

Bettina Frauz, Ulrika Weinmann, Hans Oechsner und Thomas Jungbluth, Hohenheim

Doppelter Nutzen des Biogasprozesses:

Entsorgung kontaminierter Getreidechargen bei gleichzeitiger Energiebereitstellung

Potenzialermittlung durch Systemvergleich zweier Fermentationstechniken

Die FAO [1] schätzt, dass bis zu 25% der Weltproduktion von Nahrungsmitteln mit Mykotoxinen kontaminiert sind und pro Jahr etwa 1 000 Millionen Tonnen auf Grund von Mykotoxinbelastungen als Nahrungs- und Futtermittel verloren gehen [2]. In einem Kooperationsprojekt an der Universität Hohenheim wird eine praktikable, ökonomisch und ökologisch sinnvolle Entsorgungsmöglichkeit gesucht, bei der die Inaktivierung des Pilzes und die Reduktion seines Mykotoxins im Vordergrund stehen. Das Projekt wird von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) gefördert.

Dipl.-Ing. sc. agr. Bettina Frauz ist Doktorandin von Prof. Dr. Thomas Jungbluth an der Landesanstalt für Landwirtschaftliches Maschinen und Bauwesen (Leitung: Dr. sc. agr. Hans Oechsner) der Universität Hohenheim, Garbenstraße 9, 70599 Stuttgart; e-mail: b-frauz@uni-hohenheim.de. Ulrika Weinmann ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Tierernährung der Universität Hohenheim.

Schlüsselwörter

Anaerobe Fermentation, Biogas, Energieerzeugung, Fusarium, Mykotoxin Reduktion

Keywords

Anaerobic fermentation, biogas, energy conversion, Fusarium, mycotoxin reduction

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 07421 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/lo-cal/fliteratur.htm> abrufbar.

Fusarium (Getreide-Feld-Pilz auch Fusarium Head Blight) und seine toxischen Stoffwechselprodukte sind bekannt für ihre schädigende Wirkung. Sie können bei Menschen und Tieren bereits in niedrigen Konzentrationen eine toxische Wirkung hervorrufen. Diese intermediären Stoffwechselprodukte, so genannte Mykotoxine, werden unter bestimmten Bedingungen von Fusarien auf der Wirtspflanze und im Erntegut gebildet. Deoxynivalenol, kurz DON oder auch Vomitoxin genannt, ist ein Mykotoxin, das von verschiedensten Feldpilzen, hauptsächlich jedoch durch *Fusarium graminearum* und *Fusarium culmorum* produziert wird. DON ist vor allem in Getreide und Körnerfrüchten, insbesondere in Weizen, Gerste und Mais, vorzufinden. Häufig tritt DON zusammen mit anderen Fusarium-Toxinen, wie beispielsweise Zearalenon, Nivalenol (und anderen Trichothecen) sowie Toxinen der Fumonisingruppe, auf. Bei Nutztieren führt eine DON-Exposition zu Appetitverlust, Futterverweigerung und Erbrechen, bei gleichzeitiger Verringerung der täglichen Gewichtszunahmen. Schweine sind nachweislich die empfindlichste Tierart in Bezug auf die negativen Wirkungen von DON. Beim Menschen können diese je nach Beschaffenheit der Substanz akut oder chronisch toxisch wirken. Symptome von Vergiftungen sind Leber- und Nierenschädigungen, Beeinträchtigungen des Immunsystems, Haut- und Schleimhautschäden, oder hormonelle Wirkungen wie Fruchtbarkeitsstörungen [2]. Nach seiner Aufnahme mit dem Futter wird DON rasch durch Deepoxidation und Glukuronidierung in sein Derivat (Deepoxynivalenol) metabolisiert [3]. Dieses Abbauprodukt ist 24fach weniger zelltoxisch als das Ausgangssubstrat. Der Übergang von DON und / oder seinen Metaboliten in essbare Gewebe, Milch und Eier ist sehr gering, jedoch nicht auszuschließen [4].

Gesetzliche Grundlagen und Zielsetzungen des Projekts

Um die Aufnahme der Toxine in die menschliche Nahrungskette zu vermeiden, hat die

Europäische Gemeinschaft eine Änderung der Mykotoxinhöchstmengenverordnung erlassen (EC No 856/2005) [5]. Diese umfasst konkret die Mykotoxine Deoxynivalenol (DON), Zearalenon (ZON) und Fumonisine.

Der Höchstgehalt soll für unverarbeitetes Getreide, das zur ersten Verarbeitungsstufe in Verkehr gebracht wird, bei 1250 µg/kg liegen. Zu diesem Zeitpunkt ist die geplante Verwendung (Lebensmittel, Futtermittel) bekannt. Dabei gelten Reinigen, Trocknen und Sortieren nicht als Verarbeitungsstufe. Die weitere Verordnung (EG) Nr.1068/2005 hat unter anderem die Mitgliedstaaten verpflichtet, den Gehalt an Kontaminanten auf der Grundlage einer Risikoanalyse zu kontrollieren. Darin wurde auch bestimmt, dass zur Intervention angebotener Hart- und Weichweizen als Lebensmittel sowie Gerste und Mais als Futtermittel einzuordnen sind und diesbezüglich Deoxynivalenol (DON) als unerwünschte Substanz in Tierfuttermittel gilt, somit dem Verschneidungsverbot unterliegt. Folglich wird eine ökonomische wie auch reproduzierbare Analyse zur Mykotoxinbestimmung notwendig.

Handlungsbedarf besteht aber auch seitens der Verwertungsmöglichkeiten. Eine weiterführende Nutzung außerhalb der Nahrungskette in Richtung Ethanolherstellung ist wegen der Anreicherung von DON im Nebenprodukt auszuschließen. Die Einarbeitung von Pilzbeständen ist nur bei nicht-konservierender Bodenbearbeitung sinnvoll, um eine Reinfektion zu vermeiden. Aus Mangel an Alternativen hat die „Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe“ sich für die Ausschreibung eines Projektes entschlossen, dass das Potenzial des anaeroben Fermentationsprozesses hinsichtlich einer Inaktivierung der Pilze mit gleichzeitigem Abbau des Toxins während einer stabilen Prozessführung ermitteln soll.

Potenzialermittlung über Systemvergleich

Seit Inkrafttreten des EEGs befindet sich die Biogasbranche im Umbruch. Während jahrzehntelang Gülle das alleinige zu vergären-

de Substrat war, tritt heutzutage die Feststofffermentation von Energiepflanzen in den Vordergrund. Kleinere Reaktorvolumina, niedrigere Prozessenergie, geringere Transportkosten und verminderte Emissionen stellen einige der Vorteile dar. Zugegeben unterliegt der Stand der Technik gewissen Restriktionen. Die Mischtechnik sowie die Ein- und Austragstechnik sind nicht vergleichbar mit der Prozessführung in klassischen Nassvergärungsanlagen [6]. Dieser Sachverhalt zwingt die angewandte Forschung und die Industrie, den Fokus auf spezielle Techniken mit Trockensubstanzgehalten von bis zu 50% zu richten.

Die laufenden Versuche werden auf der Grundlage der Richtlinien VDI 4630 [7] und DIN 38 414 [8] durchgeführt. Das Biogaspotenzial in den unterschiedlichen Trockensubstanzbereichen sowie in der Prozessführung (kontinuierliches und diskontinuierliches System) soll auf mögliche Hemmungen untersucht werden. Gleichzeitig soll eine Überwachung und Risikoeinschätzung der im Gärrest verbliebenen Sporen durchgeführt werden. Weiter wurde eine Analyseverfahren zur Überwachung der Toxingehalte während des ganzen Fermentationsprozesses entwickelt, um Aussagen über die zu erwartende Entgiftungskapazität der Mikrobiologie machen zu können, da eine Übertragung des Toxins auf den Pflanzenbestand nicht auszuschließen ist [9].

Der Versuchsaufbau des Hohenheimer Biogasertragstests ist in [10] detailliert beschrieben. Die Laboranlage zur Feststofffermentation spezieller Biomasse wurde 2004 eingerichtet [11] und bildet seitdem die Basis für Forschung im Bereich von Verfahren mit kontinuierlicher Feststoff - Perkolations im diskontinuierlichen Betrieb. Die zehn zylindrischen, doppelwandigen Reaktoren sind aus Edelstahl und fassen je 60 Liter. Die Temperatur von 37°C wird durch den Anschluss an zwei in Reihe geschaltete Wasserbäder gewährleistet und kontinuierlich anhand eines pt100 ermittelt. Um unerwünschte Wärmeabgabe zu vermeiden, sind die doppelwandigen Zylinder sowie alle Anschlüsse und Schläuche gedämmt. Das Prozesswasser wird im Zylinderboden gesammelt und von dort aus zweimal täglich mit einer Elektropumpe abgepumpt, um es 15 Minuten lang über das Gärsubstrat zu perkolieren (Gewinnung von Pflanzenauszügen; Anmerkung der Redaktion). Gleichzeitig können hier Proben der Flüssigkeit entnommen werden. Als Substrat diente, wie auch in den vorhergegangenen Versuchen, verpilztes Getreide aus einem Versuchsanbau. Die Toxinkonzentration betrug im Mittel 20000 µg/kg Weizen und die Infektionsrate der Getreidekörner wurde auf 100% Fusarien - Befall getestet.

Tab. 1: Analyseergebnisse der Fermentationsversuche

Verfahren	Betriebs-temperatur	Substrat	Inokulations-form	Fermentations-dauer	Nachweis über vollständige Inaktivierung
Batch, Flüssigvergärung	Mesophil (37°C)	unbelastetes Getreide	Isolierte Sporen	0 - 96 Stunden	3,5 Stunden
Batch, Flüssigvergärung	Mesophil (37°C)	belastetes Getreide	natürlich infiziertes Getreide	12 Stunden - 35 Tage	12 Stunden
Batch, Flüssigvergärung	Thermophil (53°C)	belastetes Getreide	natürlich infiziertes Getreide	12 Stunden - 35 Tage	12 Stunden
Batch, Feststoffvergärung	Mesophil (37°C)	belastetes Getreide	natürlich infiziertes Getreide	12 Stunden - 35 Tage	12 Stunden

Ergebnisse Biogasprozess

Weder die Fermentation der Feststoffvergärung noch die Flüssigfermentation zeigten im Vergleich zur unbelasteten Variante eine Hemmung des biologischen Abbauprozesses etwa durch einen Einbruch in der Gasbildung oder des Methanertrags beim Einsatz von kontaminiertem Material. Im Zusammenhang mit den Ergebnissen aus dem HBT kann Folgendes festgestellt werden: Zu Beginn des Fermentationsversuchs adaptiert sich die Mikrobiologie an den Substratabbau. Bis zum vierten Tag ist diese Anpassungsphase abgeschlossen und man erkennt hier die höchsten Methangehalte. Im Vergleich zum Referenzmaterial (unbelastet) kann man einen geminderten Methangehalt sowohl bei der Feststoff- als auch bei der Flüssigfermentation erkennen. Dies ist auf die durch die Pilzbelastung geminderte Konzentration der Inhaltstoffe der energiereichen Fraktionen Stärke und Zucker zurückzuführen. Diese „veratmet“ der Pilz zur Energiebereitstellung schon auf dem Feld oder nach der Ernte.

Interpretation der Mikrobiologischen Untersuchungen

Im Rahmen der Feststellung der Vitalität und des Sporenbildungsvermögens wird eine etablierte Pilzbestimmungsmethode [12] anhand der Optimalversorgung der ausgestrichenen Proben (in diesem Fall Getreidekörner) angewendet. Die Untersuchungsergebnisse sind in *Tabelle 1* aufgezeigt.

Durch die Vorteile des HBT (Prozessvarianz und hohe Untersuchungskapazität) konnten hier die meisten Untersuchungsergebnisse ermittelt werden. Dabei stellte sich heraus, dass auch beim Einsatz von isolierten Fusariensporen (künstlich hergestellte Lösung mit einer Sporenkonzentration von 106 Kolonie bildende Einheiten / ml) bereits eine Verweildauer von 3,5 h ausreicht, um die Keimungsfähigkeit der Fusariensporen zu deaktivieren. Dabei zeigte der Parameter Prozessstemperatur keinen Einfluss auf die

Abtötung. Die Versuche zur Feststofffermentation zeigten diesen Sachverhalt auch beim ersten Entnahmetest nach 12 h Fermentationsdauer.

Interpretation des Toxinmonitoring

Die entwickelte Methode zur DON Bestimmung in Gülle hatte sehr gute Wiederfindungsraten [9]. Die Untersuchungsergebnisse der Fermentationsversuche zeigten, dass ein Toxinabbau erfolgt. Anzunehmen ist, dass das Toxin durch decarboxylierende Enzyme aus Gülle und Mikroorganismen abgebaut wird. Hierzu stehen die Ergebnisse der laufenden Versuche vor der Auswertung.

Ausblick

Jährlich werden in Deutschland etwa 3,8 Mio. t durch Pilzbefall kontaminierter Getreidechargen verzeichnet. Nach den Versuchsergebnissen könnte dieses Substrat der Kofermentation zugeführt werden. Durch die Verwendung von den für Lebensmittel / Futtermittel gesperrten Getreidechargen ergeben sich zwei wesentliche Vorteile. Erstens entstehen aus ihrer Nutzung keine ethischen Konflikte zwischen der Nahrungsmittelproduktion und der Energiebereitstellung, zweitens können BGA Betreiber trotz der Verminderung des Biogaspotenzials (bis zu 25%) ökonomische Vorteile durch geringere Aufwendungen für das Substrat erzielen. In den mikrobiologischen Untersuchungen konnten keine Fusarien im Gärrest nachgewiesen werden. Unabhängig vom verwendeten Substrat sollte die Stabilität der Biologie stets im Vordergrund stehen und die Überwachung des Gärprozesses seitens der mikrobiologischen Untersuchungen weiter forciert werden.