

## Auswirkungen einer integrierten Biogaserzeugung auf ökologische Betriebssysteme: Monetäre Bewertung

Blumenstein, B.<sup>1</sup>, Siegmeier, T.<sup>1</sup>, Selsam, F.<sup>1</sup>, Hofmann, F.<sup>2</sup>, Zerger, U.<sup>3</sup>, & Möller, D.<sup>1</sup>

*Keywords:* Ökolandbau, ökologische Intensivierung, Produktivitätssteigerung, Biogas.

### Abstract

*Integrated biogas production on organic farms triggers multiple agronomic effects on the entire farming system. However, common profitability analyses of agricultural biogas plants neglect the economic potential of these effects. Therefore, this paper pursues a holistic approach that also considers their monetary benefits. Model simulations of organic crop rotations, particularly considering altered nitrogen efficiency, suggest enhanced crop yields and increasing economic returns of plant production through anaerobic digestion in both stockless and livestock keeping farms.*

### Einleitung und Zielsetzung

Die Biogaserzeugung ist im Ökolandbau aufgrund vielfältiger Hemmnisse weniger verbreitet als im konventionellen Landbau. Hauptursache sind wirtschaftliche Herausforderungen, wie z. B. höhere Investitions- und Betriebsmittelkosten bei gleicher Vergütung des erzeugten Stroms (Blumenstein *et al.* 2015). Die Integration der Biogaserzeugung in einen Ökobetrieb geht allerdings – neben der Einrichtung eines neuen Betriebszweigs – mit zahlreichen positiven Effekten auf die innerbetrieblichen Stoffströme einher. Dazu gehört insbesondere eine verbesserte Stickstoff (N)-Effizienz (verringerte Verluste, höhere N<sub>2</sub>-Fixierung, gezieltere Düngung) (Siegmeier & Möller 2012). Diese kann zu Ertragssteigerungen und damit zu monetär messbaren Wirkungen im Gesamtbetrieb führen. Bei der ökonomischen Bewertung von „BioBiogas“ sind diese für die Wirtschaftlichkeit relevanten Effekte bisher unberücksichtigt geblieben. Ziel des Projekts „Biogasanlagen im Ökolandbau“<sup>4</sup> war es daher, anhand von Modellbetrieben innerbetriebliche Auswirkungen einer integrierten Biogaserzeugung zu quantifizieren und monetär zu bewerten.

### Methoden

Die monetäre Bewertung innerbetrieblicher Effekte erfolgte auf Basis eines Modells verschiedener ökologischer viehhaltender und viehloser Betriebssysteme. Ausgehend von Biogasanlagen mit unterschiedlichen Leistungsklassen (75, 250 und 500 kW<sub>a</sub>) und Inputmaterialien wurden 12 Betriebsmodelle (je sechs *mit* bzw. *ohne Biogas*) entwickelt, deren Größe (Hektar- u. Viehbesatz) anhand des Biomassebedarfs der Viehhaltung (Grünland, GL; Klee gras, KG) und der Biogasanlage (Wirtschaftsdünger: Ø 18 € t<sup>-1</sup> FM; KG: 50 € t<sup>-1</sup> FM; Grassilage: 58 € t<sup>-1</sup> FM; Roggen-GPS: 40 € t<sup>-1</sup> FM) abgeleitet wurden (vgl. dazu Blumenstein *et al.* 2015 in diesem Band). Das Verhältnis

---

<sup>1</sup> Universität Kassel, Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften, Fachgebiet Betriebswirtschaft, Steinstr. 19, 37213 Witzenhausen, [blumenst@uni-kassel.de](mailto:blumenst@uni-kassel.de), [www.uni-kassel.de/agrar/bwl](http://www.uni-kassel.de/agrar/bwl)

<sup>2</sup> Ecofys Germany GmbH, am Karlsbad 11, 10785 Berlin, [www.ecofys.com/de](http://www.ecofys.com/de)

<sup>3</sup> FiBL Projekte GmbH, Kasseler Straße 1a, 60486 Frankfurt am Main, [www.fibl.org/de](http://www.fibl.org/de)

<sup>4</sup> Die Autoren bedanken sich bei der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) für die Finanzierung des Projekts „Biogasanlagen im Ökolandbau“, gefördert mit Mitteln des BMEL.

Acker/GL beträgt prozentual bei viehhaltenden Betrieben 61:39, bei viehlosen 68:32. Der Produktionsfaktor Fläche ist begrenzt, nicht jedoch die Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital. Viehlose Betriebe *ohne Biogas* mulchen das anfallende KG, fahren es aber *mit Biogas* als Gärsubstrat vom Feld ab. Die Fruchtfolge umfasst bei jedem Betriebstyp 1./2. KG, 3. Winterweizen, 4. Kartoffeln, 5. Winterroggen, 6. Ackerbohnen-/Erbsen-Gemenge und 7. Wintergerste. Sie berücksichtigt bestmöglich Nährstoffansprüche und Verträglichkeit der Folgefrüchte (Kolbe 2008). Das Fruchtfolgenmodell bezieht Variationen von Ertrag und Betriebsgröße anhand von linearen Ertrags-Kostenfunktionen der nach KTBL (2014) standardisierten Produktionsverfahren (PV) mit ein. Auf der Basis relevanter Literatur konnten Unterschiede, insbesondere des Stickstoff-Haushaltes, zwischen Betriebssystemen *ohne* bzw. *mit* Biogasanlage abgeleitet werden (Tab. 1). Da bei der Vergärung hohe Anteile von Beikrautsamen abgetötet werden (z. B. Westerman *et al.* 2012), wurden je nach PV um bis zu 50 % verringerte Arbeitserledigungskosten für Bestandpflagemassnahmen berücksichtigt.

**Tab. 1: Quantifizierte Auswirkungen als Modellparameter für Betriebe ohne und mit Biogas**

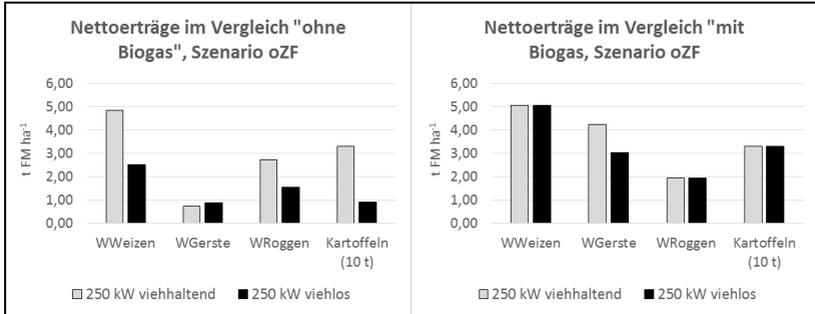
Parameter	Ohne Biogas	Mit Biogas
N-Verluste (Stall, Lager, Ausbringung)	33 % (Gülle); 44 % (Festmist)	20 %
N-Verluste durch Mulchen	19,5 %	-
rel. Änderung der N-Fixierung Kleeegras	+/-0 %	+ 20 %
Arbeitserledigungskosten	100 %	50-90 %

Das Betriebsmodell konzentriert sich auf die Auswirkungen einer veränderten N-Dynamik. Die Werte aus Tab. 1 fließen in ein jahresbasiertes, dynamisches N-Modell mit unterschiedlich schnell verfügbaren N-Pools ein. Da die GL-Erträge aufgrund des Futter- u. Substratbedarfs für Viehhaltung bzw. Biogasanlage konstant bleiben müssen, ist die N-Düngung des GL immer angepasst an die Soll-Erträge. Angelehnt an Wendland *et al.* (2012) wurden 10 %  $N_{\min}$ -Auswaschungsverluste berücksichtigt. Um diese zu begrenzen, wurden maximale N-Gaben über Wirtschaftsdünger/Biogassgülle von 200 kg N ha<sup>-1</sup> zugelassen. Dabei wurde stets die gesamtbetriebliche Menge von 170 kg N ha<sup>-1</sup> nicht überschritten ( $\emptyset$ : max. 85 kg N ha<sup>-1</sup>). Vereinfacht wurde angenommen, dass sich N-Einträge über die Atmosphäre und asymbiotische N-Bindung sowie Denitrifikationsverluste ausgleichen (Stein-Bachinger 2004). Es wurde unterstellt, dass N der alleinige ertragslimitierende Faktor ist, alle weiteren Nährstoffe (v. a. P und K) stehen in ausreichender Menge zur Verfügung. Die Ermittlung der Ackerbauerträge erfolgte stufenlos anhand einer polynomischen Ertragsfunktion mit definierten Maximalerträgen, basierend auf düngungsabhängigen Ertragsdaten (Wendland *et al.* 2012). Ausgehend vom jährlichen  $N_{\min}$ -Angebot wurde die optimierte N-Verteilung auf GL und Ackerfrüchte anhand des Excel-basierten *non-linear GRG-Solvers* zur Ermittlung eines maximierten kalkulatorischen Betriebszweigergebnisses des gesamten Ackerbaus (nach DLG 2004) durchgeführt. Zunächst nicht berücksichtigt wurden aufgrund uneinheitlicher Aussagen in der Literatur phytosanitäre Effekte einer erhöhten N-Verfügbarkeit sowie die Auswirkungen der anaeroben Vergärung von Biomasse auf den Gehalt der organischen Substanz des Bodens. Dargestellt wurden zwei Szenarien, die sich hinsichtlich des Zwischenfruchtanbaus (ZF) und des Leguminosen-Anteils im Grünland unterscheiden (Szenario *oZF*: ohne ZF, 30 % Leg. im GL; Szenario *mZF*: mit ZF Phacelia/ Senf/Leg.-Gemenge, 20 % Leg. im GL).

## Ergebnisse und Diskussion

Die integrierte Biogaserzeugung führt zu einem veränderten Gesamt-N-Angebot aus dem Bodenvorrat und der organischen Düngung. Insbesondere die viehlosen Betriebe

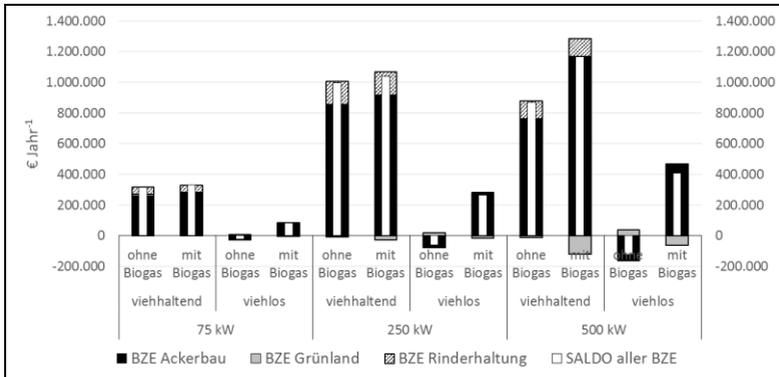
profitieren von der Vergärung der Kleegrasbestände, die nun als räumlich mobiler Dünger (Gärrest) zur Verfügung stehen. Beim viehhaltenden Betriebstyp bleibt das Gesamt-N-Angebot nahezu konstant, während sich durch die Vergärung von Wirtschaftsdünger und pflanzlichen Ko-Substraten der Anteil leichter pflanzenverfügbaren Stickstoffs erhöht. Im Systemvergleich *mit/ohne Biogas* ergeben sich *mit Biogas* Ertragssteigerungen fast aller Marktfrüchte. (Abb. 1).



**Abb. 1: Erträge (t FM ha<sup>-1</sup>) viehhaltender/viehloser Betriebe ohne/mit Biogas (250 kW)**

Da im vorliegenden Modellansatz die Maximierung des wirtschaftlichen Ergebnisses im Vordergrund steht, wird der Dünger vorzugsweise den Früchten mit vergleichsweise hohen Marktleistungen zugeteilt. Deshalb kann es in viehhaltenden Betrieben *mit Biogas* auch zu einer Senkung der Erträge einzelner Marktfrüchte (hier Roggen) zugunsten einer gewinnbringenden Ertragssteigerung anderer Früchte (hier Kartoffel, Gerste, Weizen) kommen, während in viehlosen Betrieben nun genügend mobiler Wirtschaftsdünger zur Verfügung steht, um bei allen Marktfrüchten Ertragssteigerungen zu erzielen. Ein wirtschaftlicher Vergleich *ohne/mit Biogas* zeigt, dass über alle Betriebstypen hinweg Steigerungen des kalkulatorischen Betriebszweigergebnisses des Ackerbaus durch die Integration von Biogas zu erwarten sind (Abb. 2). Der Anteil des zusätzlichen innerbetrieblichen Substratverkaufs vom Ackerbau (Kleegras, Roggen-GPS) an die Biogasanlage ist dabei nur marginal. Insbesondere viehlose Betriebe, denen bei fehlendem Zwischenfruchtanbau zu wenig N aus dem Bodenvorrat zur Verfügung steht (Szenario oZF), profitieren von der integrierten Biogaserzeugung. Bei Berücksichtigung aller Betriebszweigergebnisse des Gesamtbetriebs zeigt sich, dass die Kosten des Substratbezugs vom Grünland die Einnahmesteigerungen des Ackerbaus in keinem der Fälle übersteigen, während das wirtschaftliche Ergebnis der Rinderhaltung von der Integration einer Biogasanlage unberührt bleibt. Die Leistungssteigerungen des Ackerbaus vermögen teilweise, die erschwerten Bedingungen einer ökologischen Biogasproduktion (vgl. Blumenstein *et al.* 2015) zu kompensieren.

Hinsichtlich der methodischen Validierung des vorgestellten Modells besteht weiterer Forschungs- und Optimierungsbedarf. Die Genauigkeit der iterativen Ergebnisfindung des verwendeten *non-linear GRG-Solvers* wird als zufriedenstellend bewertet. Allerdings werden lokale Maxima und damit nicht immer zwangsläufig die besten Ergebnisse abgebildet, dies erfordert wiederholte Simulationsdurchläufe. Im Hinblick auf eine methodische Verfeinerung wären daher zukünftig die Anwendung des *Greedy-Algorithmus* oder – bei modifizierter, linearer Ertragsermittlung – ein linearer Programmierungsansatz zu prüfen, der den Wechsel einzelner Fruchtfolgeglieder hin zu Kulturen mit guter Ausnutzung des N-Potenzials und die damit einhergehenden Restriktionen hinsichtlich der Verfügbarkeit von Boden und Arbeit einbezieht.



**Abb. 2: Kalkulatorische Betriebszweigergebnisse verschiedener Betriebszweige und Betriebsgrößen ohne/mit Biogas und ohne/mit Zwischenfruchtanbau (Szenarien oZF/mZF)**

## Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, dass die Integration von Biogas durch eine verbesserte N-Effizienz zu einer erhöhten Produktivität ökologischer Betriebssysteme führen und damit zu einer - nicht unumstrittenen, aber vielfach propagierten - *öko-funktionalen Intensivierung* (Niggli *et al.* 2008) beitragen kann. Die monetäre Bewertung der innerbetrieblichen Effekte könnte zur Neubewertung der wirtschaftlichen Betrachtung ökologischer Biogasanlagen führen und dazu beitragen, produktionsbedingte Nachteile der Biogaserzeugung im Ökolandbau zu kompensieren. Trotz des methodischen Optimierungspotenzials ist der derzeitige Modellansatz in der Lage, die monetären Auswirkungen einer verbesserten N-Effizienz im direkten Betriebsvergleich aufzuzeigen.

## Literatur

- Blumenstein, B., Siegmeier, T., Hofmann, F., Gerlach, F., Zerger, U. & Möller, D. (2015): Biogas im Ökolandbau: Wirtschaftlichkeit im Spannungsfeld zwischen Produktionssystem und Politik. Beiträge zur 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau (im Begutachtungsprozess) DLG (2004): Die neue Betriebszweigabrechnung. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V. DLG-Verlag, Frankfurt am Main, 136 S.
- Kolbe H. (2008): Fruchtfolgegrundsätze im ökologischen Landbau. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.
- KTBL (2014): Online-Angebot des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. Abrufbar unter [www.ktbl.de](http://www.ktbl.de), Stand: Juli 2014
- Niggli U., Slabe A., Schmid O., Halberg N. & Schlüter M. (2008): Technology Platform Organics - Vision Research Agenda to 2025, p. 45.
- Siegmeier, T. & Möller, D. (2012): Simulation innerbetrieblicher Effekte bei der Integration von Biogasanlagen im Öko-Landbau - Ergebnisse einer Systemanalyse. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Band Nr. 47, 445-446
- Stein- Bacher, K., Bacher, J. & Schmitt, L. (2004): Nährstoffmanagement im ökologischen Landbau. KTBL- Schrift 423, KTBL Darmstadt
- Wendland, M., Diepolder, M. & Capriel, P. (2012): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland (Gelbes Heft). Hrsg: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising
- Westerman P. R., Heiermann M., Pottberg U., Rödemann B. & Gerowitt B. (2012): Weed seed survival during mesophilic anaerobic digestion in biogas plants: Seed survival in commercial biogas reactors. Weed Research, 52 (4), p. 307–316.