

Kann die spezifische Methanausbeute durch Kofermentation pflanzlicher Substrate gesteigert werden?

L. Jahn^{1,2}, S. Ohl², M. Hasler³, A. Techow¹, R. Quakernack⁴, A. Pacholski⁴, E. Hartung², H. Kage⁴, F. Taube¹, A. Herrmann¹

CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL,

¹ INSTITUT FÜR PFLANZENBAU U. -ZÜCHTUNG; GRÜNLAND U. FUTTERBAU/ÖKOL. LANDBAU

² INSTITUT FÜR LANDWIRTSCHAFTLICHE VERFAHRENSTECHNIK

³ VARIATIONSSTATISTIK

⁴ INSTITUT FÜR PFLANZENBAU U. -ZÜCHTUNG; ACKER- U. PFLANZENBAU
24118 Kiel

1. Einleitung und Problemstellung

Die Produktion von Energiepflanzen, welche sich auf vielen landwirtschaftlichen Betrieben zu einem wichtigen Betriebszweig entwickelt hat, wird in den meisten Regionen durch Mais dominiert. Potentiell negative Effekte der in den letzten Jahren beobachteten Ausdehnung des Maisanbaus führen zu einer intensiven Diskussion um die Leistungsfähigkeit von Biogasfruchtfolgen. Bekanntermaßen wird der Methanhektarertrag (MHE) im Wesentlichen durch den Trockenmasse-Ertrag determiniert. Darüber hinaus weisen aktuelle Forschungsergebnisse darauf hin, dass aus Maismonofermentation Prozessinstabilität resultieren kann aufgrund eines Mangels von Mikro- und Makronährstoffen bzw. eines Eintrags von Hemmstoffen (BRUNI et al., 2010; DEMIREL and SCHERER, 2011). Der MHE wird bekanntermaßen in starkem Maße durch den TM-Ertrag determiniert. Die Variation des spezifischen Methanertrages (SME) durch Pflanzenart, Entwicklungsstadium oder Nährstoffversorgung trägt in deutlich geringerem Umfang zur Variation des MHE bei, sollte jedoch nicht vernachlässigt werden. Zum Effekt der Kofermentation pflanzlicher Substrate auf die SME liegen jedoch nur in begrenztem Umfang Studien vor. Ziel dieser Untersuchung war es daher, den Kofermentationseffekt durch eine systematische Analyse des SME über Fermentation als Reinsubstanz bzw. in definierten Mischungen zu quantifizieren.

2. Material und Methoden

Proben von Silomais, Weizenganzpflanze sowie Deutschen Weidelgras aus dem ersten bzw. zweiten Aufwuchs wurden einem Feldversuch entnommen, in welchem der Einfluss von Fruchtfolge, N-Düngeform und N-Menge auf die Ertragsleistung und die Umwelteffekte an einem Standort nahe der Nordseeküste Schleswig-Holsteins untersucht wurden. Die Ausgangssubstrate stellen repräsentative Unterproben aus 4 Feldwiederholungen aus optimal mit Stickstoff versorgten Varianten dar, welche im Jahr 2010 zur Siloreife beerntet wurden (Mais, Weizen: Teigreife, Weidelgras 1. Aufwuchs: Ährenschieben). Die Proben wurden bei 58 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, auf 1 mm vermahlen und anaerob vergoren als Reinsubstrate, in binären Mischungen (0-100%) von Mais/1. Aufw. Gras, Mais/2. Aufw. Gras, Mais/Weizen, Weizen/1. Aufw. Gras, sowie in 3-Komponenten-Mischung von Mais/Weizen/1. Aufw. Gras und Mais/Weizen/2. Aufw. Gras. Der spezifische Methanertrag wurde nach dem Hohenheimer Biogas Ertragstest (HBT) mit drei Laborwiederholungen ermittelt nach VDI 4630 (VDI, 2006) sowie HELFRICH and OECHSNER (2003). Hierbei wurden ca. 300 mg Substrat mit 30 ml Inokulum (Klärschlamm) für 28 Tage bei 38 °C inkubiert, wobei das Substrat/Inokulum-Verhältnis maximal 0.5 betrug. In jedem Versuchsansatz

wurden je drei Proben zweier Referenzsubstrate (reiner Klärschlamm, kristalline Cellulose) mitgeführt. Die Gaszusammensetzung wurde mittels eines Advanced Gasmiters (AGM 10, Sensors Europe) bestimmt und auf Normbedingungen korrigiert. Die inhaltstoffliche Zusammensetzung der pflanzlichen Ausgangssubstrate wurde anhand der Gehalte an Asche, Stickstoff, Rohfett, ADF, NDF, wasserlöslichen Kohlenhydraten, Stärke, Enzym-löslicher organischer Substanz (ELOS) und der Energiekonzentration charakterisiert (Tab. 1). Multiple Kontrasttests nach DILBA et al. (2006) wurden durchgeführt zum Vergleich der theoretischen (aus den Methan- ausbeuten der Ausgangssubstrate und den Mischungsverhältnissen berechneten) und der im Versuch ermittelten spezifischen Methanerträge.

Tab. 1: Inhaltsstoffliche Zusammensetzung der untersuchten Substrate (g kg⁻¹ TM).

	Mais	Weizen	Gras, 1. Aufw.	Gras, 2. Aufw.
Trockenmassegehalt	304,4	416,8	238,2	291,7
Asche	44,0	91,0	83,0	120,0
Stickstoff	12,6	15,2	18,6	26,4
Rohfett	21,0	17,0	32,0	31,0
ADF	234,0	308,0	200,0	228,0
NDF	478,0	502,0	450,0	518,0
Wasserlösliche Kohlenhydrate	n.v.	n.v.	186,0	92,0
Stärke	282,0	264,0	n.v.	n.v.
ELOS*	674,0	594,0	752,0	655,0
Energiekonzentration (ME kg ⁻¹ DM)	10,4	9,3	11,3	10,3

* Enzym-lösliche organische Substanz; n.v. nicht verfügbar

3. Ergebnisse und Diskussion

Die ermittelten spezifischen Methanerträge der Reinsubstrate und Mischungen variierten zwischen 341 und 393 l_N kg⁻¹ CH₄ oTM (Tab. 2) und weisen eine gute Übereinstimmung zu publizierten Werten auf. Die anaerobe Vergärung von reinen Mais- und Grasproben resultierte in ähnlichen spezifischen Methanerträgen und Mais/Gras-Mischungen wiesen keine signifikanten Abweichungen zwischen theoretischen und gemessenen Werten auf. Antagonistische bzw. synergistische Effekte der Kofermentation variierten zwischen -9,4 und 4,8% und wurden nur für Mischungen festgestellt, in welchen Weizenganzpflanze als eine Komponente enthalten war. Für zwei von insgesamt 5 Mais/Weizen-Mischungen überstieg der gemessene SME signifikant den theoretischen Wert, welcher sich nach Annahme einer rein additiven Wirkung ergeben würde. Für vier von 10 Mais/Weizen/Gras-Mischungen hingegen konnte ein signifikant antagonistischer Effekt nachgewiesen werden. Der Methangehalt, welcher im Bereich von 55,2 bis 59,5% schwankte, war tendentiell geringer für diejenigen Mischproben, welche eine negative Differenz zwischen theoretischem und gemessenem SME aufwiesen. MUKENGELE et al. (2006) berichteten bis zu 8% höhere SME für binäre Mischungen aus Silagen aus Mais, Klee gras, Futterrüben und Roggenganzpflanze. Eine Studie von AMON et al. (2004) zur Kofermentation verschiedener Silagen und Schweinegülle fand eine Variation der relativen Unterschiede zwischen theoretischen und gemessenen SME von -2,4 bis 48,5%.

Die den beobachteten Effekte zugrunde liegenden Ursachen sind nicht eindeutig. Die binären Mischungen 4 und 5 waren durch eine höhere SME mit steigenden Weizen-

anteilen gekennzeichnet. In Übereinstimmung hierzu wiesen die 3-Komponenten-Mischungen 24 und 25 (geringe Weizen- und Grasanteile) antagonistische Effekte auf. Dies könnten auf den N-Gehalt bzw. das C/N-Verhältnis zurückgeführt werden, welches für eine stabile Vergärung in einem optimalen Bereich liegen soll (BRAUN, 1982). Der Gehalt an Spurenelementen, welche oft als limitierender Faktor der Monofermentation betrachtet wird (DEMIREL and SCHERER, 2011), wird aufgrund der relativ kurzen Inkubationsdauer als Ursache ausgeschlossen. Der bei Mischung 23 beobachtete antagonistische Effekt könnte auf einem zu hohen Proteingehalt und daraus resultierender Ammoniakhemmung beruhen. Dann hätten jedoch ähnliche Effekte bei binären Mais/Gras- und Weizen/Gras-Mischungen auftreten müssen.

Tab. 2: Einfluss variierender Mischungsverhältnisse auf den theoretischen und gemessenen spezifischen Methanertrag ($\text{l}_N \text{ kg}^{-1} \text{ CH}_4 \text{ oTM}$); p-Werte nach multiplen Kontrasttests.

Mischung	Sample composition (% of DM)				SME theoret, ($\text{l}_N \text{ kg}^{-1}$ oTM)	SME gemess, ($\text{l}_N \text{ kg}^{-1}$ oTM)	Relative Differenz (% von theor, Wert)	p
	Mais	Weizen	Gras 1, Aufw,	Gras 2, Aufw,				
	100					384,2		
		100				345,7		
			100			386,6		
				100		372,2		
1	85	15			378,4	377,0	-0,4	0,999
2	75	25			374,5	376,7	0,6	0,996
3	50	50			364,9	362,4	-0,7	0,992
4	25	75			355,3	369,8	4,1	0,050
5	15	85			351,4	368,1	4,8	0,022
6	85		15		384,5	389,5	1,3	0,997
7	75		25		384,8	387,3	0,7	0,998
8	50		50		385,4	379,8	-1,5	0,849
9	25		75		386,0	384,4	-0,4	0,998
10	15		85		386,3	388,9	0,7	0,997
11	75			25	381,2	375,0	-1,6	0,754
12	50			50	378,2	377,9	-0,1	1,000
13	25			75	375,2	384,1	2,4	0,497
14		85	15		351,8	361,9	2,9	0,521
15		75	25		355,9	373,2	4,9	0,164
16		50	50		366,2	358,7	-2,0	0,752
17		25	75		376,4	393,0	4,4	0,195
18		15	85		380,5	375,9	-1,2	0,962
19	10	80	10		353,6	352,0	-0,5	1,000
20	20	60	20		361,6	356,6	-1,4	0,958
21	33	33	33		368,4	361,0	-2,0	0,747
22	20	20	60		378,0	364,3	-3,6	0,137
23	10	10	80		382,3	346,3	-9,4	0,001
24	60	20	20		377,0	362,0	-4,0	0,091
25	80	10	10		380,6	360,2	-5,4	0,047
26	10	10		80	370,7	341,1	-8,0	0,001
27	20	20		60	369,3	355,6	-3,7	0,076
28	33	33		33	363,7	343,3	-5,6	0,004

4. Schlussfolgerungen

Die Kofermentation von Mischungen pflanzlicher Substrate resultierte sowohl in signifikant synergistischen als auch antagonistischen Effekten. Weitergehende Analysen unter Einbeziehung von Fermentationstests mit längerer Inkubationsdauer sind erforderlich, um die den beobachteten Effekten zugrunde liegenden Prozesse näher zu beleuchten.

Literatur

- AMON, T., MACHMÜLLER, A., KRYVORUCHKO, V., MILOVANOVIC, D., HRBEK, R., EDER, M.W., & B. STÜRMEER, (2007): Optimierung der Methanausbeute aus Zuckerrüben, Silomais, Körnermais, Sonnenblumen, Ackerfutter, Getreide, Wirtschaftsdünger und Rohglyzerin unter den Standortbedingungen der Steiermark. Forschungsprojekt Nr. 1421, Endbericht.
- BRAUN, R. (1982): Biogas-Methangärung organischer Abfallstoffe. Springer, Wien.
- BRUNI, E., JENSEN, A.P., PEDERSEN, E.S. & I. ANGELIDAKI (2010): Anaerobic digestion of maize focusing on variety, harvest time and pretreatment. *Applied Energy* 87, 2212-2217.
- DEMIREL, B. and P. SCHERER (2011): Trace elements requirements of agricultural biogas digesters during biological conversion of renewable biomass to methane. *Biomass and Bioenergy* 35, 992-998.
- DILBA, G., BRETZ, F. & V. GUIARD (2006): Simultaneous confidence sets and confidence intervals for multiple ratios. *Journal of Statistical Planning and Inference* 136, 2640-2658.
- HELFFRICH D. and H. OECHSNER (2003): The Hohenheim Biogas Yield Test. *Landtechnik* 58, 148-149.
- MUKENGELE, M., BRULE, M. & H. OECHSNER (2006): Einfluss der Substratmischung aus Energiepflanzen auf Abbaukinetik und Methanertrag. *Landtechnik* 61, 26-27.
- VDI (2006) VDI 4630: Vergärung organischer Stoffe – Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. Berlin, Beuth Verlag GmbH.