

Energie- und Treibhausgasbilanz der Biogasproduktion in den drei Landschaftsräumen Schleswig-Holsteins

S. Claus¹⁾, F. Taube¹⁾, A. Techow¹⁾, R. Quackernack²⁾, B. Wienforth²⁾, K. Sieling²⁾, K. Dittert⁴⁾, M. Senbayram⁴⁾, N. Svoboda³⁾, D. Nickisch²⁾, H. Kage²⁾, A. Herrmann¹¹⁾

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau

²⁾Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Acker- und Pflanzenbau

Christian-Albrechts-University zu Kiel, Hermann-Rodewald-Straße 9, D-24118 Kiel

³⁾Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung, Eberswalder Strasse 84, D-15374 Müncheberg

⁴⁾Institute of Applied Plant Nutrition, Georg-August-Ernst University zu Göttingen,

Carl-Sprengel-Weg 1, D-37075 Göttingen

sclaus@gfo.uni-kiel.de

1 Einleitung und Problemstellung

In Deutschland besteht seit Inkrafttreten des "Erneuerbare-Energien-Gesetzes" (EEG) und insbesondere dessen Novellierungen ein verstärkter Trend zur Installation von Biogasanlagen. Parallel dazu fand eine Ausdehnung des Anbaus von Silomais statt, welcher die Substratbereitstellung dominiert. So wurden im Jahr 2012 bundesweit ca. 810.000 [4] ha Silomais für die Biogasproduktion angebaut. Die Gesamt-Silomaisanbaufläche in Schleswig-Holstein umfasste 181.000 ha, wovon ca. 50% für die Biogasproduktion eingesetzt wurden. Der Maisanteil an der Ackerfläche betrug im Landesmittel 29%, regional sind jedoch Werte bis über 70% dokumentiert. Die Nutzung von Grünlandaufwüchsen und Energiefruchtfolgen zur Biogaserzeugung ist in der Praxis von geringer Bedeutung. Potentielle negative Effekte, die aus dem Maisanbau resultieren können, umfassen Stickstoffauswaschung [5] Ammoniak- und Lachgas-Emissionen bei der Lagerung und Ausbringung von Gärresten [3] Bodenerosion und Humusabbau sowie Verlust an Biodiversität. Daneben ist die Substratproduktion zur Biogaserzeugung häufig durch einen hohen Einsatz an fossilen Brennstoffen gekennzeichnet, wodurch sowohl die Energie- als auch die Treibhausgas- (THG) Bilanz negativ beeinflusst werden. Dies ist im Hinblick auf eine mögliche Zertifizierung der Biogasproduktion im Sinne der Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung von erheblicher Bedeutung, da die Nachhaltigkeit der Produktion von Biogas aus nachwachsenden Rohstoffen durch diese Faktoren stark beeinflusst wird.

Die Ökobilanz ist ein geeignetes Instrument, um die Umweltauswirkungen entlang des gesamten Lebenszyklus der Biogasproduktion aus nachwachsenden Rohstoffen detailliert zu erfassen und zu bewerten. Obwohl in Deutschland bislang verschiedene Studien zur Ökobilanzierung der Biogasproduktion durchgeführt wurden, stehen Daten für Norddeutschland, insbesondere in Bezug auf Energie- und THG-Bilanzen, nur in sehr begrenztem Umfang zur Verfügung. Ziel dieser Untersuchung war es daher, eine Ökobilanz mit Schwerpunkt auf Energie- und Treibhausgasbilanzen für die Biogasproduktion in Schleswig-Holstein auf Basis von vor Ort erhobenen Daten zu erstellen. Es soll insbesondere aufgezeigt werden, welche THG-Einsparpotentiale erzielt werden können, wenn die Bereitstellung der Substrate auf Basis von an Boden- und Klimaverhältnisse angepassten Anbausystemen erfolgt.

2 Material und Methoden

Die Studie basiert auf 2-jährigen Feldversuchen, die auf repräsentativen Standorten in den Landschaftsräumen der Marsch (Blomenkoog), der Geest (Karkendamm) und des östlichen Hügellandes (Hohenschulen) im Rahmen des Verbundprojektes Biogas-Expert durchgeführt wurden. Die jährliche Niederschlagsmenge in Hohenschulen (HS) liegt bei 750 mm, die durchschnittlichen Tages-temperatur bei 8,3 °C und der Boden kann als lessivierte Braunerde (Ss) klassifiziert werden. Die jährliche Niederschlagsmenge in Karkendamm (KS) liegt bei 844 mm mit einer Jahresmitteltemperatur von 8,3 °C. Dieser Boden kann als Gley-Podsol (Sl) klassifiziert werden. Die klimatischen Verhältnisse am Standort Blomenkoog (BK) sind durch eine Jahresmitteltemperatur von 8,2 °C und einem Jahresniederschlag von 932 mm gekennzeichnet. Der Boden kann als Gley-Podsol (Tu) klassifiziert werden. Insgesamt wurden drei Substratproduktionssysteme (s. Tab. 1) untersucht. Neben dem Einfluss der Kulturart wurde zusätzlich der Einfluss von N-Düngertyp und N-Menge (s. Tab. 1) auf Ertragsleistung und Umwelteffekte untersucht. Als Düngertypen wurden KAS und Biogas-Gärrest aus Kofermentation verwendet.

Tab. 1: *Untersuchte Fruchtfolgen und Düngemengen an den Standorten*

	Hohenschulen	Karkendamm	Blomenkoog
FF1	Mais – Mais	Mais - Mais	Mais - Mais
FF2	Mais – GPS Weizen- Gras		Mais – GPS Weizen- Gras
FF3		Ackergras (4-Schnitt)	Ackergras (4-Schnitt)
Düngung	Mais: 0, 120, 240, 360kg N ha ⁻¹		0, 100, 150kg N ha ⁻¹
	Weizen: 0, 120, 240, 360kg N ha ⁻¹		0, 240, 300kg N ha ⁻¹
	Weidelgras: 0, 160kg N ha ⁻¹		0, 80kg N ha ⁻¹
	Ackergras: 0, 160, 320, 480kg N ha ⁻¹		0, 360, 480kg N ha ⁻¹

Die Umrechnungsfaktoren zur Ermittlung des direkten und indirekten fossilen Energieinputs zur Erstellung der Energie- und Treibhausgasbilanzen sind, ebenso wie die zugrundegelegten Prozesse und Annahmen, in [1] und [2] dokumentiert. Unter Anwendung regressionsanalytischer Verfahren wurde die Beziehung zwischen N-Input und Energieinput bzw. Nettoenergiegewinn sowie Treibhausgasemission bzw. CO₂-Minderungspotential analysiert, was die Ableitung optimaler Varianten ermöglichte. Für den Energieinput bzw. -output wurde für die Standorte Hohenschulen und Karkendamm einer Exponentialfunktion (Energieinput) bzw. einer Linear-Plateau Funktion (Energieoutput) angenommen. Die Ermittlung der THG-Emissionen der Biogasproduktion (TEB) fand unter Annahme einer Exponentialfunktion statt. Der Nettoenergieoutput wurde für alle Standorte mittels Subtraktion des Inputs vom Gesamtoutput errechnet. Das THG-Minderungspotential wurde über die Differenz eines Referenzsystems zu den TEB ermittelt, welches auf der Energieproduktion aus fossilen Quellen (Strom: 0,72 kg CO₂äq./kWh, Wärme: 0,31 kg CO₂äq./kWh) basiert.

3 Ergebnisse und Diskussion

Energiebilanz: Der Vergleich der Substratproduktionssysteme am Standort Hohenschulen, sowie von Mais in Selbstfolge und dem Deutschem Weidelgras (4-Schnittnutzung) am Standort Karkendamm zeigt bei einem für Maximierung von Nettoenergiegewinn optimalen N-Input eine deutliche Überlegenheit des Mais in Selbstfolge bezüglich des Nettoenergieoutputs (NEO) von 26.5 bis 52.5 GJ ha⁻¹ (siehe Tab. 2). Dies kann auf die höheren TM-Erträge des Mais zurückgeführt werden.

Hier muss jedoch angemerkt werden, dass der Winterweizen in der Fruchtfolge auf Hohenschulen im ersten Versuchsjahr vorfruchtbedingt einen Minderertrag erzielte, und daher diese Fruchtfolge vermutlich mehr Potential hat. Für den Standort Blumenkoog belegt der Vergleich dieser Systeme eine ähnliche Situation. Die Mais-Weizen-Gras Fruchtfolge erzielte ebenfalls einen deutlich geringeren NEO im Vergleich zum Mais in Selbstfolge. Dies liegt hauptsächlich darin begründet, dass im Herbst 2008 witterungsbedingt kein Winterweizen etabliert werden konnte und der Sommerweizen einen deutlich geringeren Ertrag aufwies woraus deutlich wird, dass dieses Anbausystem mit einem Ertragsrisiko behaftet ist. Darüber hinaus konnte standortbedingt das Welsche Weidelgras nur über einen Herbstschnitt genutzt werden.

Der NEO von Mais in Selbstfolge liegt in der Marsch mit Werten von 76,4 GJ ha⁻¹ für KAS und 78,6 GJ ha⁻¹ für den Gärrest um 11 bis 23 GJ ha⁻¹ unter den im Hügelland bzw. in der Geest erzielten Erträgen. Dies kann auf die für den Mais ungünstigeren Standortbedingungen in der Marsch zurückgeführt werden, welche durch eine langsamere Erwärmung des Bodens im Frühjahr, periodisch auftretende Frühjahrstrockenheiten sowie Phasen mit Staunässe in der späten Vegetationsperiode bedingt sind. Zusätzlich ist anzumerken, dass an diesem für den Maisanbau marginalen Standort der Mais ein deutlich erhöhtes Ertragsrisiko aufweist. Der Versuch wurde insgesamt über 4 Jahre (2008-2011) durchgeführt, von denen jedoch nur zwei Jahre (2009-2010) in die Ökobilanzierung einfließen. Im Jahr 2008 war ein kompletter Ertragsverlust für den Mais zu verzeichnen, bedingt durch eine starke Frühjahrstrockenheit, die das Auflaufen des Mais stark einschränkte.

Tab. 2: Nettoenergiegewinn (NEO) (GJ ha⁻¹) und Treibhausgasminderungspotential (TMP) (kg CO₂äq ha⁻¹) bei dem für Maximierung von Nettoenergiegewinn erforderlichen N-Input (N-Opt.; kg N ha⁻¹)

FF	Ort	KAS			Gärrest		
		N-Opt.	NEO	TMP	N-Opt.	NEO	TMP
		kg N ha ⁻¹	GJ ha ⁻¹	kg CO ₂ äq ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹	GJ ha ⁻¹	kg CO ₂ äq ha ⁻¹
FF1	HS	148	94,5	11,1	132	101,5	13,3
FF2	HS	231	65,9	6,98	268	75,0	8,6
FF1	KD	142	87,5	11,1	246	93,5	11,3
FF3	KD	290	56,7	9,3	336	40,8	6,7
FF1	BK	150	76,4	10,5	152	78,6	11,3
FF2	BK	230	62,1	9,5	245	57,3	8,5
FF3	BK	360	55,2	10,6	360	38,1	8,5

Im Gegensatz zum Mais in Selbstfolge war das Ackergras in der Marsch durch eine hohe Ertragsleistung bei hoher Ertragsstabilität gekennzeichnet. Allerdings wies das über Gärrest versorgte Ackergras an allen Standorten einen deutlich geringeren Energieoutput auf als die mineralisch gedüngte Variante, was durch höhere NH₃-Emissionen [3] und geringere N-Düngewirkung des Gärrestes im Gras zu erklären ist.

CO₂ Bilanz: Das Treibhausgasminderungspotential (TMP) bei einem für Maximierung von Ertrag und Nettoenergiegewinn optimalen N-Input ist in Tab. 1 dargestellt. Hier zeigt sich, dass auf der flächenbezogenen Einheit (kg CO₂ äq. ha⁻¹) der Gärrest für den Mais in Selbstfolge an allen Standorten ein höheres TMP im Vergleich zur mineralischen N-Düngung aufweist. Auch das Anbausystem FF2 am Standort HS weist in der Gärrest-Variante ein höheres TMP auf. Dies kann auf einen

geringeren Energieaufwand und damit verbundene CO₂-Emissionen für die Düngerproduktion zurückgeführt werden. Bei der Nutzung von Grünland zur Biogasproduktion auf den Standorten HS und BK war ein umgekehrter Effekt zu beobachten. Die Düngung mit Gärresten führte zu einer geringeren THG-Einsparung im Vgl. zur Mineraldüngung, was in der deutlich geringeren N-Düngewirkung bei organischer Düngung auf Grünland begründet liegt.

Auf die Flächeneinheit (kg CO₂ äq. ha⁻¹) bezogen, stellt Mais in dieser Untersuchung demnach das Substrat dar, welches das höchste TMP aufweist. Betrachtet man die produktbezogene Einheit (kg CO₂ äq. MJ⁻¹) (Daten nicht gezeigt), stellt sich ein gegensätzliches Bild dar. Grünland ist überlegen bezüglich des TMP pro erzeugter Energieeinheit, weist aber einen geringen flächenbezogenen TMP auf. Die dokumentierten THG-Einsparungspotenziale der Anbausysteme liegen bis auf FF2 in HS bei Mineraldüngung (48 Prozent), alle über 50%. Damit erfüllen nahezu alle untersuchten Anbausysteme die ab 2017 von der Biomassekraftstoff bzw. Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung geforderten Minderungspotenziale von 50%. In Anbetracht zunehmender Flächenknappheit sowie Flächenkonkurrenz in Bezug auf die „Tank-Teller-Diskussion“, sollte jedoch überdacht werden, ob eine Maximierung des TMP auf Basis der Energiebezogenen Einheit sinnvoll ist.

4 Schlussfolgerungen

Bereits vorhandene Studien sind oft durch stark vereinfachende Annahmen für Erträge und klimarelevanten Emissionen gekennzeichnet. Die profunde Datenbasis dieser Studie stellt aufgrund ihrer regionalen Differenzierung ein Alleinstellungsmerkmal dar und stellt daher eine hohe Belastbarkeit der abgeleiteten Aussagen sicher. Zusammenfassend zeigt die ökobilanzielle Betrachtung der Biogasproduktion auf, dass alle Anbausysteme einen Energiegewinn ebenso wie TMP aufweisen. In Bezug auf die Energie- und CO₂-Bilanz belegen die Ergebnisse eine Vorzüglichkeit des Maises für die Standorte HS und KD, dies jedoch nur unter einer an die Standortbedingungen angepassten Substratproduktion und optimierten N-Versorgung im Sinne der Nachhaltigkeit der Biogasproduktion. Hieraus wird deutlich, dass aufgrund von Trade-offs zwischen lokalen und globalen Umweltgütern eine regional differenzierte Priorisierung von Umweltschutzziele (Luft, Wasser, Emissionen) erforderlich ist.

5 Literatur

- [1] CLAUS, S., WIENFORTH, B., SIELING, K., KAGE, H., TAUBE, F. und HERRMANN, A. (2011): Energiebilanz im Lebenszyklus der Biogasproduktion aus Energiepflanzen unter den Anbaubedingungen Schleswig-Holsteins. Mitt. AGGF 12, 128-133.
- [2] CLAUS, S., WIENFORTH, B., SIELING, K., KAGE, H., SENBAYRAM, M., DITTERT, K., TAUBE F. and HERRMANN, A. (2012): Greenhouse gas balance of bioenergy cropping systems under the environmental conditions of Schleswig-Holstein. Grassland Science in Europe, 17, 601-603.
- [3] QUAKERNACK, R., PACHOLSKI, A., TECHOW, A., HERRMANN, A., TAUBE, F. and KAGE, H. (2011): Ammonia volatilization and yield response of energy crops after fertilization with biogas residues in a coastal marsh of Northern Germany. Agriculture, Ecosystems and Environment. Doi:10.1016/j.agee.2011.05.030.
- [4] RATH, J., HEUWINKEL, H. and HERRMANN, A. (2013): Specific biogas yield of maize can be predicted by the interaction of four biochemical constituents. BioEnergy Research, 1-14.

- [5] SVOBODA, N. (2011): Auswirkung der Gärrestapplikation auf das Stickstoffauswaschungspotential von Anbausystemen zur Substratproduktion. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Deutschland.