

Biogasausbeuten im Labor im Vergleich zur rechnerischen Abschätzung

Eine einfache und schnelle Anlagenplanung und deren Dimensionierung gewinnen immer mehr an Bedeutung. Ziel der Arbeit ist es, die theoretischen Methanerträge zweier Berechnungsansätze über den Vergleich mit den Erträgen aus Batch-Biogasversuchen zu beurteilen. Für den theoretischen Methanertrag wurde zum einen die chemische Zusammensetzung und zum anderen die Verdaulichkeit der Substrate für Wiederkäuer herangezogen.

Katharina Czepuck ist Diplomandin, Dr. Hans Oechsner ist Leiter, Dipl.-Ing. Britt Schumacher und Dipl.-Ing. agr. Andreas Lemmer sind wissenschaftliche Mitarbeiter der Landesanstalt für landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen, Garbenstrasse 9, 70593 Stuttgart; e-mail: oechsner@uni-hohenheim.de

Schlüsselwörter

Biogas, Erneuerbare Energie, Vergärung, theoretische Biogasausbeute, Biogasertrag, Reinsubstanzen, Gärtest, Batch-Versuche, Hohenheimer Biogasertragstest (HBT)

Keywords

Biogas, renewable energy, digestion, theoretical biogas yield, biogas yield, pure substances, batch-experiments, Hohenheimer Biogas-Yield-Test (HBT)

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 06221 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/localliteratur.htm> abrufbar.

Die für die Vergärung in Biogasanlagen eingesetzten Gärgüter setzen sich aus den drei Stoffklassen der Kohlenhydrate Fette und Proteine in unterschiedlichen Mischungen zusammen. Daher werden die Biogaserträge verschiedener Gärsubstrate teilweise über die Zusammensetzung der Inhaltsstoffe und die jeweiligen spezifischen Gaserträge der Inhaltsstoffe abgeschätzt [1, 2, 3]. Im Rahmen der Laboruntersuchungen wurden Einzelnährstoffe aus den Gruppen der Kohlenhydrate, Fette und der Proteine in Labor-Biogasanlagen auf ihre Biogas- und Methanbildung hin untersucht. Im Abschluss wurden diese mit den theoretisch abgeschätzten Methanerträgen auf der Basis der Substratinhaltsstoffe und der Verdaulichkeit verglichen.

Material und Methoden

Für die Bestimmung der tatsächlichen Biogas- und Methanausbeute im Labor wurde ein Batch-Verfahren, der "Hohenheimer Biogasertragstest" [4], verwendet. Dieser Gärtest erlaubt es, Aussagen zum substratspezifischen Biogas- und Methanertrag, zur anaeroben biologischen Abbaubarkeit und zur Beurteilung der Geschwindigkeit des anaeroben Abbaus des untersuchten Stoffes zu treffen. Die Inkubation der Ansätze erfolgt für 34 Tage unter mesophilen Bedingungen (37 °C).

Tab. 1: Im Labor ermittelte Methanerträge und -gehalte

Stoffklasse	Substrat	Methanertrag [Nm ³ CH ₄ /Kg oTS]	Methangehalt [%]
Kohlenhydrate	Stärke	0,349	45
	Stärke	0,392	48
Fette	Sonnenblumenöl	0,861	67
	Kokosfett	0,807	67
Proteine	Gelatine	0,437	62
	Casein	0,457	63

Tab. 1: Methane yields and content of the substrates measured in the lab

Tab. 2: Nach Buswell und Keymer berechnete Methangehalte im Vergleich zu den im Laborversuch gemessenen Werten

Stoffklasse	Substrat	Theoretische Methangehalte im Biogas [%]	
		Chem. Potenzial nach Buswell	Berücksichtigung der Verdaulichkeit nach Keymer/Baserga
Kohlenhydrate	Stärke	50	50
	Stärke	50	50
Fette	Sonnenblumenöl	72	68
	Kokosfett	71	68
Proteine	Gelatine	63	69
	Casein	65	70

Tab. 2: Methan content calculated with Buswell and Keymer and in measured in the laboratory

Die Berechnung der potenziellen theoretischen Biogasausbeute und Methanerträge erfolgt nach Buswell [5] über die chemische Zusammensetzung der verwendeten Substrate. Für Proteine wurde dementsprechend die Formel nach Boyle [6] zur Berechnung der theoretischen Biogaszusammensetzung verwendet. Die chemischen Summenformeln für die Proteine, Casein und Gelatine [7] ergeben sich aus den prozentualen Anteilen der Aminosäuren des jeweiligen Substrates. Für die Fette werden die Summenformeln über die Fettsäurezusammensetzungen [8] berechnet.

Weiterhin wurden die theoretischen Biogas- und Methanerträge über die Verdaulichkeit der verfügbaren Rohrnährstoffgehalte der Substrate berechnet. Den verdaulichen Inhaltsstoffen wird eine Gasbildungsrate nach [9] sowie ein Methangehalt zugeordnet.

Ergebnisse und Diskussion

Methanerträge aus dem Gärversuch

In Bild 1 ist erkennbar, dass Kohlenhydrate sehr schnell abgebaut werden. Beim Einsatz von Stärke sind bereits nach sieben Tagen 90% der gesamten Gasbildung erreicht. Zellulose wird schwerer aufgeschlossen und benötigt elf Tage bis zur Bildung von 90% des Methans. Der Methanertrag von Zellulose beträgt 0,392 Nm³CH₄/kg oTS. Stärke

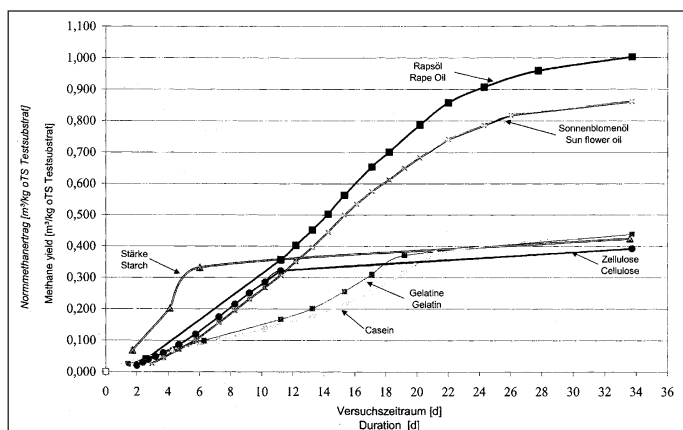


Bild 1: Verlauf der Methanbildung ausgewählter Substrate aus den Stoffgruppen der Kohlenhydrate, Fette und Eiweiße im Batch-Gärversuch nach einer Gärdauer von 34 Tagen

Fig. 1: Process of the methane formation of selected substrates from the groups of materials of carbohydrates, fats and proteins in the batch-biogastest with a retention time of 34 days

(0,349 Nm³CH₄/kg oTS) liegt im Vergleich mit den anderen Kohlenhydraten leicht darunter. Allgemein sind Kohlenhydrate leicht abbaubar, liefern aber geringere Methanerträge im Biogas als Fette und Proteine (Tab. 1).

Die Fette lassen sich im Vergleich zu den Substraten der Stoffklassen Kohlenhydrate und Proteine am schwersten abbauen. Der Fermentationsprozess startet mit einer Verzögerung von zwei Tagen. Weiterhin benötigt Sonnenblumenöl 24 Tage bis 90% des Substrates abgebaut sind. Sonnenblumenöl bringt durch die Vergärung im HBT einen Methanertrag von 0,861 Nm³CH₄/kg oTS. In der Zeit von 35 Tagen wird von Rapsöl ein Methanertrag von 1,00 Nm³CH₄/kg oTS erreicht. Bei den Fetten sind die Methangehalte im Biogas mit 67% sehr hoch.

Der Abbau der Substrate aus der Stoffklasse der Proteine verläuft langsamer als bei den Kohlenhydraten aber schneller als bei den Fetten. Das Substrat Gelatine hat erst nach 19 Tagen 90% seines gesamten Normgases gebildet, Casein erst nach 21 Tagen. Die höchsten Methanerträge aus der Stoffgruppe der Proteine erzielt Casein mit 0,457 Nm³CH₄/kg oTS. Die Methanerträge von Gelatine liegen bei 0,437 Nm³CH₄/kg oTS und damit unter dem Mittelwert der Substanzen aus der Stoffklasse der Proteine.

Potenzielle Methanerträge berechnet anhand der chemischen Zusammensetzung:

Die anhand der chemischen Zusammensetzung des Substrates rechnerisch abgeschätzten Methanerträge liegen über den im Versuch gemessenen (Tab. 2). Für Stärke und Zellulose ergibt sich mit 0,415 Nm³CH₄/kg oTS der gleiche Wert, da diese Substrate dieselbe chemische Zusammensetzung aufweisen und für beide mit einem Methangehalt von 50% gerechnet wird. Die Labor-Methanerträge weichen bei Stärke 19% und bei Zellulose 6% vom chemischen Potenzial ab (Bild 2). Für Sonnenblumenöl und Kokosfett wurde ein chemisches Methanertragspoten-

zial von 1,025 Nm³CH₄/kg oTS und 0,982 Nm³CH₄/kg oTS berechnet. Bezüglich der Methanerträge befindet sich das chemische Potenzial von Sonnenblumenöl 19% und von Kokosfett 22% über den Versuchsergebnissen. Die theoretischen Methanerträge des chemischen Potenzials betragen 0,504 Nm³CH₄/kg oTS für Gelatine und 0,512 Nm³CH₄/kg oTS bei Casein. Bezüglich des Methanertrages liegen die theoretischen Erträge von Gelatine 15% und von Casein 12% über den Methanerträgen, die im Labor erzielt wurden.

An der Abstufung der Abweichungen von den Laborerträgen zu den theoretischen Methanerträgen ist zu erkennen, dass die Differenzen vom berechneten zum gemessenen Methanertrag mit zunehmender Komplexität der Substrate und mit ungenauer werdenden Angaben über deren chemische Zusammensetzung, größer werden.

Abschätzung der Methanerträge berechnet mit Hilfe der Verdaulichkeit

Unter Berücksichtigung der Verdaulichkeit und des entsprechenden Methangehaltes ergibt sich für Zellulose und Stärke theoretisch ein Methanertrag von 0,374 Nm³CH₄/kg oTS. Bei diesem Berechnungsansatz wird für Kohlenhydrate allgemein von einem Methangehalt von 50% ausgegangen. Die theoretischen Methanerträge liegen dann 7% bei Stärke über und 5% bei Zellulose unter den Methanerträgen der gemessenen Werte (Bild 2).

Über die Verdaulichkeit ergibt sich für die hier dargestellten Fette der selbe theoretische Methanertrag. Für verschiedene Fette wird derselbe Methanertrag von 0,812 Nm³CH₄/kg oTS. Das Abschätzen der Methanerträge von Fetten unter Berücksichtigung der ruminanten Verdaulichkeit führt im Vergleich zur Messung im Biogaslabor zu einer Unterschätzung um 6% bei Sonnenblumeöl und um 23% bei Rapsöl.

Bezüglich des theoretischen Methanertrages berechnet über die Verdaulichkeit des

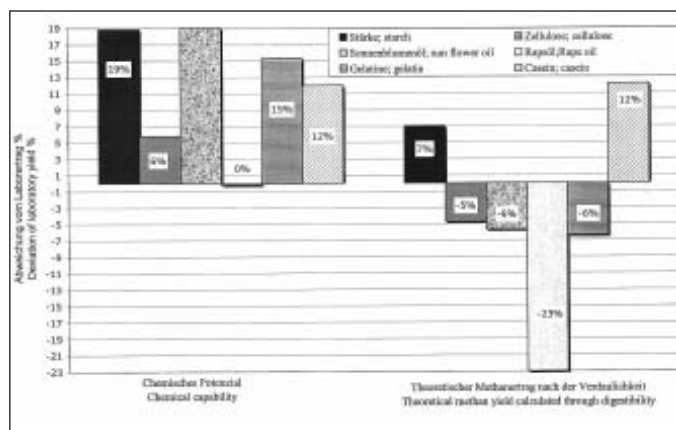


Bild 2: Abweichung der unter Berücksichtigung der chemischen Zusammensetzung und der Verdaulichkeit, rechnerisch abgeschätzten Methanerträge von den Messergebnissen im Labor

Fig. 2: Deviation of the potential methane yields, on the basis the chemical composition and digestibleness, of the methane yields in the HBT

Substrate ergaben sich für Gelatine 0,409 Nm³CH₄/kg oTS und für Casein 0,513 Nm³CH₄/kg oTS. Diese Werte weichen vom Methanertrag im Gärversuch bei Casein um 12% nach oben und Gelatine um 6% nach unten ab.

Fazit

Eine wichtige Voraussetzung für die Berechnung der potenziellen Biogasausbeute über die chemische Zusammensetzung ist eine genaue chemische Analyse des Gärgutes. Die Berechnung der Methanerträge aufgrund der chemischen Zusammensetzung der Stoffe nach der Formel von Buswell führt in der Regel zu einem Überschätzen der tatsächlich realisierbaren Methanerträge, da in diesem Berechnungsmodell von einem vollständigen Abbau der Substrate ausgegangen wird.

In Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Substrate wird die organische Substanz in einer Biogasanlage nur unvollständig abgebaut. Daher ist ein Korrekturfaktor zur Abschätzung der „Verdaulichkeit“ in der Biogasanlage erforderlich. Da sich die Umsetzbarkeit von Fetten und Proteinen im Pansen eines Wiederkäuers und in der Biogasanlage jedoch deutlich unterscheidet, stellt die aus der Fütterung für Wiederkäuer abgeleitete Verdaulichkeit vor allem für eiweiß- und fettreiche Substrate keinen geeigneten Korrekturfaktor dar. Zudem lassen sich die chemischen Summenformeln von komplex zusammengesetzten Substraten wie Pflanzen und Pflanzenteilen nur schwer ermitteln. Hier erscheinen Berechnungsmodelle, die lediglich die Makronährstoffgehalte berücksichtigen sinnvoller, auch wenn damit die Differenzen bei Reinsubstanzen nicht berechnet werden können.