

Energie- und CO₂-Bilanz für Silomais zur Biogaserzeugung vom Anbau bis zur Stromeinspeisung

B. Eder¹, C. Papst¹, B. Darnhofer¹, J. Eder¹, H. Schmid² und K.J. Hülsbergen²

¹ Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Am Gereuth 4, 85354 Freising, Deutschland

² Wissenschaftszentrum Weihenstephan der TU München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Alte Akademie 12, 85353 Freising, Deutschland

Die weltweit knapper werdenden Reserven an fossiler Energie machen es erforderlich, andere Energieformen zu erschließen. Erneuerbare Energien pflanzlichen Ursprungs können hier einen wesentlichen Beitrag leisten. Sie können klimaschonend erzeugt werden und tragen deshalb nicht zur Erhöhung der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre bei. In Deutschland steht derzeit die Biogaserzeugung aus landwirtschaftlichen Produkten im Vordergrund. Dabei ist Silomais die den Anbau dominierende Pflanzenart.

Die Zielsetzung der vorliegenden Studie ist es, die Energieeffizienz von Silomais für die Stromproduktion unter Berücksichtigung der vollständigen Produktionskette zu bestimmen. Bei der Betrachtung der CO₂-Emissionen wurden nicht nur die energiebedingten Emissionen berücksichtigt, sondern z.B. auch der Humusabbau unter Mais, der das Ergebnis deutlich beeinflusst.

In einem zweijährigen Feldversuch mit zwei Sorten unterschiedlicher Reifeinstufung wurde dazu ein Düngerversuch mit zwei Düngerarten und drei Düngerstufen an zwei Standorten in Bayern angelegt. Als Dünger kamen Mineraldünger und der Gärrest einer Biogasanlage mit Mais als Hauptsubstrat zum Einsatz. Aus den Ertragsergebnissen und Felddaten wurde mit Hilfe des Modells REPRO eine Energie- und CO₂-Bilanzierung des Anbaus durchgeführt. Zur Abschätzung der weiterführenden Prozesskette bis zur Biogaserzeugung und Stromeinspeisung dienten Literaturwerte. Dem Energieverbrauch des Silomaisanbaus und der Biogasanlage wurde die Energieerzeugung durch die Stromproduktion aus Silomais gegenüber gestellt. Analog dazu wurde die CO₂-Bilanzierung mit den Inputgrößen Energieeinsatz, direkte Emissionen, C-Sequestrierung und Substitution durchgeführt.

Tab. 1: Kennzahlen der Energiebilanz von Silomais zur Stromerzeugung aus Biogas in Abhängigkeit der Düngerart

Kennzahl	ME	Null	MD	OD	MW
Ernteertrag	dt TM ha ⁻¹	213	240	241	236
Energiebindung Biomasse	GJ ha ⁻¹	390	440	444	435
Energieeinsatz – gesamt	GJ ha ⁻¹	23,9	30,4	26,7	27,9
1. Maisproduktion	GJ ha ⁻¹	8,4	12,9	9,2	10,7
Mineral-/organische Dünger	GJ ha ⁻¹	1,5/0,0	5,8/0,0	1,5/4,9	3,3/2,1
2. Bau & Betrieb der Biogasanlage	GJ ha ⁻¹	15,5	17,4	17,5	17,2
Energieerzeugung (Strom brutto)	GJ ha ⁻¹	84,0	94,7	95,1	93,3
Energieoutput (Strom netto)	GJ ha ⁻¹	60,1	64,4	68,4	65,5
Energieintensität (Energieeinsatz pro kWh erzeugt)	MJ kWh _{el} ⁻¹	1,0	1,2	1,0	1,1
Output/Input-Verhältnis		2,5	2,1	2,6	2,3

* Null: Nullparzelle mit 30 kg N ha⁻¹ zur Saat, MD: Mineral. Düngung, OD: Organ. Düngung mit Gärrest, MW Mittelwert

Insgesamt zeigte sich, dass von der in der Mais-Pflanzenmasse gebundenen Energie im Mittel von ca. 435 GJ ha⁻¹, nur ca. 28 GJ ha⁻¹ für die Prozesskette Anbau bis Bau & Betrieb benötigt wurden (Tab. 1). Die höchsten Energieverluste entstanden bei der Biogas- bzw. Stromerzeugung aus dem Substrat. Die Energiebilanz war mit einem Output/Input-Verhältnis von rd. 2,3 deutlich positiv. Die Düngerart hatte keinen Einfluss auf die Ertragshöhe. Die hohen Erträge (auch der Nullvariante) sind auf die gute N-Versorgung in den Vorjahren und auf das hohe N-Nachlieferungsvermögen der Böden zurück zu führen. Die mineralische Variante zeichnete sich durch einen um 4 GJ ha⁻¹ höheren Energieeinsatz aus. Dadurch war sie der organischen Variante unterlegen. Neben der Variante ohne Düngung zeigte die geringste Energieintensität die organisch gedüngte Variante. Diese benötigte bei einem hohen Ertragsniveau einen vergleichsweise geringen Energieeinsatz. Hinsichtlich Energieverbrauch (Ressourcen), Energieintensität (Effizienz) und im Output/Input-Verhältnis ließ sich eine deutliche Überlegenheit der organischen Düngervariante nachweisen. Eine 30%ige Wärmenutzung führte zu einer Verdoppelung der Effizienz (Output/Input-Verhältnis von 4,6; nicht dargestellt) und zeigt den Einfluss der Wärmenutzung auf die Effizienz.

Die Nutzung von Silomais zur Stromerzeugung aus Biogas führte zur Reduktion von klimarelevanten Emissionen in Höhe von etwa 8400 kg CO_{2äq} ha⁻¹ durch die Substitution einer entsprechenden Strommenge unter den Bedingungen des deutschen Strommixes (Tab. 2). Die C-Freisetzung des Bodens schlug mit nahezu 70 % der CO₂-Emissionen aus der Maisproduktion sehr stark zu Buche. Zwischenfrüchte und weitgestellte Fruchtfolgen sind daher beim Maisanbau unabdingbar für eine klimafreundliche und nachhaltige Energieproduktion.

Tab. 2: Kennzahlen der CO₂-Bilanz von Silomais zur Stromerzeugung aus Biogas in Abhängigkeit der Düngerart

Kennzahl	ME	Null*	MD	OD	MW
Ernteertrag	TM dt ha ⁻¹	213	240	241	236
Energiebindung	GJ ha ⁻¹	390	440	444	435
Methanertrag	m ³ ha ⁻¹	6665	7517	7545	7408
Stromertrag	kWh _{el} ha ⁻¹	23328	26308	26407	25928
Einsatz fossiler Energie	GJ ha ⁻¹	8	13	14	13
N-Zufuhr (ohne NH ₃ -Verluste)	kg N ha ⁻¹	49	163	151	142
Δ C Humus	kg Hu-C ha ⁻¹	-1177	-1177	-818	-1023
CO ₂ -Emissionen Energieeinsatz	kg CO _{2äq} ha ⁻¹	573	835	621	706
N ₂ O-Emissionen	kg CO _{2äq} ha ⁻¹	286	948	879	824
C-Freisetzung Boden	kg CO _{2äq} ha ⁻¹	4321	4321	3001	3755
CO ₂ -Emissionen Maisanbau	kg CO _{2äq} ha ⁻¹	5179	6105	4501	5285
CO ₂ -Emissionen Bau & Betrieb	kg CO _{2äq} ha ⁻¹	2286	2578	2588	2541
CO ₂ -Emissionen Substitution dt. Strommix	kg CO _{2äq} ha ⁻¹	-14626	-16495	-16557	-16257
CO ₂ -Bilanz-Saldo	kg CO _{2äq} ha ⁻¹	-7161	-7813	-9468	-8431

* Null: Nullparzelle mit 30 kg N ha⁻¹ zur Saat, MD: Mineral. Düngung, OD: Organ. Düngung mit Gärrest, MW Mittelwert