

**Biogas aus Festmist – eine neue Technologie zu Schließung des Nährstoff- und Energiekreislaufes auf dem landwirtschaftlichen Betrieb****Biogas from manure – a new technology to close the nutrient and energy circuit on-farm**

W. Schäfer<sup>1</sup>, L. Evers<sup>2</sup>, M. Lehto<sup>1</sup>, S. Sorvala<sup>1</sup>, F. Teye<sup>1</sup>, A. Granstedt<sup>2</sup>

**Key words:** biogas, compost, nitrogen, anaerobic digestion

**Schlüsselwörter:** Biogas, Kompost, Stickstoff, anaerobe Vergärung

**Abstract:**

*The Biodynamic Research Institute in Järna developed at the farm Yttereneby a two phase biogas plant. The plant digests manure of dairy cattle and organic residues originating from the farm and the surrounding food processing units containing 17,7 - 19,6 % dry matter. A new technology for continuously filling and discharging the biogas reactor was developed and implemented. Digestion residues are separated into a solid fraction for composting and into a liquid fraction. The solid fraction is suitable for aerobic composting. Initial results show that anaerobic digestion and following aerobic composting of the solid fraction improves the nitrogen balance of the farm compared to mere aerobic composting. Composted biogas plant residues and effluent together contain 70,8 % of input  $N_{tot}$  and 93,3 % of input  $NH_4$ , merely aerobic digested manure 51,3 %  $N_{tot}$  and 3,9 %  $NH_4$  only. Additionally anaerobic digestion improves the energy balance of the farm producing up to 269 l biogas  $kg^{-1}$  VS or 1,7 kWh heat  $kg^{-1}$  VS.*

**Einleitung und Zielsetzung:**

Die derzeit marktgängigen Biogasanlagen arbeiten fast ausschließlich mit Flüssigmist und Kosubstraten. Rinder-, Pferde- und Geflügel haltende Betriebe, die eine Festmistkette benutzen, haben daher einen entscheidenden Wettbewerbsnachteil. Biodynamische Betriebe legen besonderen Wert auf Mistkompost. Trotz neuer Forschungsergebnisse (LINKE 2004) sind Trockenvergärungsanlagen auf dem landwirtschaftlichen Betrieb wenig verbreitet. Die Gründe dafür liegen vermutlich am Mangel zuverlässiger technischer Lösungen, hohem Arbeitsaufwand beim Befüllen und Entleeren sowie fehlender Dokumentation der Praxisanlagen.

In diesem Beitrag sollen ein Prototyp eines zweiphasigen Biogasreaktors zur kontinuierlichen Vergärung von Festmist und organischen Abfällen auf einem Demeterbetrieb sowie erste Messergebnisse vorgestellt werden. Damit wollen wir am Beispiel des Energie- und Nährstoffkreislaufes zeigen, dass auch ingenieurwissenschaftliche Leistungen den Zielen des ökologischen Landbaus dienen können.

**Methoden:**

Eine technische Dokumentation wurde nach der „Europäischen Norm für Fließschemata für verfahrenstechnische Anlagen-Regeln“ (EN-ISO 10628:1997) erstellt. Eine vereinfachte Darstellung des Materialflusses der Anlage zeigt Abb. 1. Kot, Stroh und Haferspelzen aus einem Milchviehanbindestall mit 65 GV werden mit dem Faltschieber in den Zuführkanal vor dem Hydrolysereaktor geschoben und von dort mit einem weiteren hydraulisch betätigten Faltschieber durch ein 400 mm PVC-Rohr in den oberen Teil des 30° geneigten Hydrolysereaktors gepresst. Infolge der Schwerkraft ver-

<sup>1</sup> Institut für Agrartechnik (VAKOLA), MTT Agrifood Research Finland, Vakolantie 55, FI-03400 Vihti, E-mail: winfried.schafer@mtt.fi

<sup>2</sup> Biodynamisches Forschungsinstitut, Skilleby gård, S-15391 Järna, E-mail: sbfi@jdb.se

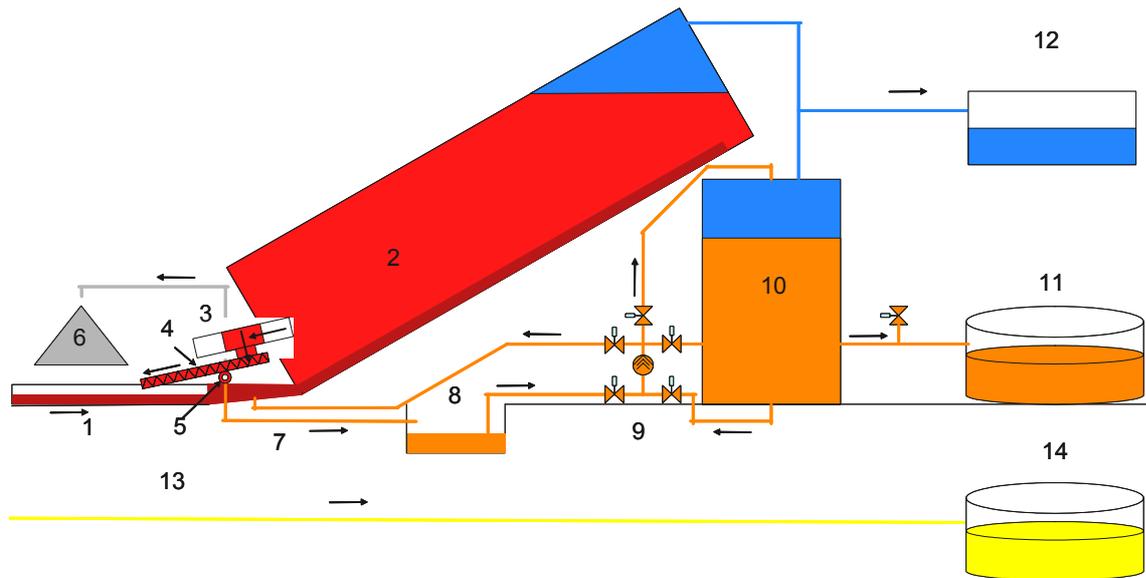


Abb. 1: Materialfluss der Biogasanlage in Yttereneby, Järna, Schweden. 1 Zuführkanal des Frischmistes, 2 Hydrolysereaktor, 3 Schublade zum Entleeren des Gärsubstrates, 4 Schnecke zum Entleeren der Schublade, 5 Schneckenpresse zum Trennen der festen und flüssigen Fraktion, 6 Feste Fraktion des Gärsubstrates nach der Hydrolyse, 7 Abflussrohr der flüssigen Fraktion, 8 Zwischenlager der flüssigen Fraktion, 9 Pumpe und Steuerventile, 10 Methanreaktor, 11 Lager des flüssigen Gärsubstrats, 12 Gassack, 13 Harnabflussrohr, 14 Harnlager

mischt sich das frische Substrat mit dem bereits vorhandenen Gärsubstrat und sinkt nach unten. Nach einer hydraulischen Verweilzeit von 26 Tagen bei 38°C wird das Gärsubstrat von einer Schublade ohne Boden aus dem Reaktor entnommen. Die Schublade wird in einem rechteckigen Kanal geführt und über einen Hydraulikzylinder bewegt. Bei jedem Entladezyklus fallen ca. 100 l Gärsubstrat in die darunter liegende Transportschnecke. Schwerkraftbedingt fällt ein Teil des Gärsubstrates in die quer darunter liegende Schneckenpresse, der andere Teil wird in den Zuführkanal entleert und mit dem Frischmist vermischt. Die feste Fraktion des Gärsubstrates aus der Schneckenpresse wird auf der Dungplatte des Betriebes gelagert und kompostiert, die flüssige Fraktion gelangt über einen Zwischenspeicher in den Methanreaktor. Ein Teil der flüssigen Fraktion wird in den Presskanal zurückgeführt, um Verstopfungen vorzubeugen. Nach einer hydraulischen Verweilzeit von 16 Tagen bei 38 °C wird das Gärsubstrat aus dem Methanreaktor in einen Lagerbehälter mit Schwimmdecke gepumpt. Das in beiden Reaktoren entstehende Biogas wird in einem Sack gespeichert und zur Erzeugung von Prozesswärme und Warmwasser für die Wohnraumheizung verbrannt. Der Urin wird bereits im Stall über die perforierten Kanäle der Faltschieberanlage vom Mist getrennt und in einem separaten Behälter mit Schwimmdecke gelagert.

Proben des organischen Materials wurden vom Frischmist im Zuführkanal 1, vom Gärsubstrat der festen Fraktion 6 und vom flüssigen Gärsubstrat nach der Methanvergärung 11 entnommen. Die erste Probenahme erfolgte am 3.3.04 und wurde im Labor HS Miljölab AB in Kalmar, Schweden auf Stickstoff- und Phosphorgehalt und Trockensubstanz analysiert. Masse und Trockensubstanz des in 24 h zugeführten Frischmistes und der dem Hydrolysereaktor entnommenen festen Fraktion des Gärsubstrates wurden ermittelt. Die zweite Probenahme erfolgte am 6.5.04 und wurde im Labor Novalab Oy in Karkkila, Finnland auf Stickstoff-, Phosphor-, Kaliumgehalt und Trockensubstanz analysiert. Die in 24 h eingestreute Masse an Stroh und Haferspelzen wurde gewogen. Masse und Trockensubstanz des Kotes wurden aus dem Frischmist abzüglich Stroh- und Haferspelzmasse berechnet. Die organische Tro-

ckensubstanz des Frischmistes und der Haferspelzen wurden durch 3-stündiges Erhitzen auf 550 °C ermittelt. Der Gasertrag wurde für beide Reaktoren über je eine Gasuhr (Actaris G6 RF1) gemessen und der Zählerstand wurde täglich abgelesen. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt wurde im Glaskolben durch Ausfällen von Natriumkarbonat mit Natronlauge ermittelt. Der Wasserdampfgehalt im Biogas wurde mit einem geschätzten Mittelwert von 3 Vol-% des Biogases (WEILAND, 2003), angenommen. Die Berechnung der Biogasmasse erfolgte mit CO<sub>2</sub>: 1,85 kg m<sup>-3</sup>, CH<sub>4</sub>: 0,67 kg m<sup>-3</sup>, Wasserdampf: 0,752 kg m<sup>-3</sup>, gültig für 0 °C und 1 bar Luftdruck. Auf die Umrechnung des Gasertrages auf Normkubikmeter wurde wegen der mangelhaften Messgenauigkeit verzichtet. Im Kompostierungsversuch (10.5.-13.8.04) wurden 50 l Frischmist sowie 50 l der festen Fraktion des Gärsubstrates bei 15 °C in der Klimakammer des Agrartechnikinstitutes kompostiert. Danach wurde die organische Trockensubstanz bestimmt. Die Nährstoffgehalte wurden im Labor Novalab Oy in Karkkila, Finnland auf Stickstoff, Phosphor-, Kaliumgehalt und Trockensubstanz analysiert.

### Ergebnisse und Diskussion:

Die Anlage wurde Mitte November 2003 in Betrieb genommen. Der Biogasertrag von der Inbetriebnahme bis zu Beginn des Weidegangs ist in Abb. 2 dargestellt. Eine eingefrorene Gasleitung verhinderte Anfang Januar die korrekte Messung und die korrosionsbedingte Verstopfung einer Gasleitung des Hydrolysereaktors behinderte im April die korrekte Messung des Biogasertrages. Im Mittel wurden 130 l Biogas je kg oTS gemessen, was bei ca. 65 % Methangehalt 84 l Methan oder einem Heizwert von ca. 0,84 kWh kg<sup>-1</sup> oTS entspricht. Am 29.3.04 erreichte die Anlage mit 175 l Methan kg<sup>-1</sup> oTS den Höchstwert.

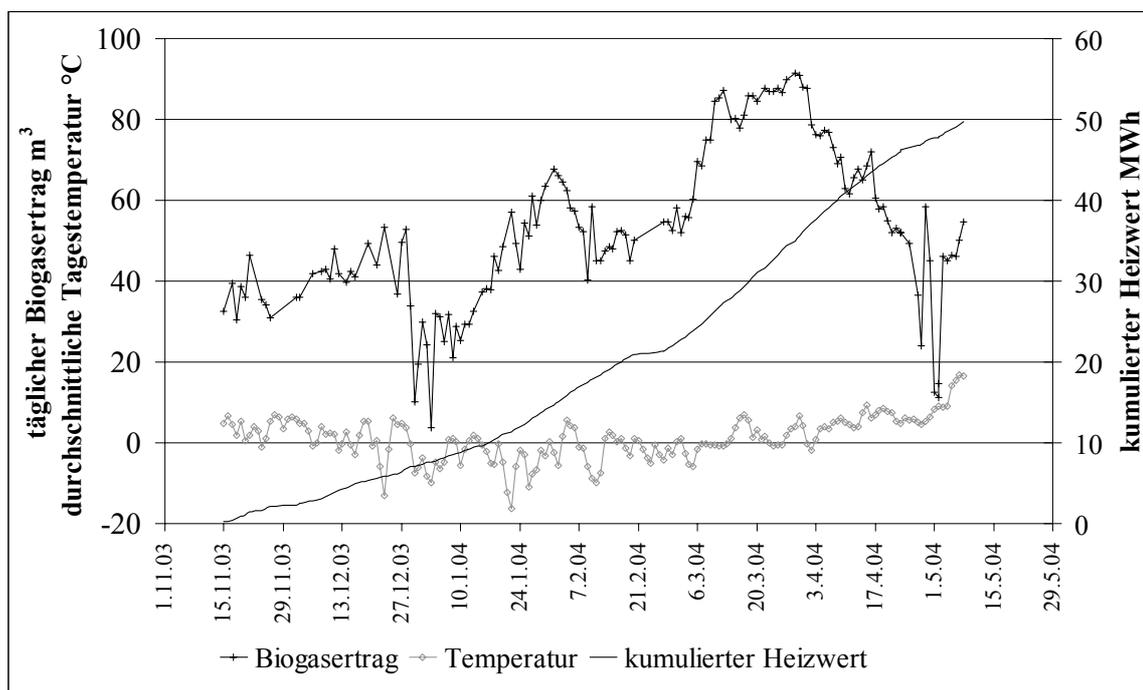


Abb. 2: Kumulierter Heizwert, Biogasertrag und durchschnittliche Tagestemperatur der zweiphasigen Biogasanlage in Yttereneby zwischen dem 15.11.2003 und 8.5.2004

Aus den Ergebnissen in Tabelle 1 geht hervor, dass über 70 % der zugeführten oTS aus Stroh und Haferspelz stammt. Über 16 % der oTS werden bei der anaeroben Vergärung zu Biogas abgebaut, ca. 71 % der oTS sind im festen Gärsubstrat gebunden. Nach der anschließenden aeroben Kompostierung des festen Gärsubstrates sind

fast 60 % der oTS abgebaut. Im Vergleich dazu wird bei der ausschließlichen aeroben Kompostierung der gleichen Ausgangsmenge fast 53 % der organischen Trockensubstanz abgebaut. Die Stickstoffbilanz zeigt, dass nach der anaeroben Vergärung deutlich mehr löslicher Stickstoff und Gesamtstickstoff als bei der aeroben Vergärung zur Verfügung steht. Die Ergebnisse sind statistisch nicht abgesichert, da bislang nur Mittelwerte aus zwei Messtagen zur Verfügung stehen.

Tab. 1: Massen- und Nährstoffbilanz anaerober und aerober Vergärung. FM Frischmasse, oTS organische Trockensubstanz,  $N_{org}$  organischer Stickstoff,  $N_{lös}$  löslicher Stickstoff,  $N_{tot}$  Gesamtstickstoff.

	FM	oTS	$N_{org}$	$N_{lös}$	$N_{tot}$	$NH_4$	$NO_3, NO_2$	K	P
	kg d <sup>-1</sup>								
Kot	1717	99			8,29			6,06	2,01
Stroh	27	23			0,14			0,61	0,04
Haferspelz	257	218	0,55	0,02	0,56		0,018	1,13	0,20
<b>Summe Input</b>	<b>2000</b>	<b>340</b>	<b>7,36</b>	<b>1,64</b>	<b>9,00</b>	<b>1,34</b>	<b>0,242</b>	<b>7,80</b>	<b>2,25</b>
<b>Anaerobe Vergärung von 2000 kg d<sup>-1</sup> Stallmist</b>									
Gärsubstrat, feste Fraktion	919	243	3,26	0,69	3,95	0,63	0,056	2,85	0,76
Gärsubstrat, flüssig	1025	41	2,15	1,44	3,79	1,23	0,205	3,49	0,81
CO <sub>2</sub>	34								
CH <sub>4</sub>	20,8								
Wasserdampf	1,15								
<b>Summe Output</b>	<b>2000</b>	<b>284</b>	<b>5,41</b>	<b>2,13</b>	<b>7,74</b>	<b>1,86</b>	<b>0,261</b>	<b>6,33</b>	<b>1,57</b>
Kompost der festen Fraktion	398	96	2,51	0,04	2,55	0,02	0,020	2,89	0,64
Kompost und Gärsubstrat	1424	137	4,66	1,48	6,34	1,25	0,225	6,37	1,45
Verluste	576	203	2,70	0,16	2,66	0,09	0,017	1,43	0,80
<b>Aerobe Vergärung von 2000 kg d<sup>-1</sup> Stallmist</b>									
Kompost	872	160	4,51	0,11	4,62	0,05	0,061	5,93	1,74
Verluste	1128	180	2,85	1,53	4,38	1,29	0,181	1,87	0,51

### Schlussfolgerungen:

Die neuen verfahrenstechnischen Lösungen der Biogasanlage in Järna eignen sich zur kontinuierlichen Vergärung von Festmist und organischen Abfällen und können zur Schließung des betrieblichen Energie- und Nährstoffkreislaufes beitragen. Zur Absicherung der Ergebnisse sind weitere Messungen nötig. Der bislang gemessene Biogasertrag liegt u. a. wegen Messfehlern unter den möglichen Erträgen, wie ein Vergleich mit jüngsten Forschungsergebnissen zeigt (SCHATTNER et al., 2000, MUMME 2003, MØLLER et al., 2004). Eine Optimierung der Anlage hinsichtlich Raumbelastung und hydraulischer Verweilzeit dürfte zu deutlich höheren Gaserträgen führen, erfordert aber eine verbesserte Messtechnik. Danach ist eine ökonomische Bewertung erforderlich, um die Wettbewerbsfähigkeit dieser neuen Technologie beurteilen zu können.

### Literatur:

Linke B (2004) Substrateinsatz bei der Trockenfermentation – Einschätzung des F+E-Bedarfs. Gülzower Fachgespräche 23:35-48

Møller H, Sommer S, Ahring B (2004) Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. Biomass & Bioenergy 26:485-495

Mumme J (2003) Trockenfermentation in einer kleintechnischen Batch-Anlage. Landtechnik 58:330

Schattner S, Gronauer A (2000) Methanbildung verschiedener Substrate - Kenntnisstand und offene Fragen. Gülzower Fachgespräche 15:28-39

Weiland P (2004) Notwendigkeit der Biogasaufbereitung und Stand der Technik. Gülzower Fachgespräche 21:23-35