

# **Batchtests - Methoden und Übertragbarkeit auf Praxisanlagen**

Stefan Hartmann, Dr. Sebastian Wulf, Ursula Roth, Helmut Döhler,  
KTBL e.V., Darmstadt

## **Kurzfassung**

In Batchtests ermittelte Gaserträge sind wichtige Informationen für die Auslegung und den Betrieb von Biogasanlagen. Zur Verbesserung der Datenqualität wurde vom KTBL und der VDLUFA-NIRS-GmbH ein Ringversuch mit 30 Laboren durchgeführt. Durch dieses Projekt konnten die Abweichungen zwischen den Gärtest-Ergebnissen gleicher Substrate deutlich reduziert und somit die Belastbarkeit solcher Untersuchungsergebnisse als Planungsgrundlage für Biogasanlagen erhöht werden.

## **1. Einleitung**

Die Gaserträge von Substraten zur Biogaserzeugung, insbesondere die Methanerträge, sind eine wichtige Größe zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen, der Anlagenauslegung und des Anlagenmanagements. Die Kosten für Substrate zur Biogaserzeugung machen zwischen 40% und 60% der jährlichen Kosten einer Biogasanlage aus. Betrachtet man eine Anlage mit einer Leistung von 250 kW<sub>el</sub> führen 10% Differenz in den Substratkosten bereits zu einem Gewinn oder Verlust von 15.000 €/Jahr. In der Auslegung von Biogasanlagen wird das Verhältnis von Fermentergröße und Raumbelastung zur angestrebten BHKW-Leistung, im Anlagenmanagement die tägliche Substratzufuhr durch die verwendeten Substrate und deren Gaserträge bestimmt. Auch für die Pflanzenzüchtung ist die Kenntnis von Gaserträgen, die in der Regel in Gärversuchen ermittelt werden, für die Selektion geeigneter Sorten unabdingbar.

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. In diesem Beitrag sollen mögliche Ursachen für Variabilitäten in den Ergebnissen von Gärversuchen aufgezeigt und Möglichkeiten zur Absicherung von Gasertragsmessung diskutiert werden.

## 2. Batch-Gärtests

Zur Durchführung von Batch-Gärtests wird das Material mit einem Impfschlamm versetzt und bei einer definierten Temperatur (35-38°C) ohne Materialaustausch so lange inkubiert, bis keine relevante Gasbildung mehr stattfindet. Es ergeben sich Versuchsdauern von 30-35 Tagen. Das entstehende Gas wird auf Volumen und CH<sub>4</sub>-Gehalt analysiert. Das Gärvolumen der Versuchsaapparaturen variiert von 100 ml bis >15 Liter (Abbildung 1). Die Gaserfassung kann mit Gassammelbeuteln, Mikrogaszählern oder Eudiometern erfolgen. Die Bestimmung der Gasqualität bzw. des CH<sub>4</sub>-Gehaltes wird meist mit Infrarot-Messgeräten durchgeführt.



Abb. 1: Apparaturen unterschiedlicher Größe zur Durchführung von Batch-Gärtests. (Fotos: links: gewitra mbH, rechts: Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie, Universität Hohenheim)

Der Gas- oder CH<sub>4</sub>-Ertrag wird in der Regel auf die zugeführte organische Trockensubstanz bezogen und auf Normbedingungen (0°C und Atmosphärendruck) umgerechnet. Die so ausgewerteten Gasertragsmessungen werden häufig als Summenkurven dargestellt, die den Verlauf der Gasbildung verdeutlichen. Verzögerungen und Unregelmäßigkeiten in der Gasbildung können so erkannt werden.

Versuche aus Gasertragsmessungen geben Informationen zu den potenziell erzielbaren Gaserträgen der jeweils getesteten Substrate. Die Eigenschaften der Substrate können sich je nach Sorte, Erntezeitpunkt, Lagerung und Anbaujahr voneinander unterscheiden. Für die Vorplanung von Biogasanlagen muss daher auf Richtwerte zurückgegriffen werden, die repräsentativ für die jeweilige Substratgruppe sein sollten. Hierzu hat das KTBL im Jahr 2005 und erneut 2010 statistische Auswertungen vorgenommen und mit einer Expertengruppe in batch-Versuchen durchgeführte Gasertragsmessungen der bis dahin praktizierenden Labore ausgewertet. Für mittlere oTS-Gehalte der Substrate wurden die Biogaserträge und CH<sub>4</sub>-Gehalte berechnet. Die Variabilität (Variationskoeffizient) der Messungen war für einige Substrate mit über 30 % sehr hoch. Für andere Substrate lagen nur wenige Messwerte vor.

In diesen Fällen war eine statistische Auswertung nicht möglich. Solche Unterschiede in den Ergebnissen von Gasertragsmessungen ähnlicher Substrate machen die Ableitung von Richtwerten unsicher. Hieraus wurde der Bedarf für einen Ringversuch abgeleitet.

### 3. Ringversuch Biogaserträge

Arbeitshypothese für die Durchführung des Ringversuches war, dass die hohen Variationskoeffizienten in den Gaserträgen für Substrate einer Gruppe nicht nur auf die Substrateigenschaften zurückzuführen sind, sondern auch in der Durchführung und Auswertung der Gasertragsmessungen Fehlerquellen liegen. Hierzu führte das KTBL in einem vom BMELV über die FNR geförderten Vorhaben, gemeinsam mit der VDLUFA-NIRS-GmbH und begleitet von einer Expertengruppe einen Ringversuch durch, an dem zuletzt 30 Labore teilgenommen haben. In drei Durchgängen wurden steigende Anforderungen an die Messung gestellt. Identisches Probenmaterial wurde an die Labore verschickt und von diesen vergoren. Im ersten Durchgang waren dies Cellulose und geschrotetes Getreide, im zweiten Durchgang getrocknete Silagen und im dritten Durchgang frische Silagen. Somit waren zuletzt auch Einflüsse der Probenlagerung und der Probenhomogenisierung zu erwarten.

Alle teilnehmenden Labore gaben an, die Gasertragsmessung in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 4630 durchzuführen. Trotzdem wurden im ersten Durchgang für die Cellulose, ein sehr homogenes Substrat, mit einem Variationskoeffizienten von 16 % vergleichsweise hohe Abweichungen in den Ergebnissen zwischen den Laboren festgestellt (Abbildung 2).

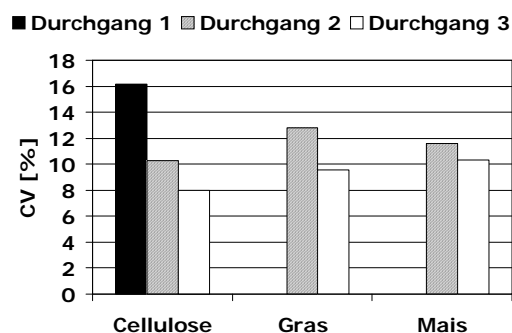


Abb. 2: Variationskoeffizienten (CV) für die Ergebnisse im CH<sub>4</sub>-Ertrag zwischen den am Ringversuch teilnehmenden Laboren für Cellulose, Gras und Mais. Die Eigenschaften der Proben von Gras und Mais unterscheiden sich für die beiden dargestellten Durchgänge.

Die Abweichungen in den Ergebnissen konnten nicht auf Unterschiede in Art und Größe des Versuchsaufbaus zurückgeführt werden. Deutlich war jedoch, dass in den folgenden zwei

Durchgängen die Variationskoeffizienten stark abnahmen und somit die Vergleichbarkeit zwischen den Laboren deutlich zunahm. Das gleiche gilt für die Ergebnisse bei der Vergärung von Gras und Mais, obwohl mit den frischen Silagen im dritten Durchgang deutlich schwerer zu handhabendes Material eingesetzt wurde. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die Teilnahme an dem Ringversuch und die gemeinsame Analyse der Ergebnisse und Methoden zu einer deutlichen Annäherung der Ergebnisse führte.

In vielen Fällen war weniger die Messtechnik, als das Auswertungsverfahren Ursache für Abweichungen. Fehlerquellen waren die Umrechnung in Normliter, die Berechnung des  $\text{CH}_4$ -Ertrags aus  $\text{CH}_4$ -Konzentrationen und Biogaserträgen, sowie die Korrektur der Messwerte um den im Gas enthaltenen Wasserdampf und das Kopfraumvolumen der Versuchsgefäße. Die VDI-Richtlinie 4630 beschreibt ein korrektes Vorgehen zur Berechnung der Gasvolumina und Konzentrationen. Offensichtlich ist die Richtlinie jedoch zu komplex aufgebaut, um eine Umsetzung im Laboralltag zu gewährleisten. Daher hat die projektbegleitende KTBL-Arbeitsgruppe aus den Erfahrungen des Ringversuchs einen Entwurf für eine VDLUFA-Methodenvorschrift zur Durchführung von batch-Gärversuchen erarbeitet. Dieser basiert auf der VDI-Richtlinie, stellt jedoch eine einfache „Schritt für Schritt“-Anleitung dar.

#### **4. Übertragbarkeit von Laborergebnissen auf Praxisanlagen**

Ursache für mögliche Abweichungen in den Gaserträgen zwischen Labor und Praxis sind die prinzipiellen Unterschiede in den Gärbedingungen. Sowohl in den Gärvolumina, als auch dem Ablauf der biologischen Prozesse unterscheiden sich die beiden Systeme.

##### 4.1. Einfluss des Gärvolumen

Im Vergleich zu Gärversuchen kann das um Größenordnungen höhere Volumen von Biogasanlagen zu einer geringeren Durchmischbarkeit des Fermenterinhalts führen. Allerdings werden batch-Fermenter im Gegensatz zu Biogasanlagen häufig nur einmal täglich durchmischt.

Versuche zum Einfluss des Gärvolumens auf den Biogasertrag wurden bisher nur mit geringem Erfolg durchgeführt. In einem Kooperationsprojekt der FH Soest, der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, der Universität Bonn und der FH Köln (Lütke Entrup et al. 2007) wurde parallel in Fermentern von 5 Liter, 100 Liter und 50  $\text{m}^3$  Volumen identisches Substrat vergoren. Allerdings traten vor allem in den Fermentern mit größeren Volumina technische Probleme auf, die einen stabilen Betrieb und somit einen Vergleich der erzielten Gaserträge nicht möglich machten. Auch in Versuchen von Gronauer und Kaiser (2007), die Gaserträge aus batch-Fermentern von 2 Liter und 36 Liter Volumen miteinander

verglichen, erschwerten vor allem technische Probleme in den größeren Versuchsfermentern die Aussage. Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gaserträgen der verschiedenen Fermentergrößen festgestellt werden.

#### 4.2. Einfluss der Betriebsweise

Im Gegensatz zu batch-Gärversuchen werden Biogasanlagen in der Regel kontinuierlich betrieben. Dies bedeutet, dass täglich Substrat zugeführt wird und die Stufen des Abbaus von organischer Substanz (Hydrolyse, Acidogenese, Acetogenese und Methanbildung) im Gleichgewicht nebeneinander ablaufen. Im Batch-Reaktor hingegen wird nur einmal eine größere Menge Substrat zugeführt. Zunächst muss also eine Hydrolyse und Säurebildung einsetzen, bevor die Methanbildung beginnen kann. Eine Beeinträchtigung des Gärprozesses durch Zwischenprodukte ist daher nicht ausgeschlossen. Allerdings werden die Gärversuche in der Regel so lange durchgeführt, bis die CH<sub>4</sub>-Bildung weitgehend abgeschlossen und somit das Gaspotential ausgeschöpft ist.

In einem an der Universität Bonn durchgeführten Vergleich zwischen batch- und kontinuierlich betriebenen Fermentern, die mit einer täglichen Substratzufuhr (Raumbelastung) von 2g oTS/Liter Fermentervolumen betrieben wurden, konnten keine signifikanten Unterschiede in den Gaserträgen festgestellt werden (Tab. 1).

Tab. 1: Vergleich der Biogaserträge von Grassilage aus batch- und kontinuierlichen Gärversuchen. (Lütke Entrup et al. 2007)

[NI/kg/oTS]	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Kontinuierlich	687	744	669
Batch	645	765	644
Faktor	0,94	1,03	0,96

#### 4.3. Vergleich mit Praxisanlagen

Eine Erhebung der Substratausnutzung der Fa. Bioreact bei 1465 Biogasanlagen die eine große Anzahl an Anlagenhersteller, Anlagengrößen und Jahren der Inbetriebnahme umfasst (Abb. 3), zeigte dass die mittlere erzielte Substratausbeute nahezu den aus Richtwerten berechneten Gasausbeuten entspricht.

Alle diese Untersuchungen beziehen sich auf Angaben der Betreiber. Hiermit sind einige Unsicherheiten verbunden, da nicht immer sichergestellt ist, dass der Gasertrag korrekt auf Normliter umgerechnet wurde und die Möglichkeiten zur Erfassung genauer Daten des Substratinputs über Wägung und TS-Bestimmung häufig begrenzt sind.

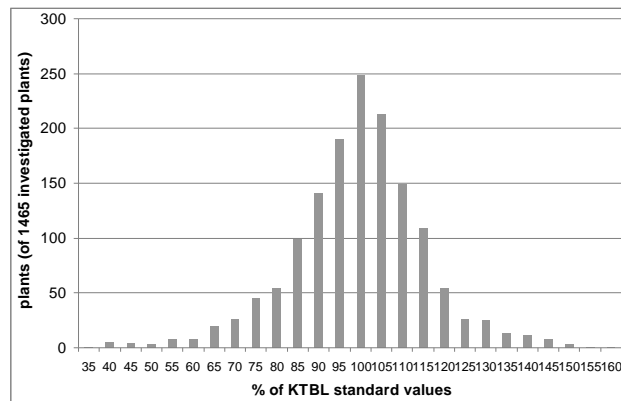


Abb. 3: Relative Substratausnutzung bezogen auf KTBL-Richtwerte (Bioreact 2009)

## 5. Ausblick

Vergleiche mit Erhebungen zu Gaserträgen auf Biogasanlagen zeigen, dass Richtwerte zu Gasausbeuten, die aus batch-Laborversuchen abgeleitet werden für die Auslegung und die wirtschaftliche Vorplanungen von Biogasanlagen geeignet sind. Durch Optimierungen im Anlagenbetrieb sind jedoch Erträge erzielbar, die deutlich über den Richtwerten liegen.

Das KTBL plant die regelmäßige Überprüfung seiner Richtwerte unter Berücksichtigung von Entwicklungen in Wissenschaft, Technik und Pflanzenzüchtung.

Wissenschaftliche Untersuchungen zur Messung der Substratausbeute auf Biogasanlagen sind notwendig. Hierzu müssen alle relevanten Daten zu Substratinput und Gasertrag mit geeigneter Messtechnik erfasst werden.

## 6. Literatur

Döhler, S.; Hauptmann, A.; Döhler H. (2009): Fortschrittlich gelöst – Musterlösungen zukunftsorientierter Biogasanlagen. Joule 1, 2009 S. 34-37.

Gronauer, A.; Kaiser, F. (2006): Evaluierung der Methanproduktivität nachwachsender Rohstoffe in Biogasanlagen als Grundlage für eine EDV-gestütztes Expertensystem für Beratung und Praxis. Endbericht an das Bayerische Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten.

Bioreact (2009): pers. Mitteilung Hölker, U. und <http://www.biogaswissen.de/>

KTBL (2005): Gasausbeute in Landwirtschaftlichen Biogasanlagen. KTBL Heft 50. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.

Lütke Entrup, N.; Gröblichhoff, F.-F.; Block, K.; Berendonck, C.; Clemens, J.; Wulf, S.; Spoth, K.; Rieker, C. (2007): Entwicklung von Anbaufolgen zur Erzeugung von Biomasse für die Biogaserzeugung. Abschlussbericht an das MUNLV-Nordrhein Westfalen.