

Julian Frey, Fabian Grüssing, Hans-Joachim Nägele und Hans Oechsner

Eigenstromverbrauch an Biogasanlagen senken: Der Einfluss neuer Techniken

Die Erfassung des Stromverbrauches einzelner Aggregate einer Biogasanlage ist aufgrund ständig steigender Energiekosten ein bedeutender Faktor für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit und zur Bewertung der Effizienz von Biogasanlagen. Studierende im Studiengang Nachwachsende Rohstoffe und Bioenergie der Universität Hohenheim haben sich im Rahmen einer Projektarbeit an der Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie mit dem Thema der Eigenstromverbrauchsmessung beschäftigt. Detaillierte Messungen an zwei Praxisbetrieben belegen die Auswirkungen unterschiedlicher Anlagenausstattungen auf den Eigenstrombedarf und zeigen mögliche Einsparpotenziale sowie die Möglichkeit der effizienten Wärmeverwertung mittels ORC-Anlage auf.

Schlüsselwörter

Eigenstromverbrauch, Biogasanlage, Energieeffizienz, ORC-Abgasnachverstromung, Substrataufbereitung

Keywords

Electric energy consumption, biogas plant, energy efficiency, ORC exhaust gas power generation, substrate pretreatment

Abstract

Frey, Julian; Grüssing, Fabian; Nägele, Hans-Joachim and Oechsner, Hans

Cutting the Electric Power Consumption of Biogas Plants: the Impact of New Technologies

Landtechnik 68(1), 2013, pp. 58–63, 3 figures, 3 tables, 5 references

Due to permanently rising energy costs, the assessment of electric energy consumption for particular aggregates of a biogas plant proves to be a significant factor for the economic and technical efficiency calculation of biogas plants. At the University of Hohenheim, students of the Biobased Products and Bioenergy course have analyzed the energy consumption of biogas plants (BGP) in a project work at the State Institute of Agricultural Engineering and Bioenergy

(Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie). Detailed measurements at two operational plants show the effects of different facilities on the energy consumption. Furthermore, saving potentials and a possible efficient energy use via an exhaust gas power generator (ORC unit) are identified.

■ Vor dem Hintergrund steigender Preise für Rohstoffe und Betriebsmittel in Deutschland ist es von großer Bedeutung, eine detaillierte Erfassung des Eigenenergiebedarfs von Biogasanlagen vorzunehmen, um Schwachstellen erfassen zu können. Der Anteil des Eigenstrombedarfs an der Gesamtproduktion kann die Rentabilität einer Biogasanlage maßgeblich beeinflussen. Ein kleines Beispiel verdeutlicht die Problematik: Für eine Biogasanlage mit 500 kW elektrischer Leistung und 8000 Betriebsstunden im Jahr würden bei einem durchschnittlichen Eigenstromverbrauch von 7,5% an der Gesamtproduktion Mehrkosten von 24.000 € im Jahr entstehen. Basis dieser Rechnung ist ein Strompreis von 22 ct/kWh und ein maximaler Preisanstieg um 8 ct/kWh, wie er durch die BET GmbH (Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH, Aachen) berechnet wurde [1]. Der für die Berechnung angenommene Eigenstrombedarf bezieht sich auf das Bundesmessprogramm der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe und ist als Mittelwert der im Rahmen dieses Messprogramms untersuchten Biogasanlagen zu verstehen [2].

Wie bereits im Bundesmessprogramm gezeigt, konnte auch der Abschlussbericht „BGA OPT“ der Fachhochschule Ingolstadt den variierenden Eigenstrombedarf einzelner Anlagen belegen und damit die Notwendigkeit detaillierter Erfassung

gen unterstreichen. Der Eigenstrombedarfsanteil schwankte dabei zwischen 4,9 und 9,3% und deckt sich nahezu mit dem in der Berechnung angesetzten Mittelwert von 7,5% auf Basis des Bundesmessprogramms [3]. Bei Langzeituntersuchungen von [4] wurde ein Eigenstrombedarf zwischen 8,5 und 8,7% ermittelt.

Ziel dieser Untersuchung ist es, den Stromverbrauch zweier Praxisanlagen mit unterschiedlicher Anlagentechnik zu messen, auszuwerten und Einsparpotenziale zu identifizieren. Dabei werden an den Biogasanlagen die Systemeinheiten Gaserzeugung mit Einbring- und Rührwerkstechnik und Gasverwertung mit dem Blockheizkraftwerk (BHKW) unterschieden.

Material und Methoden

Die Erhebung erfolgte in zwei Messreihen in den Jahren 2011 und 2012, in denen der Stromverbrauch jedes zu messenden Aggregates über einen Zeitraum von 4 Tagen mit Netzqualitätsanalytoren aufgezeichnet wurde. Alle Aggregate einer Systemeinheit wurden zeitgleich erfasst, um Abweichungen durch sich verändernde Parameter, wie z. B. den Substratmix, zu minimieren. Zeitgleich wurden bei beiden Anlagen die tägliche Substratzusammensetzung und Eintragsmenge erfasst. Die Qualität des Substrates wurde durch wöchentliche Analysen der Trockensubstanz (TS) und der organischen Trockensubstanz (oTS) sowie durch eine einmalige Erfassung der Häcksel-längenverteilung bestimmt.

Aus den Fermentern wurden zusätzlich die gärbiologischen Parameter auf die Konzentration an flüchtigen Fettsäuren, der TS- und der oTS-Gehalt im Labor untersucht.

Als Referenzanlagen wurden zwei Biogasanlagen ausgewählt, die eine vergleichbare installierte elektrische Leistung haben, sich jedoch in der Anlagenstruktur und der jeweiligen Ausrüstung unterscheiden. Dies wird bei genauerer Betrachtung der Leistung und der Anlagenstruktur deutlich (**Tabelle 1**).

Die Biogasanlage (BGA) I weist eine Anlagenleistung von 550 kW_{el} auf, welche durch einen Gas-Ottomotor bereitgestellt wird. Die Anlage besteht aus zwei parallel betriebenen Fermentern mit jeweils 1 800 m³, einem Nachgärer mit 1 500 m³ sowie zwei gasdichten Gärrestlagern mit 1 800 und 1 500 m³ Volumen und zwei offenen Gärrestlagern mit jeweils 450 m³ Volumen.

Die BGA II ist mit zwei Zündstrahlmotoren mit einer Leistung von insgesamt 440 kW_{el} ausgerüstet. Diese Anlage ist mit zwei in Reihe geschalteten Fermentern mit einem Volumen von 1 000 und 350 m³ sowie einem Nachgärer mit einem Volumen von 600 m³ sehr kompakt aufgebaut.

Als Substrate werden in der BGA I täglich 28 t Mais- und Grassilage mit einem Verhältnis von 60:40 gefüttert. In der BGA II werden 32,6 t Mais- und Grassilage sowie Triticale-GPS im Verhältnis von 56:34:10 eingesetzt. Bei beiden Anlagen dominiert die Maissilage als Hauptsubstrat.

Die untersuchten Anlagen unterscheiden sich im Besonderen bei der installierten Einbringtechnik. Die BGA I dosiert die Substrate über einen stationären Feststoffdosierer mit drei vertikalen Mischschnecken und einem nachfolgenden Pumpen-eintragssystem in den Fermenter. An der BGA II ist zur Aufbereitung des Substrates ein Querstromzerspaner installiert, der die Substrate auffasert und den Fermentern zuführt (**Abbildungen 1 und 2**). Um die Leistungsfähigkeit der Biogasproduktion

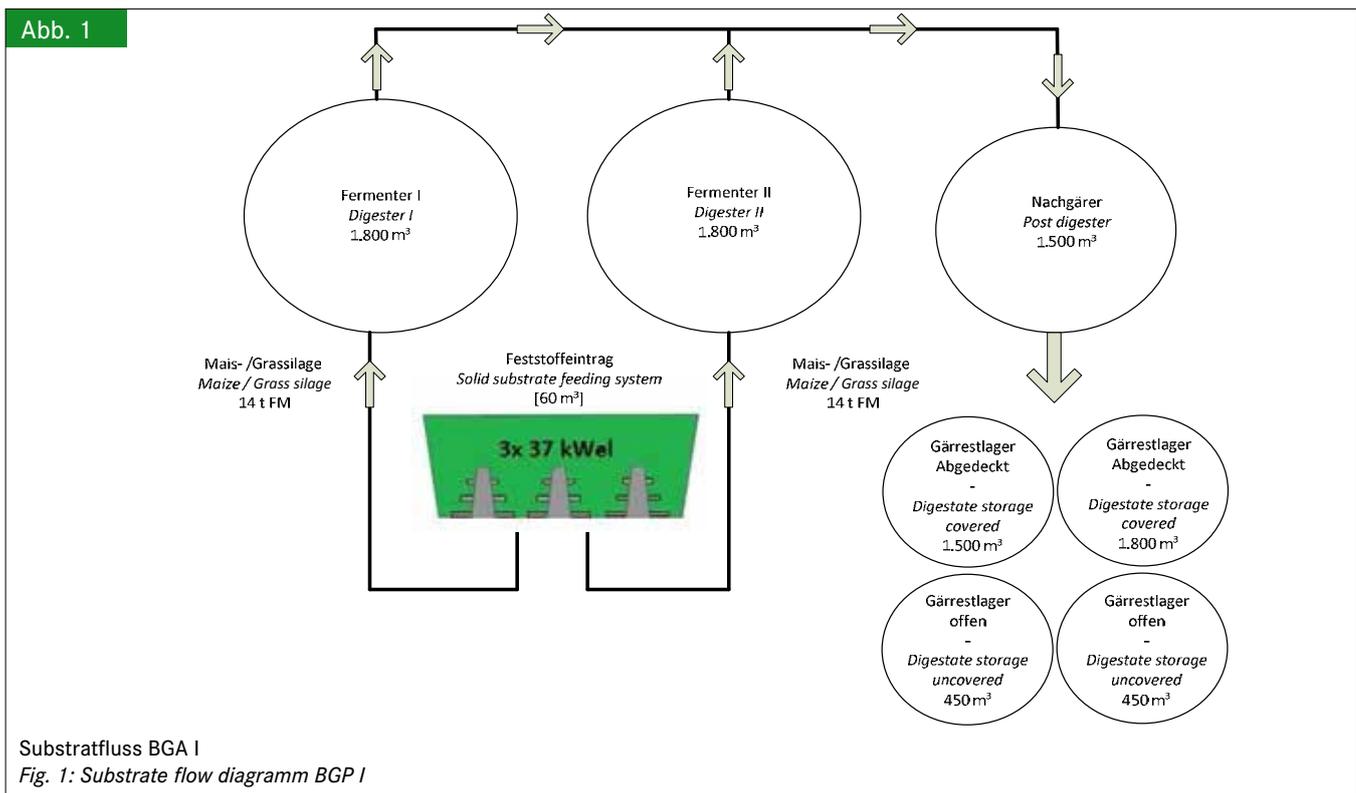
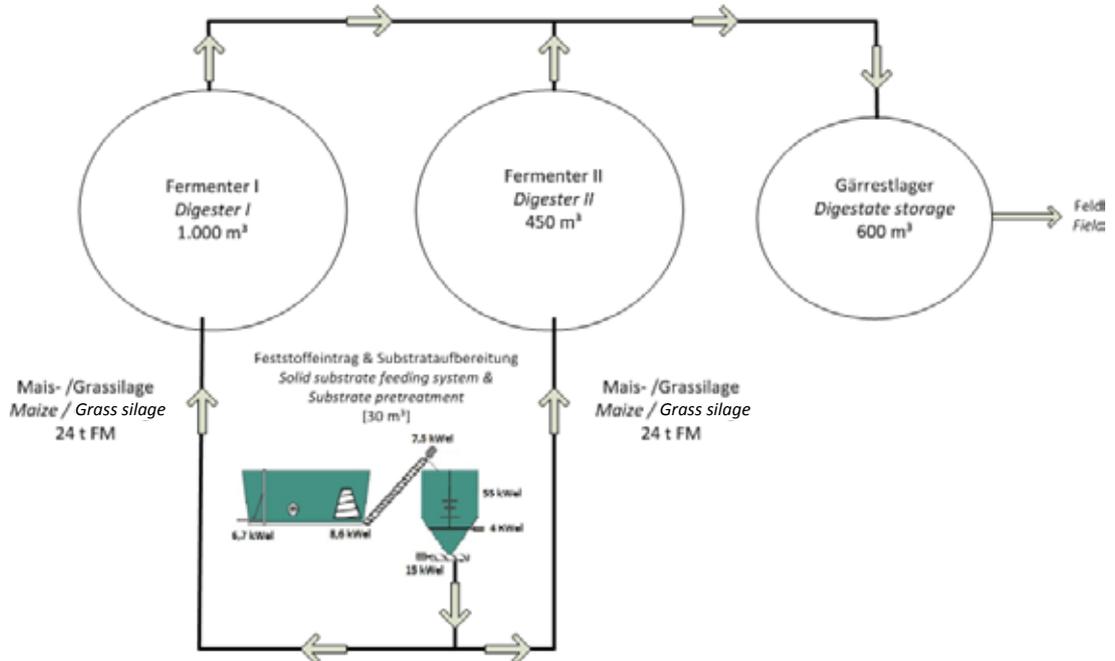


Abb. 2



Substratfluss BGA II

Fig. 2: Substrate flow diagram BGP II

Tab. 1

Technische Spezifikationen der untersuchten Biogasanlagen

Table 1: Technical specifications of the investigated biogas plants

	BGA I	BGA II
Installierte elektr. Leistung <i>Installed electrical power</i>	550 kW (+ ORC mit 50 kW _{el})	440 kW
Motorart/Type of engine	1 Gas-Ottomotor/ <i>Gas-Otto engine</i>	2 Zündstrahlmotoren/ <i>Dual fuel engines</i>
Abgasnachverstromung <i>Exhaust power generation</i>	ORC mit 50 kW Leistung <i>ORC with 50 kW power</i>	-
Wärmenutzungsgrad <i>Energy recovery level</i>	95 %	70 %
Art der Wärmeverwertung <i>Way of energy use</i>	Fermenterheizung/ <i>Digester heating</i> ORC-Anlage/ <i>ORC unit</i> Beheizung Wohnhaus/ <i>Heating of building</i>	Fermenterheizung/ <i>Digester heating</i> Beheizung Industriebetrieb/ <i>Heating of industrial facility</i> Beheizung Wohnhäuser/ <i>Heating of buildings</i>
Behälter <i>Vessels</i>	Fermenter/ <i>Digesters</i> : 2 x 1 800 m ³ Nachgärer/ <i>Post digester</i> : 1 x 1 500 m ³ 2 gasdichte Gärrestlager/ <i>Gas-proof digestate storages</i> : 1 x 1 500 m ³ , 1 x 1 800 m ³ offene Gärrestlager/ <i>Uncovered digestate storages</i> : 2 x 450 m ³	Fermenter/ <i>Digesters</i> : 1 x 1 000, 1 x 450 m ³ Gärrestlager/ <i>Digestate storage</i> : 1 x 600 m ³
Anzahl Rührwerke <i>Number of agitator units</i>	Fermenter/ <i>Digester</i> 1: 2 x 17 kW Schrägachsrührwerke/ <i>Incline shaft agitators</i> Fermenter/ <i>Digester</i> 2: 2 x 17 kW Schrägachsrührwerke/ <i>Incline shaft agitators</i> Nachgärer/ <i>Post digester</i> : 1 x 11 kW Zentralrührwerk/ <i>Central agitator</i> Gärrestlager/ <i>Digestate storage</i> : 2 x 15 kW Tauchmotorrührwerke/ <i>Submersible motor mixer</i> Gärrestlager/ <i>Digestate storage</i> : 1 x 15 kW Zentralrührwerk/ <i>Central agitator</i>	Fermenter/ <i>Digester</i> 1: 1 x 17 kW Schrägachsrührwerk/ <i>Incline shaft agitator</i> Fermenter/ <i>Digester</i> 2: 1 x 15 kW Tauchmotorrührwerke/ <i>Submersible motor mixer</i> Nachgärer/ <i>Post digester</i> : 1 x 17,5 kW Schrägachsrührwerk/ <i>Incline shaft agitator</i>
Eintragungssystem <i>Feeding device</i>	Feststoffdosierer 60 m ³ mit 3 vertikalen Mischschnecken, Pumpeneintragungssystem <i>Solid feeding system 60m³ with 3 vertical mixing screws, liquid feeding unit</i>	Schubboden 30 m ³ + 1 vertikale Mischschnecke, Querstromzersetzer und Pumpeneintragungssystem <i>Push floor feeding system 30 m³ + 1 vertical mixing screw, solid substrate pretreatment unit, liquid feeding unit</i>

Tab. 2

Gärbiologische Parameter der untersuchten Biogasanlagen
 Table 2: Parameters of fermentation biology for the investigated biogas plants

Anteil am täglichen Substrateinsatz Percentage of the daily substrate feed	BGA I		BGA II	
	TS-Gehalt/DM content [%]	oTS-Gehalt [% TS] oDM content [% DM]	TS-Gehalt/DM content [%]	oTS-Gehalt [% TS] oDM content [% DM]
	Maissilage/Maize silage: 60% ≈ Ø 15,3 t/d Grassilage/Grass silage: 40% ≈ Ø 10,2 t/d		Maissilage/Maize silage: 56% ≈ Ø 18,2 t/d Grassilage/Grass silage: 34% ≈ Ø 11,0 t/d Triticale-GPS/Triticale whole plant silage: 10% ≈ Ø 3,4 t/d	
Maissilage/Maize silage	36,4	97,4	25,4	96,7
Grassilage/Grass silage	27,6	86,8	33,5	91,9
Triticale-GPS/Triticale whole plant silage	-	-	22,4	93,7
Fermenter/Digester I	9,1	78,2	7,3	81,8
Fermenter/Digester II	7,9	73,4	7,5	81,8
Nachgärer/Post digester	8,8	76,3	6,5	78,9
Gärrestlager/Digestate storage	6,8	70,2	-	-
Faulraumbelastung Fermenter I + II Organic loading rate Digester I + II	2,2 kg oTS/m ³ · d ⁻¹		5,9 kg oTS/m ³ · d ⁻¹	
Verweilzeit Hydraulic retention time	182 Tage/Days		45 Tage/Days	

an den Anlagen hinsichtlich ihrer Effizienz genauer zu analysieren, wurde das Restgaspotenzial der Substrate des Nachgärers an BGA I und des Gärrestlagers an BGA II im Batchversuch mit Hilfe des Hohenheimer Biogas-Ertragstestes untersucht.

Beide Biogasanlagen realisieren einen hohen Nutzungsgrad bei der Verwertung der anfallenden Wärme. Neben der Deckung des prozessbedingten Wärmebedarfs werden jeweils auch Wohnhäuser mitversorgt. Darüber hinaus erreicht die BGA I durch die Nutzung einer Abgasnachverstromung mittels einer Organic-Rankine-Cycle(ORC)-Turbine einen Wärmenutzungsgrad von 95%. Die BGA II kann zusätzlich Wärme an einen Industriebetrieb liefern und erreicht so einen Wärmenutzungsgrad von 75%.

Ergebnisse und Diskussion

Die Berechnungen zeigen, dass die BGA I eine hydraulische Verweilzeit von 182 Tagen bei einer Raumbelastung von 2,2 kg oTS/m³ · d⁻¹ aufweist. Bei der BGA II beträgt die Verweilzeit im System 45 Tage bei einer Raumbelastung von 5,9 kg oTS/m³ · d⁻¹. Die TS-Gehalte des Substrates liegen bei BGA I zwischen 7,9 und 9,1% in den Fermentern, um 8,8% im Nachgärer und um 6,8% in den Gärrestlagern. Bei der BGA II bewegen sich die TS-Gehalte in den Fermentern um 7,3% und im Gärrestlager um 6,5% (Tabelle 2).

Die Messreihen zeigen, dass an jeder BGA eine spezielle Systemeinheit einen hohen Anteil am elektrischen Eigenenergiebedarf aufweist. Bei BGA I musste bei einer Gesamtstromproduktion von 14365 kWh/d ein Eigenstrombedarf von 9,3% aufgewendet werden. Bei BGA II stand einer Gesamtstromproduktion von 10390 kWh/d ein Eigenstrombedarf von 7,9% gegenüber. Im Speziellen zeigen die Ergebnisse, dass an der

BGA I die Systemeinheit Rührwerkstechnik mit 3,9% an der Gesamtproduktion und bei BGA II die Einbringtechnik inklusive der Intensivaufbereitung mit 3,2% den höchsten Anteil an elektrischer Hilfsenergie benötigen (Abbildung 3).

Die Einbringtechnik an der BGA I verbrauchte mit 190 kWh am Tag 1,3% des gesamten Eigenstrombedarfs. Umgerechnet auf eine Tonne Inputsubstrat ergibt sich ein Verbrauch von 6,62 kWh/t FM. Dieser Verbrauch wird maßgeblich durch die vertikalen Mischschnecken im Feststoffdosierer und durch die Einbringpumpe verursacht. Die Einbringtechnik ist an BGA II mit 3,1% Anteil am Eigenstrombedarf für den höchsten Strombedarf verantwortlich. Die Messungen zeigen einen Stromverbrauch von 10,17 kWh/t FM für das Gesamtsystem. Ein dem Gutstrom zwischengeschalteter Querstromzersetzer (QZ) verbraucht bei 32,6 t Input mit 7,29 kWh/t FM einen erheblichen Teil der aufgewendeten elektrischen Energie. Gleichzeitig zeigt die genauere Betrachtung, dass die dem QZ vorgeschalteten Komponenten Schubboden mit Dosiereinheit und Übergabeschnecke einen sehr geringen Eigenstrombedarf von 0,72 kWh/t FM aufweisen. Das Pumpensystem trägt mit 2,16 kWh/t FM zum Stromverbrauch der Systemeinheit Einbringtechnik bei.

Der Eigenstrombedarf für die Rührwerke liegt bei BGA I mit 566 kWh mehr als doppelt so hoch wie bei BGA II mit 202 kWh. Dies ist vor allem durch die großen Behältervolumen von BGA I aber auch durch die hohe Anzahl an installierten Rührwerken zu erklären. Bei beiden Anlagen zeigt sich, dass Stabrührwerke, vor allem im Vergleich zu Zentral- und Tauchmotorrührwerken, den geringsten Eigenstrombedarf aufweisen. Die Stabrührwerke verbrauchen im Durchschnitt 6,3 kWh/100 m³ Fermentervolumen am Tag. Das Zentralrührwerk in BGA I verbraucht

Tab. 3

Stromproduktion und Energiebedarf für die verschiedenen Komponenten der BGA, bezogen auf einen Durchschnittstag
 Table 3: Electrical energy production and energy demand of the different BGP components, relating to an average day

	BGA I	BGA II
Stromproduktion <i>Electric energy production</i>	13 200 kWh/d (BHKW) + 1 165 kWh/d (ORC)	10 390 kWh/d
Eigenstrombedarf <i>Electric energy consumption</i>	1 338 kWh/d	519 kWh/d
Einbringtechnik <i>Solid substrate feeding units</i>	190 kWh/d	330 kWh/d
Rührleistungsbedarf <i>Energy demand of agitator units</i>	Fermenter/ <i>Digester</i> I 6,1 kWh/100 m ³ Fermenter/ <i>Digester</i> II 6,4 kWh/100 m ³ Nachgärer I/ <i>Post Digester</i> I 14,6 kWh/100 m ³ Nachgärer/ <i>Post Digesters</i> 7,6 kWh/100 m ³	Fermenter/ <i>Digester</i> I 6,9 kWh/100 m ³ Fermenter/ <i>Digester</i> II 5,0 kWh/100 m ³ Nachgärer/ <i>Post Digester</i> 10,1 kWh/100 m ³
Stabrührwerke <i>Incline shaft agitators</i>	Ø 50 kWh/d	Ø 65 kWh/d
Tauchmotorrührwerke <i>Submersible mixer</i>	Ø 60 kWh/d	Ø 20 kWh/d
Zentralrührwerk <i>Central mixer</i>	Ø 200 kWh/d	-
BHKW <i>Combined heat and power unit (CHP unit)</i>	230 kWh/d	176 kWh/d
ORC <i>Exhaust power generation unit</i>	210 kWh/d	-

am Tag 14 kWh/100 m³ Fermentervolumen. Diese geringen Verbrauchswerte resultieren daraus, dass alle Stabrührwerke mittels eines Frequenzumrichters angesteuert werden und die großflügeligen Rührwerke mit sehr geringen Drehzahlen betrieben werden. Der Eigenstrombedarf der verbauten Motoren liegt mit 230 kWh/d bei BGA I und 176 kWh/d bei BGA II bei jeweils 1 % der erzeugten elektrischen Energie.

Das ORC-Verfahren an BGA I ermöglicht eine ganzjährige gleichmäßige Wärmeverwertung und trägt zu einer um 8 % höheren Gesamteffizienz der Anlage bei. Um dieses Anlagenaggregat zu betreiben, müssen 210 kWh/d elektrische Energie aufgewendet werden. Der systembedingte hohe Kühlaufwand im ORC-Prozess ist der Grund für den Eigenstromverbrauch in Höhe von 1,5% des gesamten produzierten Stromes. Daraus resultiert, dass 20% des durch die ORC-Anlage produzierten elektrischen Stromes als Eigenstrombedarf benötigt wird. Im ORC-Prozess wird mithilfe der aus dem BHKW gewonnen Wärme ein organisches Arbeitsmedium zum Verdampfen gebracht. Dieses wird in einem ersten Schritt mit der Wärme aus dem Kühlwasserkreislauf des BHKW vorgewärmt. In einem zweiten Schritt wird das Medium in einem Rohrbündelwärmetauscher im Gegenstrom verdampft. Zur Verdampfung des Mediums wird ausschließlich Wärme aus dem Abgas des BHKW genutzt. Nach Entspannen des Dampfes in einer Turbine wird dieser durch Kühlung wieder in den thermodynamischen Ursprungszustand überführt.

Die Analyse des Restgaspotenzials der Substrate aus den Gärrestlagern der Biogasanlagen zeigte für BGA I einen Wert von 2,48% der an der Anlage produzierten Strommenge. Bei

BGA II lag mit 8,41% ein deutlich höheres Restgaspotenzial vor, das sicherlich mit der hohen Raumbelastung und der geringen Verweilzeit des Substrates im Fermenter zu begründen ist. Hierbei liegt eindeutig eine hohe anlagenspezifische Effizienz vor, während das verwendete Substrat nur unvollständig genutzt wird.

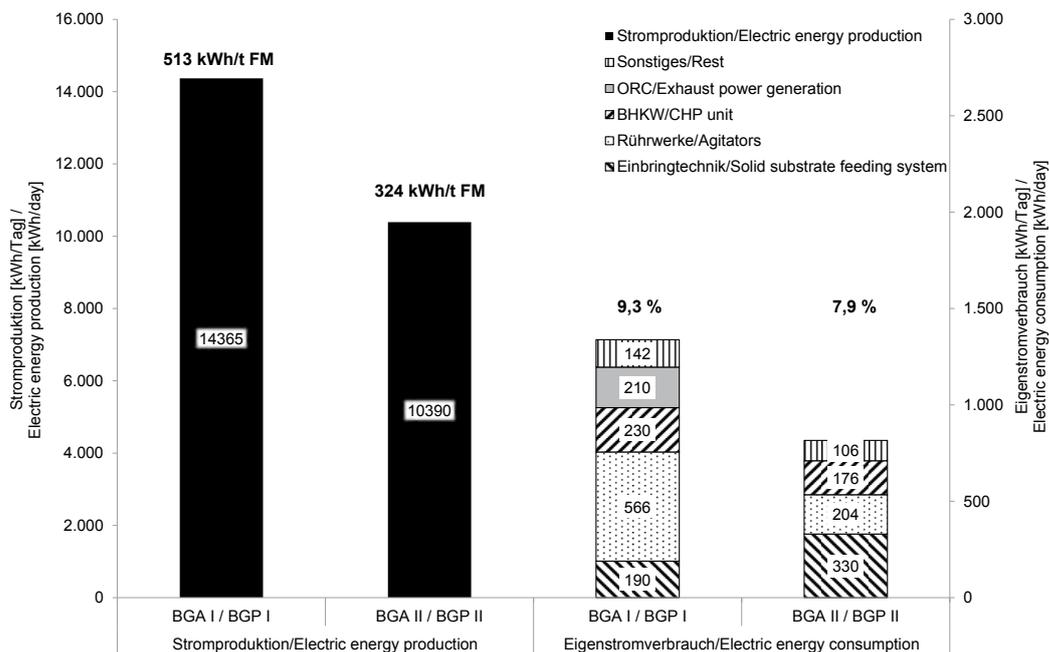
Schlussfolgerungen

Die Studie zeigt, dass sich jede Biogasanlage in ihren Details unterscheidet und dass sich spezielle Hauptverbrauchsgruppen in Abhängigkeit von der Bauart ergeben. Baugleiche Aggregate eines Herstellers weisen Abweichungen in den Verbrauchskennzahlen an den untersuchten BGA auf.

Bei der BGA I sind die Rührwerke und bei der BGA II die Einbringsysteme maßgeblich für den Eigenenergiebedarf verantwortlich. Die Kennziffer des Eigenstrombedarfes ist eine relevante Größe in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit einer BGA; sie muss jedoch immer vor dem Hintergrund des anlagenindividuellen Konzeptes betrachtet werden.

Die Aufbereitung des Substrates an BGA II wird mit dem Ziel betrieben, eine höhere Gasmenge aus einem kleinen Fermentervolumen mit einer kurzen hydraulischen Verweilzeit zu erzeugen. Ohne Aufbereitung war es in der Vergangenheit zu Problemen bei der Prozessführung gekommen. Durch das Auf Fasern der Substrate sollen diese schneller abgebaut und die Fließfähigkeit im Fermenter erhöht werden. Der geringe elektrische Hilfsenergieaufwand für das Rühren zeigt, dass das Ziel, die Fließfähigkeit zu erhöhen, erreicht wird. Ein Restgaspotenzial in Höhe von 8,41% zeigt allerdings, dass durch die hohe

Abb. 3



Eigenstromverbrauch in Bezug zur Stromproduktion der BGA I und II und der erzeugten elektrischen Energie je Tonne Substrat

Fig. 3: Electric energy consumption related to the energy production of BGP I+II and the produced electrical power per ton of substrate

Belastung im Fermenter nicht das ganze Energiepotenzial des Futtersubstrates ausgeschöpft wird und die Anlage zu klein ausgelegt ist. Dadurch gehen wertvolle Ressourcen verloren. Der zusätzliche Energiebedarf für die Substrataufbereitung kann mit einem geringeren Bedarf für die Rührleistung ausgeglichen werden. Wissenschaftliche Untersuchungen hierzu werden derzeit mit Pferdemist und anderen faserhaltigen Substraten durchgeführt [5].

Die Diskussion der erzielten Ergebnisse mit dem Betreiber der BGA I führte mittlerweile zu einer Anpassung der Laufzeitintervalle der Rührwerke. Es zeigte sich daraufhin ein um 50% geringerer Eigenstromverbrauch für die Rührwerke bei noch ausreichender Durchmischung. Die Ergebnisse belegen, dass die Kenntnis über den aktuellen Stromverbrauch der einzelnen Aggregate die Anlagenführer zu einer energetisch optimierten Fahrweise veranlasst. Untersuchungen zur optimalen Rührwerksauslegung und zu qualitativem Rühren werden derzeit in zahlreichen Forschungseinrichtungen durchgeführt.

Die Verwendung von Messtechnik ist ein wichtiger Baustein zur Steigerung der Energieeffizienz von Biogasanlagen. Durch die Optimierung der Einbringtechnik an BGA I – in Anlehnung an die effizienteren Komponenten aus BGA II – zeigt sich ein rechnerisches Einsparpotenzial von 3,4 kWh/t FM. Bei einem täglichen Einsatz von 28 t FM und einem Strompreis von 22 ct/kWh entspricht dies auf ein Jahr gerechnet etwa 7.600 €. Diese Ersparnis kann nur durch eine zusätzliche Investition in die Anlage erreicht werden.

Mit zunehmender Verteuerung der Betriebsmittel rückt die Effizienz bei Biogasanlagen immer deutlicher in den Vor-

dergrund. Die Praxis zeigt, dass Anlagenplaner und Hersteller notwendige Effizienzsteigerungen bei neuen Anlagen leider zu wenig berücksichtigen. In allen Bereichen der Biogaserzeugung besteht ein hohes Maß an Verbesserungsmöglichkeiten. Nur durch eine optimierte Messtechnik an den Praxisanlagen und weitere Forschungsarbeiten kann die Gesamteffizienz der Biogasanlagen erhöht und die Betriebsstabilität und Wettbewerbsfähigkeit verbessert werden.

Literatur

- [1] Umweltbundesamt (2011): Umstrukturierung der Stromversorgung in Deutschland. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf1/4117.pdf>, Zugriff am 10.05.2012
- [2] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2009): Biogas-Messprogramm II. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow
- [3] Hochschule Ingolstadt (2011): Abschlussbericht im Vorhaben ökologische und ökonomische Optimierung von bestehenden und zukünftigen Biogasanlagen. Hochschule Ingolstadt
- [4] Naegele, H.-J.; Lemmer, A.; Oechsner, H.; Jungbluth, T. (2012): Electric Energy Consumption of the Full Scale Research Biogas Plant "Unterer Lindenhof": Results of Longterm and Full Detail Measurements. *Energies* 5(12), pp. 5198-5214
- [5] Oechsner, H.; Mönch-Tegeder, M. (2012): Aufbereitung von faserhaltigen Substraten und Vergärung von Pferdemist. Biogas Expo & Congress, Offenburg, 24.-25.10.2012, http://www.biogas-offenburg.de/upload/media/media/160/1_Oechsner_Praesentation%5B5697%5D.pdf, Zugriff am 01.11.2012

Autoren

B. Sc. Julian Frey und **B. Sc. Fabian Grüssing** sind Masterstudenten im Studiengang Agrartechnik sowie Agribusiness, **M. Sc. Hans-Joachim Nägele** ist Doktorand an der Universität Hohenheim und **Dr. Hans Oechsner** ist Leiter der Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie Baden Württemberg der Universität Hohenheim, Garbenstraße 9, 70599 Stuttgart, E-Mail: hajo.naegle@uni-hohenheim.de