

Lucie Moeller, Frederike Krieg und Andreas Zehnsdorf

Wirkung von Getreideschrot auf die Schaumbildung in Biogasanlagen

Getreidekorn hat einen Anteil von ca. 2 % an den nachwachsenden Rohstoffen für die Biogasgewinnung und wird dabei in Form von Getreideschrot genutzt. Bei der Vergärung von Getreideschrot tritt allerdings häufig eine übermäßige Schaumbildung im Biogasreaktor auf, die negative ökonomische Folgen für den Anlagenbetrieb hat. Welche Auswirkung die Verarbeitung von Getreidekorn auf die Schaumentwicklung im Biogasprozess hat, wurde am Beispiel von sechs Getreidearten und Soja untersucht. Je feiner das Getreidekorn gemahlen wurde, desto größer war die Schaumintensität. Weizen, Roggen und Triticale verursachten die stärkste Schaumbildung im Gärmaterial.

Schlüsselwörter

Biogas, Schaum, Getreide, Getreideschrot

Keywords

Biogas, foam, grain, coarse grain

Abstract

Moeller, Lucie; Krieg, Frederike and Zehnsdorf, Andreas

Effect of coarse grain on foam formation in biogas plants

Landtechnik 68(5), 2013, pp. 344–348, 3 figures, 1 table, 9 references

Grain accounts for around 2 % of the renewable raw materials used in biogas production. This grain is used in the form of coarse grain here. However, the fermentation of ground grain often leads to excessive foam formation in biogas reactors, and this has a negative impact on the economic viability of plant operation. The effect of the processing of the grain on foam formation in the biogas process has been investigated here in the case of six sample grain species and soya. The finer the grain was ground the higher was the intensity of foam formation. Wheat, rye and triticale caused the strongest foaming in digestates.

mit 2 % im Substratmix vertreten – im Vergleich: Zuckerrübe wurde 2011 nur zu 1 % genutzt [1]. Die Verwendung von Getreideschrot im Prozess der anaeroben Vergärung ist jedoch oft mit starker Schaumentwicklung verbunden. Ein ähnliches Phänomen ist bereits im Bereich der Tiermedizin beschrieben worden, wo Getreideschrot Blähungen im Pansen von Wiederkäuern verursachen kann [2; 3]. Das gemahlene Getreide enthält Feinpartikel, die sowohl für die Bildung als auch für die Stabilisierung des Schaums im Pansen zuständig sind. Die Oberfläche des Substrates wird mit jeder Stufe der Zerkleinerung vergrößert. Dadurch können die Substratpartikel von den Mikroorganismen dichter besiedelt werden und die Mikroben vermehren sich schneller. Es besteht ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Größe der Partikel im Getreideschrot und der Schaumbildung im Pansen: je feiner, desto kritischer [2]. Diese Beobachtung ist auch für die Betreiber von Biogasanlagen von großer Bedeutung, denn häufig wird Getreideschrot als Mittel zur schnellen Verbesserung der Biogasausbeute verwendet. Wie die Erfahrungen aus der Praxis zeigen, geht der Einsatz von Getreide häufig mit einer Schaumentwicklung im Fermenter einher [4], dies wird jedoch oft von den Anlagenbetreibern nicht als Ursache erkannt. Erst eine komplette Analyse der Betriebsparameter kann die Nutzung des Getreideschrots als Ursache für das Schaumereignis nachweisen. Bisher wurden zur Schaumentwicklung in Biogasanlagen durch die Verwendung von Getreide keine wissenschaftlichen Untersuchungen durchgeführt. Das Ziel der hier dargestellten Arbeiten war es, den Einfluss des Mahlens von Getreide auf die Schaumentwicklung im Prozess der anaeroben Vergärung näher zu untersuchen.

■ Nachwachsende Rohstoffe bildeten im Jahr 2011 nach den Angaben der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 49 % der eingesetzten Substrate in Biogasanlagen. Getreidekorn war

Material und Methoden

Sechs Getreidearten wurden auf ihre Fähigkeit untersucht, im Prozess der anaeroben Vergärung Schaumbildung zu provozie-



ren: Roggen, Triticale, Wintergerste, Weizen, Hirse und Hafer. Darüber hinaus wurde die in Untersuchungen häufig verwendete Hülsenfrucht Soja miteinbezogen. Die Getreidekörner wurden in einer Schneidemühle jeweils mit den Mahlstufen 0,5 mm, 2 mm und 4 mm gemahlen (**Abbildung 1**). Die Intensität der Schaumbildung wurde getestet, indem aktives Gärmaterial aus einer NawaRo-Anlage (BGA 1), das zur Homogenisierung durch ein Sieb mit 5 mm Maschenweite gegeben wurde, mit 2% (w/w) Getreideschrot vermengt wurde. Diese Mischung wurde bei 37 °C zwanzig Stunden stehen gelassen. Eine Referenz ohne Zugabe von Getreideschrot wurde mitgeführt, damit es zu keiner Verzerrung der Ergebnisse durch die Schaumentwicklung im Gärmaterial selbst kommt. Anschließend wurde der gebildete Schaum bewertet. Die Intensität der Schaumbildung wurde prozentual als Verhältnis zwischen dem Schaumvolumen und dem Volumen des gesamten Versuchsmaterials am Versuchsende ausgedrückt. Zur Feststellung der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse wurde Gärmaterial aus der BGA 1 in zwei Wiederholungen und jeweils einmal Gärmaterial aus zwei anderen NawaRo-Anlagen (BGA 2: eine Gülle-betonte Anlage, BGA 3: lediglich mit Mais- und Grassilage beschickt) verwendet.

Sowohl der Schaum als auch das Gärmaterial wurden am Versuchsende beprobt und analysiert. Dabei wurden in beiden Proben die Konzentrationen von Kohlenhydraten (Glucose-Äquivalent) und Proteinen bestimmt. Im Gärmaterial wurden weiterhin Konzentrationen von flüchtigen organischen Säuren und von mit Wasser eluierbaren Elementen (z. B. Calcium, Kalium, Magnesium und Phosphor) gemessen.

Ergebnisse und Diskussion

Die Schaumneigung von Gärmaterial wurde nach der Zugabe von Getreideschrot aus unterschiedlichen Getreidearten und mit verschiedenen Mahlstufen untersucht. Diese Experimente sind für Praktiker von besonderer Bedeutung, damit Schaumergebnissen aktiv vorbeugt werden kann.

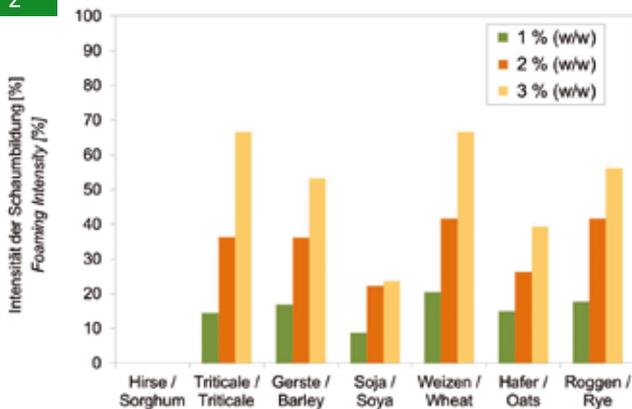
Im ersten Experiment wurde der Einfluss der Konzentration von Getreideschrot bei gleicher Mahlstufe (2 mm) auf die Schaumneigung des Gärmaterials untersucht. Es wurde festgestellt, dass eine Erhöhung der Menge des zugegebenen Getreideschrots von 1 auf 2% (w/w) zur Verdopplung der Schaum-

intensität führte (**Abbildung 2**). Ein weiterer Anstieg der Konzentration des Getreideschrots um 1% bewirkte eine weitere Intensivierung der Schaumentwicklung (**Abbildung 2, A**). In Ansätzen mit Hirse als Substrat wurde kein Schaum gebildet. Die Zugabe von Soja hatte lediglich eine schwache Schaumschicht zur Folge. Die stärkste Schaumbildung verursachten Weizen, Roggen und Triticale, gefolgt von Gerste und Hafer. Der Schaum, der in Ansätzen mit Hafer gebildet wurde, war instabil, sodass dieser bereits beim Herausnehmen der Flasche aus dem Wasserbad zusammenfiel. Alle anderen Schäume waren stabil und blieben während der Versuchsdurchführung erhalten. Für weitere Versuche wurde die Konzentration des Getreideschrots von 2% (w/w) gewählt, weil in diesem Fall das Ausmaß der Schaumbildung am besten beobachtet und verglichen werden konnte.

In weiteren Experimenten wurde untersucht, welchen Effekt die Verarbeitung von Getreide in einer Schneidemühle auf die Bildung von Schaum im Gärmaterial hat. **Abbildung 3** zeigt die Intensität der Schaumbildung im Gärmaterial aus BGA 1 nach Zugabe von Getreideschrot. Allgemein wurde festgestellt: Je feiner das Getreideschrot gemahlen wurde, desto höher war die Intensität der Schaumbildung. Wie im ersten Versuch (**Abbildung 2**) wurde auch hier eine Abhängigkeit der Schaumbildung von der Getreideart festgestellt: Triticale und Weizen verursachten die stärkste Schaumentwicklung, gefolgt von Gerste, Roggen und Hafer. Soja bildete lediglich eine dünne Schaumschicht. Zugabe von Hirse führte nicht zur Schaumbildung.

Die Wiederholung der Versuche mit Gärmaterial aus BGA 2 und BGA 3 zeigte, dass die Intensität der Schaumbildung auch von der Beschaffenheit des Gärmaterials selbst abhängig ist. Die oben beschriebene Tendenz wurde in allen Versuchen bestätigt, die Menge des produzierten Schaums stieg allerdings mit dem Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) des Gärmaterials stark an. Im Fall der Gülle-betonten BGA 2 wurde im Gärmaterial 4,6% TS gemessen. In diesem Gärmaterial wurde allgemein erheblich weniger Schaum gebildet als im Gärmaterial aus der Biogasanlage BGA 1 mit einem TS-Gehalt von 6,1%. Beim Gärmaterial aus BGA 3 wurde der höchste TS-Gehalt von 10,2% gemessen. Die Schaumbildung war hier am stärksten, weil bereits in der Referenz selbst Schaum gebildet wurde.

Abb. 2



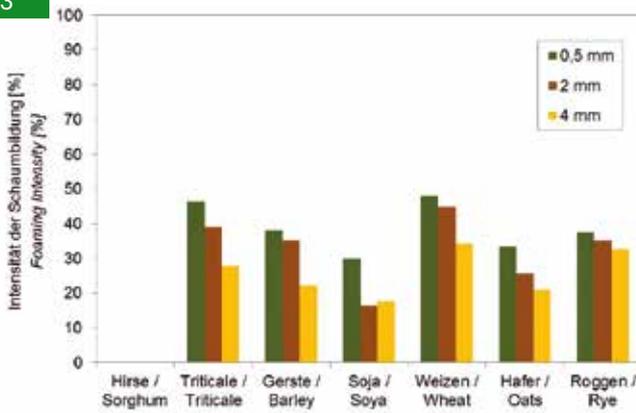
A

B

Intensität der Schaumbildung im Gärmaterial aus der NawaRo-Anlage BGA 1 vermengt mit 1, 2 und 3 % (w/w) gemahlenem Getreide- bzw. Sojaschrot (2 mm) nach 22 Stunden Versuchsdauer (A); Versuchsansatz mit Roggenschrot als Substrat (B)

Fig. 2: Foaming intensity in digestate from a biogas plant using renewables after addition of 1, 2 and 3 % (w/w) coarse grain and soya (2 mm), respectively, after 22 hours test duration (A); Experiment with rye groats as substrate (B) (Foto: L. Moeller)

Abb. 3



A

B

Intensität der Schaumbildung im Gärmaterial aus der NawaRo-Anlage BGA 1 vermengt mit 2 % (w/w) fein bis grob gemahlenem Getreide- und Sojaschrot nach 23 Stunden Versuchsdauer (A); Versuchsansatz mit Triticale als Substrat (B)

Fig. 3: Foaming intensity in digestate from a biogas plant using renewables after addition of 2 % (w/w) coarse grain and soya (0.5, 2 and 4 mm, respectively) after 23 hours test duration (A); Experiment with triticale groats as substrate (B) (Foto: F. Krieg)

Aus diesem Grund sind generelle Aussagen für alle Biogasanlagen nicht möglich. Im Einzelfall ist es sinnvoll, vor Ort eine Überprüfung der Schaumneigung des Gärmaterials in Kombination mit dem jeweiligen Substrat durchzuführen (z.B. unter Nutzung des Testsets Leipziger Schaumtester [5]), damit einem Schaumereignis vorgebeugt werden kann. Erfahrungen aus der Praxis zeigen außerdem, dass eine Vermischung des Getreideschrots mit Pflanzenölen (z.B. 1 % Sojaöl) nicht nur die Staubentwicklung während des Mahlvorgangs minimiert, sondern auch vorbeugend gegen Schaumbildung wirkt. Diese Beobachtung wurde dann auch in Laborversuchen bestätigt (noch nicht veröffentlicht).

Die Ergebnisse der chemischen Analyse von Schaum- und Gärmaterial sind in **Tabelle 1** zusammengefasst. Bei Hirse wurde kein Schaum gebildet und bei Hafer fiel dieser vor der

Beprobung zusammen, sodass keine Analyse möglich war. In Proben aus den Versuchsansätzen mit feinem Getreideschrot wurden höhere Konzentrationen von Protein und Kohlenhydraten gemessen als in Proben von Ansätzen mit grob gemahlenem Getreide. Analysen von Schäumen zeigten im Fall von Weizen, Triticale und Soja erhöhte Konzentrationen von Protein im Vergleich zu dem zugehörigen Gärmaterial. Der Gesamtkohlenhydratgehalt war in den meisten Fällen im Gärmaterial und im Schaum jeweils ähnlich hoch, z.B. betrug die Kohlenhydratkonzentration beim grob gemahlenen Weizenschrot im Gärmaterial und im Schaum 0,5 bis 0,6 g/l (**Tabelle 1**). Bei näherer Betrachtung wurden jedoch im Stärkegehalt, der den größten Anteil der Kohlenhydrate im Getreidekorn bildet [6], Unterschiede festgestellt: In Proben mit Weizen und Triticale als Substrat wurde im Schaum eine höhere Stärkekonzentra-

tion als im Gärmaterial (GM) gemessen – Weizen: 0,20 g Stärke/100 g GM versus 0,69 g Stärke/100 g Schaum; Triticale: 0,14 g Stärke/100 g GM versus 0,75 g Stärke/100 g Schaum. Demgegenüber wurde im Ansatz mit Gerste die gleiche Stärkekonzentration im Gärmaterial wie im Schaum gefunden – 0,24 g/100 g GM versus 0,22 g/100 g Schaum. Dies hängt vermutlich mit dem unterschiedlichen Stärkegehalt im jeweiligen Getreideschrot zusammen – Weizenschrot: 55,2 g/100 g, Triticaleschrot 49,5 g/100 g, Gersteschrot: 39,45 g/100 g. Im Hirseschrot wurden lediglich 23,2 g Stärke/100 g nachgewiesen. Dies spiegelt sich auch im niedrigeren Kohlenhydratgehalt der Gärmaterialproben aus Ansätzen mit Hirse wider (**Tabelle 1**). Daraus kann abgeleitet werden, dass Stärke bei der Schaumstabilisierung eine bedeutende Rolle spielt, weil nach Zugabe von Hirseschrot zum Gärmaterial, das im Vergleich zu anderen Getreidesorten wenig Stärke beinhaltet, kein Schaum gebildet wurde.

Untersuchungen im Bereich der Lebensmitteltechnologie zur Aufschäumbarkeit von Roggenmahlprodukten zeigten, dass für die Schaumbildung selbst ein wasserlösliches Protein zuständig ist, wobei andere Komponenten entweder schaumstabilisierenden (z.B. Fructosane) oder schaumdestabilisierenden (z.B. Pentosane) Einfluss haben [7]. Weitere Arbeiten wiesen nach, dass im weißen Mehl der Gehalt an Proteinen und Pentosanen niedriger ist als in Kleien oder Vollkornmehl [8]. Mikroskopische Analysen ergaben, dass sich beim aufgeschäumten Weißmehl in der Schaumflüssigkeit Stärke angereichert hat, was zu einer größeren Schaumstabilität führte [8].

Die in **Tabelle 1** dargestellten Analysenergebnisse deuten darauf hin, dass diese Stoffe auch für die Schaumbildung im Prozess der anaeroben Vergärung in Biogasanlagen von Bedeutung sind.

Die vergleichsweise hohen Konzentrationen von flüchtigen organischen Säuren, vor allem Butyrat und Propionat (**Tabelle 1**) sind Indikatoren für die organische Überlastung der Gärbiologie. Im Fall von Hirse, die keinen Schaum produzierte, wurden die niedrigsten Konzentrationen von Acetat, Propionat und Butyrat gemessen. In veterinärmedizinischen Untersuchungen wird auf einen Zusammenhang von Blähungen im Pansen und der Konzentration von Elementen wie Kalium, Calcium und Magnesium hingewiesen [9]. Im Fall von Kalium kann in diesem Fall keine klare Tendenz festgestellt werden (**Tabelle 1**). Bei Calcium und Magnesium wurden allerdings Ähnlichkeiten festgestellt: Bei schäumenden Substraten mit grob gemahlenem Getreide sind ihre Konzentrationen im Gärmaterial jeweils niedriger als beim fein gemahlenen Getreideschrot. Dies gilt lediglich nicht für Hirse, die keine Schaumbildung aufwies. Im Fall von Phosphor ist eine gegensätzliche Tendenz zu beobachten: Je feiner das Getreideschrot, desto weniger Phosphor wurde gemessen.

Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass es notwendig ist, die Mahlstufe von Getreide als vorbeugende Maßnahme vor übermäßiger Schaumbildung zu berücksichtigen. Allgemein gilt, dass das Gärmaterial in einer Biogasanlage stärker schäumt, je

Tab. 1

Analysedaten des Gärmaterials und des Schaums aus Versuchsansätzen mit sechs Getreidearten und Soja (GM = Gärmaterial)
 Table 1: Analysis data of digestate and foam obtained from experiments using coarse grain of six grain species and soya (DG = Digestate)

Getreideart Grain species	Mahlgrad Coarseness setting mm	Rohprotein Crude protein		Kohlenhydrate Carbohydrates		Acetat Acetate	Propionat Propionate	Butyrat Butyrate	Kalium Potassium	Calcium Calcium	Magnesium Magnesium	Phosphor Phosphorus
		g/l		g/l		g/l	g/l	g/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
		GM DG	Schaum Foam	GM DG	Schaum Foam	GM DG	GM DG	GM DG	GM DG	GM DG	GM DG	GM DG
Weizen Wheat	4	14,7	17,6	1,59	1,53	1,67	4,25	4,89	2760	174	159	24,4
	0,5	17,7	23,6	1,92	1,81	4,87	1,01	0,78	2920	284	266	19,6
Triticale Triticale	4	17,9	20,4	1,79	1,56	2,24	0,43	0,07	2940	143	143	47,4
	0,5	15,7	17,4	2,11	1,31	5,32	1,12	0,60	3100	226	222	25,6
Roggen Rye	4	17,8	17,1	1,72	1,70	2,47	0,43	0,18	3020	216	172	25,4
	0,5	19,3	18,6	1,81	2,05	4,65	1,13	0,49	2780	234	204	19,9
Gerste Barley	4	19,3	16,6	1,87	2,50	0,93	0,09	0,00	3040	148	210	11,0
	0,5	20,7	19,6	2,12	2,19	4,46	0,80	0,44	3100	246	288	8,02
Hafer Oats	4	20,1	-	1,79	-	2,99	0,52	0,26	2900	197	167	28,4
	0,5	19,0	-	1,66	-	5,95	1,14	0,39	2900	208	193	14,8
Soja Soya	4	24,5	31,1	1,70	2,28	3,19	0,65	0,07	3240	166	212	11,2
	0,5	21,4	25,2	1,93	2,12	3,18	0,61	0,07	3120	202	226	4,14
Hirse Sorghum	4	18,6	-	1,06	-	0,15	0,00	0,00	2760	122	109	38,6
	0,5	23,5	-	1,35	-	0,82	0,08	0,04	2780	101	105	14,5

feiner das Getreideschrot ist. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, die Mahlstufe des Getreides nicht zu niedrig zu wählen. Weiterhin wurde festgestellt, dass die Intensität der Schaumbildung auch stark vom Trockensubstanzgehalt des Gärmaterials abhängt. Daher ist es notwendig, die Schaumneigung von Substraten in Kombination mit dem jeweiligen Gärmaterial vor Ort zu überprüfen.

Literatur

- [1] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2012): Massebezogener Substrateinsatz in Biogasanlagen, Grafik, Abb. 88; Massebezogener Substrateinsatz nachwachsender Rohstoffe in Biogasanlagen, Grafik, Abb. 90. <http://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/bioenergie/biogas.html>, Zugriff am 28.6.2013
- [2] Cheng, K. J.; McAllister, T. A.; Popp, J. D.; Hristov, A. N.; Mir, Z.; Shin, H. T. (1998): A review of bloat in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 76, pp. 299-308
- [3] Moeller, L.; Goersch, K.; Neuhaus, J.; Zehndorf, A.; Mueller, R. A. (2012): Comparative review of foam formation in biogas plants and ruminant bloat. *Energ. Sustain. Soc.* 2(12), pp. 1-9
- [4] Moeller, L.; Görsch, K.; Müller, R. A.; Zehndorf, A. (2012): Bildung von Schaum in Biogasanlagen und seine Bekämpfung - Erfahrungen aus der Praxis. *Landtechnik* 67(2), S. 110-113
- [5] Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ (2013): DE 202013000693U1, L. Moeller, A. Zehndorf, D. Beyer
- [6] McAllister, T. A.; Cheng, K. J. (1996): Microbial strategies in the ruminal digestion of cereal grains. *Anim. Feed Sci. Technol.* 62, pp. 29-36
- [7] Meuser, F.; Busch, K. G.; Fuhrmeister, H.; Rubach, K. (2001): Foam-forming capacity of substances present in rye. *Cereal Chem.* 78, pp. 50-54
- [8] Zehle, F. (2009): Die Entstehung von Schaumstrukturen in Backwaren und deren Vorprodukten. Informationsmaterial der IGV GmbH zur iba 2009, <http://www.igv-gmbh.de/images/docs/schaumstrukturen.pdf>, Zugriff am 9.9.2013
- [9] Hall, J. W.; Majak, W.; van Ryswyk, A. L.; Howarth, R. E.; Kalnin, C. M. (1988): The relationship of rumen cations and soluble protein with pre-disposition of cattle to alfalfa bloat. *Can. J. Anim. Sci.* 68, pp. 431-437

Autoren

Dr.-Ing. Lucie Moeller ist wissenschaftliche Mitarbeiterin zum Thema Störfalldiagnostik und Prozessstabilisierung am Umwelt- und Biotechnologischen Zentrum (Leiter: **Dr. Roland A. Müller**) des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung - UFZ, Permoserstr. 15, 04318 Leipzig, E-Mail: lucie.moeller@ufz.de.

Frederike Krieg studiert Biotechnologie an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften HAW Hamburg.

Dr.-Ing. Andreas Zehndorf leitet die Arbeitsgruppe Bioprozesstechnik am Umwelt- und Biotechnologischen Zentrum des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung - UFZ.

Danksagung

Das Projekt wurde finanziert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestags. Wir bedanken uns bei allen Biogasanlagenbetreibern, die uns Substrate und Gärmaterial zur Verfügung gestellt haben.