

Nikica Starcevic, Milan Martinov, Martin Kratzeisen, Claudia Maurer und Joachim Müller

Emissionen bei der Verbrennung von Gärresten aus Biogasanlagen

Der steigende Anfall an Gärresten aus Biogasanlagen erfordert neue wirtschaftlich und technisch sinnvolle Verwertungsmöglichkeiten. Neben der Nutzung als Dünger stellt vor allem die energetische Verwertung eine vielversprechende Alternative dar. Erste Verbrennungsversuche bescheinigen die generelle Eignung von Gärreste-Pellets als Brennstoff. Die Rauchgasemissionen unterschritten die gesetzlich festgelegten Grenzwerte. Die Zusammensetzung der Feuer- raumasche lässt nach erster Einschätzung eine Nutzung als Dünger zu.

Schlüsselwörter

Gärrest, Biogas, Verbrennung, Emissionen

Keywords

Digestate, biogas, combustion, emissions

Abstract

Starcevic, Nikica; Martinov, Milan; Kratzeisen, Martin; Maurer, Claudia and Müller, Joachim

Emissions during combustion of biogas effluents

Landtechnik 64 (2009), no. 2, pp. 92 - 94, 1 figure, 2 tables, 3 references

Increasing amounts of biogas effluents require novel approaches of treatment. The thermal utilization of biogas effluents seems to be a promising alternative to using these effluents as fertilizer. Therefore this paper shows first results of combustion experiments and attests the general suitability as fuel. Flue gas emissions did not exceed the limit values. Coarse ash composition indicates the potential of recycling the ash and using it as fertilizer.

Die Anzahl der Biogasanlagen in Deutschland hat sich in den vergangenen fünf Jahren verdoppelt. Dabei hat sich die installierte elektrische Leistung vervierfacht. Gegenwärtig gibt es in Deutschland etwa 3 900 Biogasanlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von 1 376 MW. Für das kommende Jahr 2009 werden etwa 780 neue Anlagen mit einer Leistung von 200 MW_{el} erwartet.

Bei der Vergärung der Substrate bleibt als Nebenprodukt der Gärrest zurück. Durch die steigende Biogasanlagenzahl und den damit verbundenen steigenden Gärrestanfall stößt die Verwertung

des Gärrestes zunehmend an ihre ökologischen und ökonomischen Grenzen. Darüber hinaus werden der Verwertung als Dünger in der Pflanzenproduktion durch die Düngemittelverordnung bzw. durch die in vielen Regionen Deutschlands bestehenden Nährstoffüberschüsse bei landwirtschaftlich genutzten Flächen Grenzen gesetzt. Der Transport über größere Entfernungen ist kostenintensiv und wirtschaftlich oft der limitierende Faktor. Die Trocknung von Gärresten kann wirtschaftlich sinnvoll sein und ist technologisch umsetzbar. Neben der Verwertung als Dünger ist auch die thermische Verwertung der Gärreste Grundlage jüngster Diskussionen. So haben Biogasanlagenbetreiber starkes Interesse an der Verwendung von Gärresten als Brennstoff bekundet. Aus diesem Grund wird in vorliegende Arbeit die generelle Eignung von Gärresten als Festbrennstoff untersucht. Zur Zeit sind Gärreste weder explizit in den einschlägigen Regelwerken aufgeführt noch haben sie eine allgemeine Zulassung als Regel- oder Sekundärbrennstoff. Wesentlicher Grund hierfür ist das mangelnde Wissen über die Charakteristik von Gärresten als Brennstoff, des Verbrennungsverhaltens sowie der Beschaffenheit der Emissionen.

Um diese Lücke zu schließen, wurden in dieser Arbeit Gärreste-Pellets als Brennstoff charakterisiert, das Verbrennungsverhalten in einer marktüblichen Biomassefeuerung un-

Bild 1



Biomasseheizung Ökotherm mit Blick in die wassergekühlte Brennmulde

Fig. 1: Biomass heating system Ökotherm with water-cooled through

Tab. 1

Elementaranalyse der Gärreste-Brennstoffpellets (Angaben bezogen auf Trockenmasse) im Vergleich mit Fichtenholz nach [1]. Die fett gedruckten Werte sind Schadstoffgrenzwerte nach DIN 51 731

Table 1: Elementary composition of the digestate pellets (based on dry matter) compared with spruce wood according to [1]. The bold values are limit values according to DIN 51 731

Element	Einheit	Gärrest 1	Gärrest 2	Fichtenholz mit Rinde
Wasserstoff	%	5,5	5,2	6,3
Stickstoff	%	2,86	1,54	0,13; 0,3
Chlorid	%	0,843	0,265	0,005; 0,03
Schwefel	%	0,864	0,328	0,015; 0,08
Quecksilber	mg kg ⁻¹	0,07	0,04	0,05
Zink	mg kg ⁻¹	304	125	100
Kadmium	mg kg ⁻¹	0,29	0,15	0,5
Kupfer	mg kg ⁻¹	58,8	18,2	5,0
Blei	mg kg ⁻¹	4,4	0,78	10,0
Phosphor	%	1,29	1,14	-
Kalium	%	1,37	1,59	0,13
Chrom	mg kg ⁻¹	13,2	21,5	8,0
Arsen	mg kg ⁻¹	0,93	0,54	0,8
PCB	mg kg ⁻¹	<0,001	<0,001	-

tersucht und die Rauchgas- und Ascheemissionen hinsichtlich der genehmigungsrechtlichen Grenzwerte bewertet.

Material und Methoden

Die Gärreste für die Verbrennungsversuche stammten aus zwei Biogasanlagen. Gärrest 1 stammt aus einer NawaRo-Anlage mit folgender Substratzusammensetzung: Silomais (Ganzpflanze), Gras und Grassilage und Kartoffeln. Gärrest 2 stammt aus einer Biogasanlage mit folgender Substratzusammensetzung: Mais-silage, Hähnchenmist, Corn Cob Mix (CCM,) Gras-Grünsilage (Zuckerhirse, Sudangras), Stroh und Schweinegülle. Die Gärreste wurden auf einen Wassergehalt von 15-20% getrocknet und lagen lose und teils pulverförmig vor. Die Gärreste wurden anschließend pelletiert. Wesentlicher Grund hierfür war die Verbesserung der Verbrennungslogistik, der Transport- und Lagerfähigkeit sowie der Vermarktungsfähigkeit des Brennstoffes. Die Gärreste-Pellets wurden gemäß ihrer Eigenschaften für Durchmesser, Feuchtegehalt, Ascheanteil, Schwefelanteil, Feinanteil und Stickstoffanteil nach DIN CEN/TS 14 961 klassifiziert. Die Untersuchung der Spuren- und Mengenelemente sowie der Schwermetalle erfolgte nach DIN ISO 11 466, DIN EN ISO 17 294-2, DIN EN ISO 11 885, DIN EN 1 483 und DIN ISO 13 878. Für die Bestimmung der PCB (polychlorierten Biphenyle) wurden die Richtlinien des VDLUFA-Methodenhandbuches befolgt. Die Abriebfestigkeit wurde nach DIN CEN/TS 14 961 ermittelt. Für die Verbrennungsversuche wurde eine Bio-masseheizung mit einer Nennleistung von 49 kW verwendet, siehe **Bild 1**. Diese Biomasseheizanlage vom Typ ÖkoTherm® ist ein Serienprodukt der Firma A.P. Bioenergie-technik GmbH und wird sowohl für die thermische Verwertung von Holzhackschnitzeln als auch anderen Biomassefestbrennstoffen wie z. B. Stroh, Heu, Miscanthus, Rapskuchen oder Pferdemit eingesetzt. Die Feuerung ist als Schubbodenfeuerung mit wassergekühlter Brenn-

mulde und automatischem Aschenausstrag klassifiziert [1]. In der Brennmulde befinden sich beidseitig Bohrungen für die Primär- und Sekundärluftzufuhr. Die Lambdasonde befindet sich im Rauchgasabzug des Kessels. Zur Staubabscheidung war dem Kessel ein Elektrofilter der Firma A.P. Bioenergie-technik GmbH angeschlossen. Die Rauchgastemperatur und -zusammensetzung wurde nach dem Kessel und vor dem Rauchgasabzug gemessen. Für die Bestimmung von O₂, CO₂, NO_x und CO wurde das Gasanalysegerät RBR-Ecom® KD der Firma Kleinschmidt GmbH Messgeräte eingesetzt. Der Staubgehalt wurde mit dem Staubmessgerät FW 100 der Firma Sick Maihak ermittelt. Die Verbrennungsversuche wurden pro Brennstoff über eine Dauer von etwa 20 Stunden durchgeführt. Dabei wurden nach Erreichen der Nennleistung bzw. der maximal möglichen Leistung alle Rauchgasmessungen im Sekundentakt vorgenommen. Das Aschenschmelzverhalten wurde nach DIN 51 730 bestimmt. Die elementare Zusammensetzung der Feuerraumasche wurde mittels einer Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) ermittelt.

Eigenschaften der Gärreste-Pellets

Entsprechend der Analyseergebnisse wurden die Gärreste-Pellets wie folgt klassifiziert:

- Gärrest 1 – D10; M15; A6.0+; S0.20+; F2.0+; N3.0.
- Gärrest 2 – D06; M15; A6.0+; S0.20+; F2.0+; N3.0.

Gärrest 1 wies einen Heizwert von 15,8 MJ kg⁻¹ bei einem Wassergehalt von 9,2% auf. Die Pellets von Gärrest 2 wiesen einen Heizwert von 15,0 MJ kg⁻¹ bei einem Wassergehalt von 9,9% auf. Beide Heizwerte sind im Vergleich zu Fichtenholz-Pellets mit 16,3 MJ kg⁻¹ bei einem Wassergehalt von 12% als vielversprechend zu betrachten. Die Elementarzusammensetzung der Gärreste-Pellets im Vergleich mit Fichtenholz ist **Tabelle 1** zu entnehmen. Die fett gedruckten Werte sind Grenzwerte für Holzpellets nach DIN 51 731.

Die hohen Werte insbesondere für Stickstoff, Chlorid und Schwefel sind als kritisch zu bewerten, da sie emissionsrelevant sind. Der im Vergleich zu Fichtenholz um das Zehnfache erhöhte Kaliumwert beeinflusst entscheidend das Aschenschmelzverhalten und setzt insbesondere den Ascheerweichungspunkt herab. Dies kann bei Feuerungstechnologien ohne gekühlte Brennröste zur Bildung von Schlacken und Anbackungen führen. Der

Tab. 2

Zusammensetzung der Feuerraumasche im Vergleich mit Fichtenholzasche nach [1, 3] in Gew.-% der TS

Table 2: Coarse ash composition compared with spruce wood ash according to [1, 3] in % by weight of dry matter

Elemente	Gärrest 1	Gärrest 2	Fichtenholz
P ₂ O ₅	13,1	23,8	2,6
K ₂ O	8,8	20,8	6,4
MgO	1,4	5,4	6,0
CaO	17,2	22,8	41,7
SiO ₂	11,6	19,2	25,0

Ascheerweichungspunkt für Gärrest 1 und 2 wurde bei 1 090 bzw. 1 110 °C ermittelt und liegt unter den Erweichungstemperaturen für Holzaschen mit etwa 1 300-1 400 °C. Die Fließtemperatur der Gärrestaschen wurde bei 1 320 bzw. 1 390 °C ermittelt. Dennoch ist im Vergleich mit halmgutartigen Brennstoffen das Ascheerweichungsverhalten als positiv zu bewerten. Hartmann et al. (2007) konnten hier schon Erweichung von Aschen ab 911 °C beobachten [1]. Der Aschegehalt der Gärrestpellets 1 und 2 ist mit 18,3 und 14,6% als hoch anzusehen und kann unter Umständen zu einer Erhöhung der Betriebskosten und zu einer Erhöhung der Entsorgungskosten bei Großanlagen führen. Im Vergleich hierzu liegen die Aschegehalte für Fichtenholz und Weizenstroh bei 0,6 bzw. 5,7% [1].

Gasemissionen

Bei der Verbrennung wurde eine maximale Leistung von etwa 40 kW erreicht. Der Wirkungsgrad der Biomassefeuerung betrug etwa 85%. Bei der Verbrennung von Gärrest 1 wurde bei einer mittleren Rauchgastemperatur von 227 °C und einem Sauerstoffgehalt von 10,5% eine mittlere Staubkonzentration von 125 mg m_N⁻³ gemessen. Durch den Einsatz des Elektrofilters konnte diese auf einen mittleren Wert von 50 mg m_N⁻³ herabgesetzt werden. Der mittlere CO₂-Gehalt betrug 10,1%. Bezogen auf 11,0% O₂-Gehalt im Rauchgas betrug die mittlere Konzentration von Kohlenstoffmonoxid (CO) 344 mg m_N⁻³ und von Stickoxiden (NO_x) 418 mg m_N⁻³. Bei gleicher Raugastemperatur und einem O₂-Gehalt von 11,5% betrug die Staubkonzentration bei der Verbrennung von Gärrest 2 im Mittel 133 mg m_N⁻³ und konnte durch den Elektrofilter auf 54 mg m_N⁻³ herabgesetzt werden. Die CO-Konzentration betrug 130 mg m_N⁻³ und die NO_x-Konzentration 497 mg m_N⁻³. Gärreste-Pellets sind nach dem Anhang der 4. BImSchV nicht als Regelbrennstoff, sondern als Sonderbrennstoff einzuordnen. Bis einer Feuerungswärmeleistung (FWL) von 100 kW ist keine Genehmigung nach dem BImSchG erforderlich. Allerdings müssen nach der 1. BImSchV die Grenzwerte von 150 mg m⁻³ für Staub und 2 000 mg m⁻³ für CO eingehalten werden. Diese Grenzwerte wurden bei den durchgeführten Versuchen problemlos unterschritten. Bei Anlagen mit einer FWL <1 MW müssen nach der TA Luft neben der verschärften Konzentrationsgrenze für CO von 250 mg m⁻³ zusätzlich die Grenzwerte für C_{ges} (50 mg m⁻³), NO₂ (400 mg m⁻³) und SO₂ (2 000 mg m⁻³) eingehalten werden. Die Grenzwerte für die Stickoxide könnten mit optimierten Parametereinstellungen der Feuerung problemlos erreicht werden. Für C_{ges} und SO₂ kann gegenwärtig keine Aussage getroffen werden, da keine Messergebnisse vorliegen.

Aschezusammensetzung

Tabelle 2 zeigt die Zusammensetzung der Feuerraumasche im Vergleich mit Fichtenholz. Die Gärrestaschen wiesen generell höhere Konzentrationen der Hauptpflanzennährstoffe auf. Stickstoffrückstände waren nicht enthalten, da sie bei der Verbrennung nahezu vollständig entwichen sind. Der Siliziumoxidgehalt lag unter den gängigen Werten für Fichtenholz und

ist als unbedenklich einzustufen, insbesondere weil Siliziumoxid sich im Boden ökologisch neutral verhält und schwer löslich ist [2]. Auch der Gehalt an Aluminiumoxiden ist im Vergleich zu Fichtenholz als unbedenklich einzustufen. Die Konzentration der Elemente Cu, Zn, Co, Mo, As, Ni, Cr, Pb, Cd, V und Hg war unter der Nachweisgrenze von 0,1%. Für weitere, detaillierte Untersuchungen der Schwermetallbelastung sollte ein genaueres Nachweisverfahren gewählt werden. Generell kann aber davon ausgegangen werden, dass die landwirtschaftliche Verwertung der Feuerraumasche der untersuchten Gärreste unbedenklich ist.

Schlussfolgerungen

Gärreste-Pellets sind als handelsfähiger Mono-Brennstoff vielversprechend. Eine Pelletierung ist ohne Additive möglich und die mechanische Stabilität ist zufriedenstellend. Der hohe Aschegehalt erfordert allerdings höhere Aufwendungen für den Betrieb und die Entsorgung. Für den privaten, häuslichen Gebrauch sind Gärreste-Pellets auf Grund der Geruchsentwicklung in den Lagerräumen nur eingeschränkt zu empfehlen. Für den Einsatz im landwirtschaftlichen Bereich und in großmaßstäblichen Biomassefeuerungen konnten allerdings keine Ausschlusskriterien identifiziert werden.

Die chemische Zusammensetzung des Brennstoffes und die Emissionen hängen allerdings von den eingesetzten Substraten in der Fermentation ab, so dass sich keine allgemeine substratunabhängige Aussage treffen lässt. Deshalb besteht weiterer Forschungsbedarf in der Ermittlung von Zusammenhängen von eingesetzten Substraten und den Emissionen während der Verbrennung.

Literatur

- [1] Hartmann, H., et al.: Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen. 2. überarbeitete Auflage, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow, 2007
- [2] Scheffer, F. und P. Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde. 15. Aufl., neu bearb. und erw. von Hans-Peter Blume ed., Spektrum, Akad. Verlag, Heidelberg, 2008
- [3] Obernberger, I.: Aschen aus Biomassefeuerung – Zusammensetzung und Verwertung. In: VDI Bericht 1319 „Thermische Biomassenutzung – Technik und Realisierung. VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 1997, S. 199–222

Autoren

Dipl.-Ing. Nikica Starcevic, Dipl.-Ing. Martin Kratzeisen (FH), M.Eng. und M.Sc. Claudia Maurer sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Fachgebiet Agrartechnik in den Tropen und Subtropen (Leitung: **Prof. Dr. Joachim Müller**), Garbenstraße 9, 70599 Stuttgart. E-Mail: Nikica.Starcevic@uni-hohenheim.de

Prof. Dr.-Ing. Milan Martinov ist Professor an der Universität Novi Sad, Fakultät der technischen Wissenschaften, Abteilung Biosystems Engineering, Serbien. E-Mail: mmartog@uns.ns.ac.yu

Danksagung

Die Autoren danken der Firma A.P. Bioenergie-technik GmbH aus Hirschau für die freundliche Unterstützung bei der Durchführung der Verbrennungsversuche.