ing. Gerd Reinhold | Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Jena
- Hannelore Schelle | Institut für Agrartechnik Bornim e.V. (ATB), Abteilung Bioverfahrenstechnik, Potsdam-Bornim
- Dir. u. Prof. Dr.-Ing. Peter Weiland | Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, Braunschweig
- OAR Winfried Welsch | Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Bonn
- Walter Zerr | Landesbetrieb Hessisches Landeslabor (LHL), Abtl. IV Landwirtschaft und Umwelt, Gießen

Darüber hinaus haben folgende Einrichtungen dankenswerterweise Daten zur Verfügung gestellt:

- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Pflanzenzüchtung (IPZ), Freising, Dr. E. Sticksel

- Fachhochschule Hildesheim/Holzminde/n/Göttingen, Fakultät Ressourcenmanagement, Fachgebiet Nachhaltige Energie- und Umwelttechnik (NEUTec), Prof. R. Wallmann
- Institut für Agrartechnik Bornim e. V. (ATB), Abteilung Technikbewertung und Stoffkreisläufe, Potsdam-Bornim (Ergebnisse aus dem FNR-Projekt „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands (EVA)“)
- Technologie- und Förderzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing, Dr. D. Bloch
- Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Abteilung Pflanzenproduktion und Agrarökologie, Dornburg (Ergebnisse aus dem FNR-Projekt „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands (EVA)“)

## Inhalt

1	Problemstellung . . . . .	6
2	Zielsetzung . . . . .	7
3	Herangehensweise . . . . .	8
4	Ermittlung der Gasausbeute . . . . .	9
	4.1 Methoden und Verfahren . . . . .	9
	4.2 Probenahme und Ergebnisberechnung . . . . .	10
5	Gaserträge . . . . .	13
	5.1 Gaserträge der Laborversuche . . . . .	13
	5.2 Richtwerte für die Gasausbeuten . . . . .	18
6	Gasausbeute und Stabilität des Fermentationsprozesses . . . . .	20
	6.1 Einflussfaktoren . . . . .	20
	6.2 Beispiele zur Berechnung/Darstellung der Anlageneffizienz . . . . .	25
	Literatur . . . . .	30
	KTBL-Veröffentlichungen . . . . .	33
	aid-Veröffentlichungen . . . . .	36

## 1 Problemstellung

Mit den Novellierungen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) in den Jahren 2004 und 2008 wurden die Voraussetzungen für einen verstärkten Einsatz der Biogaserzeugung in der Landwirtschaft geschaffen. Zusätzlich zu den nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) und Wirtschaftsdüngern werden zukünftig verstärkt auch rein pflanzliche Nebenprodukte Verwendung finden.

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 VDI-Richtlinie „Vergärung organischer Stoffe“ und die bundesweit durchgeführten Ringversuche konnte die Variation in den Messergebnissen der einzelnen Labore deutlich verringert werden.

Der Betrieb von inzwischen mehr als 4000 landwirtschaftlichen Biogasanlagen lieferte zudem Praxiserfahrungen zu verfahrenstechnischen Einflussfaktoren sowie Hinweise zur substratgerechten Dimensionierung der Anlagen. Auch hier zeigte sich der Bedarf für eine Überarbeitung der Datengrundlage der ersten Auflage.

## 2 Zielsetzung

Dieses KTBL-Heft fasst die aktuellen Ergebnisse der durchgeführten 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 letzten EEG-Novelle (2009) sind Veränderungen in der Substratzusammensetzung, Verfahrenstechnik und im Anlagenbetrieb zu erwarten. 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.

**Beispiel 1**

Der Rechengang wird nachfolgend am Beispiel einer Praxisanlage erläutert, die mit einer Gesamtverweilzeit von 100 Tagen betrieben wird.

Die unter Einsatz von zwei Zündstrahlmotoren erzielte Stromproduktion beträgt 11 680 kWh<sub>el</sub>/d. Der Zündölverbrauch beträgt 257 l/d. Aus dem Zündöl werden unter Annahme eines Heizwertes von 10 kWh<sub>el</sub>/l und eines elektrischen Wirkungsgrads des BHKW von 37 % täglich 950 kWh<sub>el</sub> Strom gewonnen. Die aus dem Biogas täglich erzeugte Strommenge reduziert sich damit auf 10 730 kWh<sub>el</sub>.

Die erzeugte Strommenge liegt somit, falls die Substratmassen exakt ermittelt wurden, deutlich über dem errechneten Sollwert von 8 481 kWh<sub>el</sub>, der sich aus den Richtwerten für die Gaserträge der einzelnen Substrate errechnet (Tabelle 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.

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

Substrat	Substratmasse t FM/d	oTM-Gehalt % FM	Methan- ertrag <sup>1)</sup> Nm <sup>3</sup> /t oTM	Methan- volumen Nm <sup>3</sup> /d	Strom- produktion <sup>2)</sup> kWh <sub>el</sub> /d
Rindergülle	14,25	6,4	210	192	709
Maissilage	10,50	29,0	340	1 035	3 831
Grassilage	8,25	23,0	320	607	2 247
Gersten-GPS	1,50	37,0	330	183	678
Rinderfestmist	5,50	20,0	250	275	1 018
<b>Summe</b>	<b>40,00</b>			<b>2 292</b>	<b>8 481</b>

<sup>1)</sup> Die Methanerträge der Einzelsubstrate entsprechen den Richtwerten aus Tabelle 2 dieses Heftes.

<sup>2)</sup> Berechnet für einen elektrischen Wirkungsgrad von 37 % und 10 kWh/m<sup>3</sup> Methan.

**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<sub>el</sub> Nennleistung gemeinsam mit einem Gasmotor von 315 kW<sub>el</sub> Nennleistung. Die tägliche Stromproduktion beträgt 9 069 kWh<sub>el</sub>. Aus dem Zündölverbrauch von 77 l/d werden unter der Annahme eines Heizwertes von 10 kWh/l bei einem elektrischen Wirkungsgrad des BHKW von 37 % täglich 285 kWh<sub>el</sub> Strom erzeugt. Die aus dem Biogas erzeugte Strommenge reduziert sich damit auf 8 784 kWh<sub>el</sub>.

Die tatsächlich erzeugte Strommenge ist um mehr als 10 % geringer als die aus den Einzelsubstraten errechnete Stromproduktion in Höhe von 10 072 kWh<sub>el</sub> (Tabelle 6). Das Praxisbeispiel zeigt, dass die Biogasanlage nicht optimal betrieben wird und Möglichkeiten für eine Optimierung des Anlagenbetriebs geprüft werden sollten.

Tabelle 6: Substratcharakterisierung und daraus berechnete Methan- bzw. Stromproduktion für Rechenbeispiel 2

Substrat	Substratmasse t FM/d	oTM-Gehalt % FM	Methan- ertrag <sup>1)</sup> Nm <sup>3</sup> /t oTM	Methan- volumen Nm <sup>3</sup> /d	Strom- produktion <sup>2)</sup> kWh <sub>el</sub> /d
Rindergülle	9,90	8,4	210	175	646
Maissilage	19,20	29,0	340	1 893	7 005
Weizenschrot	2,10	82,0	380	654	2 421
<b>Summe</b>	<b>31,20</b>			<b>2 722</b>	<b>10 072</b>

<sup>1)</sup> Die Methanerträge der Einzelsubstrate entsprechen den Richtwerten aus Tabelle 2 dieses Heftes; Weizenschrot eigene Untersuchungen.

<sup>2)</sup> Berechnet für einen elektrischen Wirkungsgrad von 37 % und 10 kWh/m<sup>3</sup> Methan.

**Beispiel 3**

Mittels der Richtwerte der Gaserzeugung lässt sich auch ein grafischer Soll-Ist-Vergleich der theoretischen Gasproduktion mit der realisierten Stromeinspeisung darstellen. In Abbildung 3 ist die aus der realisierten Stromeinspeisung errechnete Methanproduktion der theoretischen Gasbildung auf Basis der Richtwerte gegenübergestellt (Tabelle 7).