

Energie- und Emissionsbilanz von Anbausystemen für Energiepflanzen zur Biogaserzeugung

Lars Klingebiel, Reinhold Stülpnagel, Lutz Bühle, Rüdiger Graß, Michael Wachendorf

FACHGEBIET GRÜNLANDWISSENSCHAFT UND NACHWACHSENDE ROHSTOFFE,
UNIVERSITÄT KASSEL,
Steinstr. 19, 37213 Witzenhausen; klingebiel@uni-kassel.de

1. Einleitung und Problemstellung

Die Anzahl von Biogasanlagen ist in den letzten Jahren stark angestiegen. Die damit verbundene Zunahme des Anteils an Mais in der Fruchtfolge bringt allerdings ökologische Nachteile mit sich und stößt in der Bevölkerung z. T. auf Widerstand. Daher ist es nötig, den Betreibern von Biogasanlagen mögliche Alternativen zum Maisanbau zu bieten, um Fruchtfolgen erweitern zu können. In dem Verbundprojekt EVA (Förderung durch BMELV über Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe), in dem sie erarbeitet werden sollen, werden im Teilprojekt 6 verschiedene Pflanzenarten in unterschiedlichen Anbausystemen untersucht (STÜLPNAGEL, 2012). Hierin wird der Anbau von Mais und Sonnenblumen im Hauptfruchtanbau nach Senf dem Anbau in Zweikulturnutzung nach Winterroggen gegenübergestellt. Zur Bewertung dieser Alternativen werden Energie- und Emissionsbilanzen mit dem gegenwärtig verfügbaren Datenmaterial und aufbauend auf BÜHLE et al. (2011) berechnet sowie die jeweiligen Einsparpotenziale an fossilen Energieträgern und Treibhausgasen ermittelt.

2. Material und Methoden

Der Systemversuch zur Zweikulturnutzung zum Vergleich mit dem Hauptfruchtanbau wurde von Herbst 2005 bis Herbst 2009 (bzw. von 2005 bis 2008 in Gülzow) durchgeführt. Um möglichst viele Umwelten (unterschiedliche Bodenarten, Temperatur, Wasserversorgung, Vegetationszeit und Einstrahlung) mit einbeziehen zu können, wurde der Anbau an sieben Standorten in Deutschland in vier bzw. drei Jahren (Gülzow) geprüft (HEUSER, 2010, STÜLPNAGEL, 2012):

- Dornburg / Thüringen (Parabraunerde, 65 Bodenpunkte (BP), Ø 564 mm a⁻¹, 9,2°C, 2.524 Wh m⁻² Tag⁻¹)
- Gülzow / Mecklenburg-Vorpommern (Kolluvium-Pseudogley, 45 BP, Ø 580 mm a⁻¹, 9,2°C, 2.669 Wh m⁻² Tag⁻¹)
- Haus Düsse / Nordrhein-Westfalen, (Haftpseudogley-Parabraunerde; 72 BP, Ø 824 mm a⁻¹, 9,7°C, 2.657 Wh m⁻² Tag⁻¹)
- Rauschholzhausen / Hessen (Parabraunerde-Haftpseudogley; 65 BP, Ø 660 mm a⁻¹, 9,7°C, 2.588 Wh m⁻² Tag⁻¹)
- Straubing / Bayern (Parabraunerde; 76 BP, Ø 682 mm a⁻¹, 8,7°C, 3.041 Wh m⁻² Tag⁻¹)
- Werlte / Niedersachsen (Braunerde; 31 BP, Ø 794 mm a⁻¹, 9,0°C, 2.637 Wh m⁻² Tag⁻¹)
- Witzenhausen / Hessen (Haftnässe Parabraunerde-Braunerde; 80 BP, Ø 629 mm a⁻¹, 8,2°C, 2.712 Wh m⁻² Tag⁻¹).

Im Hauptfruchtanbau wurden Mais und Sonnenblumen nach der Sommerzwischenfrucht Senf, die im Herbst ausgesät und als abfrierender Mulch bis im Frühjahr als Erosionsschutz und Humuslieferant auf dem Feld verblieb, angebaut. Dies wird verglichen mit dem Anbau von Mais und Sonnenblumen in der Zweikulturnutzung nach Winterroggen als Erstkultur, der im Herbst ausgesät und in der Milchreife geerntet wurde. Winterroggen, Mais und Sonnenblume werden als Ganzpflanze zur Silagebereitung für die Biogaserzeugung mit anschließender Gasverbrennung in Kraft-Wärme-Kopplung (Gas-Otto-Motor) genutzt. Unter Einbeziehung entstehender Lagerungsverluste (KTBL, 2007) wird die Menge an Biogas aus der Silage berechnet und daraus die Menge an Strom und Wärme abgeleitet.

Basis für die Energie- und Emissionsbilanzen sind neben den jeweiligen Jahreserträgen alle Bewirtschaftungsmaßnahmen und dessen Bedarf an Dieseldieselkraftstoff (KTBL, 2009). Der verbrauchsspezifische Gesamtenergiebedarf und die damit verbundenen verbrauchsspezifischen Emissionen der Anbautechnik, der Saatgut-, Dünger-, Pflanzenschutz- und Dieselpflege sowie die Emissionen aus fossiler Stromproduktion als Hilfsenergie im vorgelagerten Bereich wurden mit dem „Globalen Emissionsmodell integrierter Systeme“ (GEMIS, 2011) berechnet.

Die Bruttoenergieproduktion setzt sich aus der Produktion von Strom und Wärme aus dem gewonnenen Biogas des Nettoertrags an Silage (abzüglich Silierverluste) zusammen. Von dieser werden der Dieserverbrauch für Anbau, Ernte und Bereitstellung der Kulturen einschließlich Vorleistungen für die Pflanzenproduktion sowie den Energieeinsatz in Form von Strom zum Betrieb der Biogasanlage abgezogen, um den Gewinn an Nettoenergie zu erhalten. Dieser Eigenstromverbrauch setzt sich zusammen aus dem Betrieb von Rührwerken, Pumpen, Feststoffeintrag, Fermenteraggregate, Umwälzpumpen für die Fermenterbeheizung und des Eigenstrombedarfs des BHKW (BIOGASMESSPROGRAMM, 2005). Der Verbrauch an Eigenwärme beinhaltet den Wärmebedarf zur Silageerwärmung, zur Fermenterheizung und den Wärmeverlust.

3. Ergebnisse und Diskussion

Im Mittel aller Standorte und Jahre wurden mit der Zweikulturnutzung sowohl mit Mais als auch mit Sonnenblumen nach Winterroggen höhere Jahreserträge erzielt als in der Hauptkulturnutzung. Der durchschnittliche Ertrag des Senfs in der Hauptkulturnutzung von 2 t TM ha^{-1} ist nicht mitgerechnet worden, da der Senf als Erosionsschutz und Humuslieferant nicht zur Energiegewinnung genutzt wurde. Die Anbaumaßnahmen sind aber im Dieserverbrauch und in den resultierenden Treibhausgas-Emissionen enthalten (Tab. 1).

Aufgrund des höheren Aufwandes für Anbau und Ernte von Winterroggen im Vergleich zum Anbau von Senf ist der Dieserverbrauch in der Zweikulturnutzung höher als im Hauptfruchtanbau. Die höchste Brutto- sowie Nettoenergieproduktion wurde mit Winterroggen als Erstkultur und Mais als Zweitkultur erzielt. Trotz nahezu Ertragsgleichheit zwischen Winterroggen gefolgt von Sonnenblumen und Mais im Hauptfruchtanbau war der Energiegewinn mit Mais im Hauptfruchtanbau größer (Tab. 1). Grund hierfür ist die geringere Verdaulichkeit der organischen Substanz der Sonnenblume. Allerdings gibt es hier Unterschiede zwischen den Standorten aufgrund von Ertragsunterschieden. So konnte an den Standorten Dornburg und Gülzow im Mittel aller Jahre auch mit der Sonnenblume als Zweitkultur und dem Winter-

roggen als Erstkultur eine höhere Energieproduktion aus den Daten abgeleitet werden als mit Mais nach Senf. Die Maiserträge waren dort mit nur 16,2 t TM ha⁻¹ im Mittel über alle Jahre im Vergleich zu den anderen Standorten (Ø 21,2 t TM ha⁻¹) deutlich geringer.

Tab. 1: Übersicht zum Jahresertrag, zur Energieproduktion (brutto, netto), zum Energieeinsatz und zu den Einsparmöglichkeiten (brutto, netto) an Treibhausgasen (THG) in den beiden Anbausystemen im Mittel aller Standorte und Jahre

	Hauptkulturnutzung nach Senf		Zweikulturnutzung nach Winterroggen	
	Mais	Sonnenblume	Mais	Sonnenblume
Jahresertrag (t TM ha ⁻¹)	19,9	13,0	23,4	20,5
Bruttostromproduktion (kWh ha ⁻¹)	23.091	13.735	26.292	22.269
Bruttowärmeproduktion (kWh ha ⁻¹)	25.978	15.451	29.578	25.053
Σ Bruttoenergieproduktion (kWh ha ⁻¹)	49.069	29.186	55.870	47.322
Eigenstromverbrauch (kWh ha ⁻¹)	974	580	1.110	940
Eigenwärmeverbrauch (kWh ha ⁻¹)	21.431	12.955	24.496	20.854
Dieserverbrauch (kWh ha ⁻¹)	2.017	1.846	2.410	2.171
Σ Eigenenergieeinsatz (kWh ha ⁻¹)	24.422	15.380	28.016	23.965
Nettoenergieproduktion (kWh ha ⁻¹)	24.647	13.806	27.854	23.358
THG-Emission (kg _{CO2-äq} ha ⁻¹)	3.817	2.590	5.749	4.954
Bruttoeinsparung (kg _{CO2-äq} ha ⁻¹)	23.512	13.922	26.742	22.619
Nettoeinsparung (kg _{CO2-äq} ha ⁻¹)	19.695	11.331	20.993	17.665

Wird der Nettoenergiegewinn dem Primärenergiebedarf gegenübergestellt, der für die Gewinnung von Strom und Wärme im gleichen Umfang aus fossilen Energieträgern nötig wäre (GEMIS, 2011), können hieraus im Mittel aller Standorte und Jahre Nettoenergieeinsparungen beim Zweikulturanbau mit Winterroggen und Mais von über 73.000 kWh ha⁻¹ abgeleitet werden. Die Einsparungen an fossiler Energie mit Mais im Hauptfruchtanbau und Winterroggen mit Sonnenblume sind mit 65.000 bzw. 62.000 kWh ha⁻¹ deutlich geringer. Mit der Sonnenblume im Hauptfruchtanbau lässt sich nur fossile Energie im Umfang von ca. 40.000 kWh ha⁻¹ einsparen (Abb. 1).

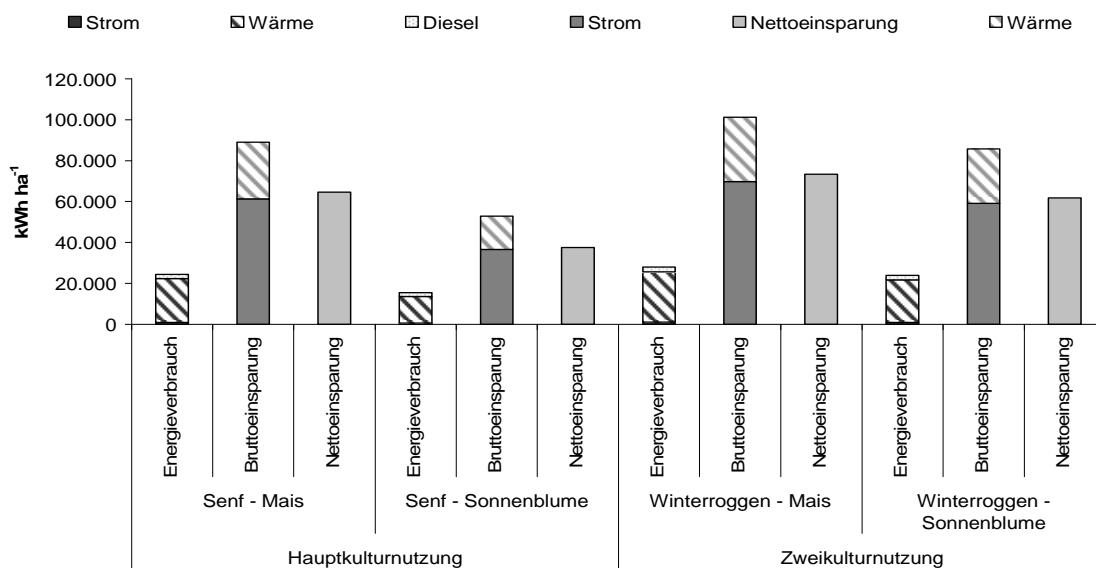


Abb. 1: Energieeinsparpotenzial im Mittel aller Standorte und Jahre (2006 – 2009)

Mit dem Anbau von Ackerkulturen und mit dem Betrieb einer Biogasanlage entstehen Emissionen. Diese wurden den Emissionen gegenübergestellt, die im Rahmen der Produktion der gleichen Menge an Strom und Wärme aus fossilen Energieträgern frei werden (GEMIS, 2011). Aufgrund des höheren Aufwandes für Anbau und Ernte in der Zweikulturnutzung ergeben sich höhere Treibhausgasemissionen als in der Hauptkulturnutzung (Tab. 1). Jedoch kann mit Winterroggen als Erstkultur und dem Mais als Zweitkultur durch den höheren Nettoenergiegewinn mehr an Treibhausgasen eingespart werden als im Hauptfruchtanbau mit Mais. Die Minderung der Emission an Treibhausgasen ist beim Anbau von Sonnenblume in Hauptfrucht oder als Zweitkultur im Mittel aller Standorte und Jahre geringer als beim Anbau von Mais (Abb. 2). Allerdings waren auch hier an den Standorten Dornburg und Gülzow die Einsparpotentiale mit Mais im Hauptfruchtanbau geringer als in der Zweikulturnutzung.

Während im Rahmen von Energie- und Emissionsbilanzen die Ergebnisse auf den mengen-spezifischen Energieverbräuchen auf der Basis der Ernteerträge beruhen, fließt im Rahmen der ökonomischen Analyse neben der Berücksichtigung der Menge bzw. Masse an Erntegut auch der Faktor Zeit ein. Insbesondere die zweimalige Ernte in der Zweikulturnutzung führt zu höheren Kosten je Tonne Erntegut (AURBACHER und KORNTATZ, 2012; KTBL, 2009), aus der höhere Gesamtkosten bei einer Zweikulturnutzung resultieren. Daher bedarf es mit der Zweikulturnutzung noch deutlicherer Mehrerträge, damit nicht nur eine größere Umweltentlastung zu verzeichnen ist, sondern auch durch höhere Deckungsbeiträge dieses Verfahren empfohlen werden kann und von der Praxis angenommen wird.

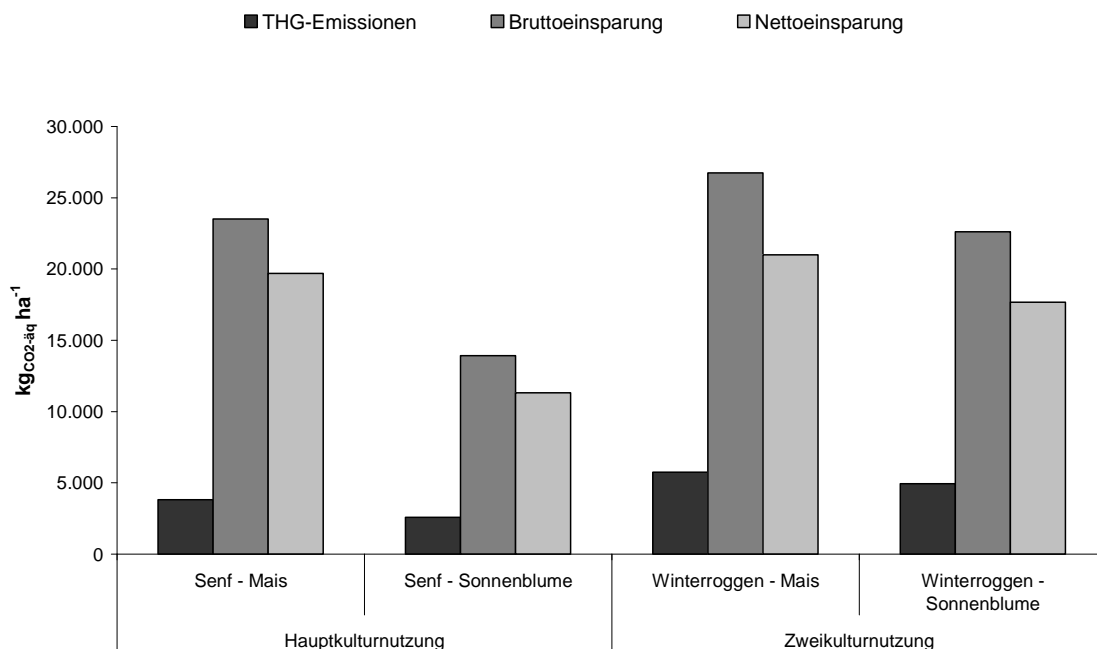


Abb. 2: Einsparpotenzial an Treibhausgasemissionen im Mittel aller Standorte und Jahre (2006 – 2009)

4. Schlussfolgerungen

Mit dem Betrieb von Biogasanlagen lassen sich fossile Energieträger und Treibhausgase einsparen. Die Zweikulturnutzung mit Winterroggen als Erstkultur und Mais als Zweitkultur war an allen Standorten dem Mais im Hauptfruchtanbau überlegen. Die Sonnenblume in Zweikulturnutzung kann regional zu guten Ergebnissen führen. Dagegen bietet der Anbau der Sonnenblume als Hauptfrucht für den Biogasanlagenbetreiber noch keine Alternative.

5. Danksagung

Wir danken dem Fördermittelgeber, dem Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) und der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) für die Finanzierung der Untersuchungen und für ihre Begleitung des Vorhabens.

Literatur

- AURBACHER, J., KORNAZ, P. (2012): Persönliche Mitteilung (Institut für Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft, Universität Gießen) sowie Zwischenbericht 2011 zur ökonomischen Begleitforschung zum Verbundvorhaben EVA II an die FNR, Mai 2012
- BIOGASMESSPROGRAMM (2005): Ergebnisse des Biogasmessprogramms. Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)
- BÜHLE, L., STÜLPNAGEL, R., WACHENDORF, M. (2011): Comparative life cycle assessment of the integrated generation of solid fuel and biogas from biomass (IFBB) and whole crop digestion (WCD) in Germany. *Biomass and Bioenergy* 35, 363 – 373
- GEMIS (2011): Globales Emissions-Modell integrierter Systeme Version 4.6
- HEUSER, F. (2010): Prüfung des Zweikultur-Nutzungssystems für die Bereitstellung von Energiepflanzen auf sieben Standorten in Deutschland. *Dissertation* Universität Kassel, FB 11
- KTBL (2007): Faustzahlen Biogas. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. Darmstadt.
- KTBL (2009): Faustzahlen für die Landwirtschaft. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. Darmstadt. 14. Auflage
- STÜLPNAGEL, R. (2012): Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V (FNR). Verbundvorhaben EVA – Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands, Teilprojekt 6. <http://www.eva-verbund.de/struktur/zweikulturnutzungs-und-oekoversuch.html>