Ökonomische Effekte von Substraten, Boni und Pflanzenkohle auf die Biogasproduktion

Das Vergären von Wirtschaftsdünger (WD) wie Gülle und Mist wird durch die EU über die sogenannten RED II und III angereizt. Im Fokus sind dabei die Treibhausgasgutschriften. Die Biomethanproduktion mit CO_2-Verflüssigung wird hier adressiert. Die Analyse zeigt, dass stickstoffreiche WD mit einer gewissen Menge Pflanzenkohle versetzt, gärbiologisch funktionieren und wirtschaftlich erfolgreich sein können.

Von Dip.-Des. Rainer Casaretto, Dr. Hans Korte und Dr. Jan Sprafke

In der Vergangenheit waren feste Preise für den eingespeisten Strom aus Biogasanlagen (BGA) durch staatliche Förderung (Erneuerbare-Energien-Gesetz, EEG) garantiert. Die erste Förderperiode endet für einige Anlagen bereits und wird viele weitere Anlagen in naher Zukunft betreffen. Durch die politische Neubewertung von Treibhausgasen (THG), ausgedrückt in Kohlenstoffdioxid-(CO_2)-Äquivalenten (CO_2-Äq.), sollen die Entstehung von THG aus fossilen Quellen reduziert und nachhaltige, THG-freie oder -reduzierte Energieformen gefördert werden.
Die Förderung ist direkt an die CO_2-Äq.-Einsparung beziehungsweise Vermeidung gebunden und wird nach den Regeln der EU-Richtlinie für erneuerbare Energien (Renewable Energy Directive, RED III) als Boni in Form der erzeugten Energiemenge in Megajoule $(MJ)_{(Hi)}$ berechnet (siehe Tabelle 1 auf Seite 62, Zeile 21). Die Förderung selbst erfolgt über die Boni, die beim Verkauf des aufbereiteten Biogases auf den Verkaufspreis angerechnet und somit vom Käufer vergütet werden. Zu beachten und zu berechnen ist dabei, dass der Verkauf der Energie auf Kilowattstunden $(kWh)_{(Hs)}$ basiert, also die $MJ_{(Hi)}$ der Boni in $kWh_{(Hs)}$ umgerechnet werden müssen. Hinweis: Hi, der Index „i" steht für inferior oder unterer Heizwert. Hs der Index „s" steht für superior oder oberer Heizwert.

Nachhaltige Einstufung landwirtschaftlicher Reststoffe
Aufgrund dieses monetären Anreizes werden einige BGA umstrukturiert und auf die Aufbereitung von Biomethan und manche zusätzlich auf die Verflüssigung von CO_2 umgestellt. Um die THG-Vergütung zu erhalten, müssen die eingesetzten Rohstoffe als nachhaltig anerkannt sein. Mais, bislang der Hauptrohstoff für die Biogaserzeugung, gilt zum Beispiel nicht als nachhaltig, weil die für den Aufwuchs eingesetzten Flächen ebenfalls für Nahrungs- und/oder Futtermittel eingesetzt werden könnten. Die Verwendung von Reststoffen, wie zum Beispiel Gülle/Mist, inklusive des darin enthalten sein könnenden Strohs, werden hingegen als nachhaltig eingestuft.
Weil der landwirtschaftliche Sektor in Deutschland etwa 200 Millionen Tonnen Gülle/Mist pro Jahr „produziert", wovon etwa ein Viertel bis ein Drittel bereits für Biogas genutzt wird, soll möglichst viel Gülle/Mist „technisch verarbeitet" werden, um die Methanausbreitung in die Atmosphäre nach Ausbringung von Wirtschaftsdünger (Gülle/Mist) auf die Felder zu vermeiden (der THG-Faktor von Methan (CH_4) ist 25-mal höher im Vergleich zu CO_2).

Potenziell mehr WD-Vergärung möglich
Potenziell könnte ein weiteres Drittel an Gülle/Mist ebenfalls in den bestehenden Biogasanlagen genutzt werden, was aber zur Folge hat, dass über Gülle/Mist mehr Protein in die Anlagen eingebracht wird, das bei seinem Abbau unter anderem in Ammoniak und Ammonium umgewandelt wird. Beide Stoffe können die anaerobe Vergärung hemmen und damit die Ausbeute reduzieren.
Um dem entgegenzuwirken, kann Pflanzenkohle als Additiv dem Prozess zugegeben werden. Eine wissenschaftliche Veröffentlichung der Universität Rostock zur Wirkung von Pflanzenkohle im Fermentationsprozess mit hohen Gülle/Mist-Anteilen ist in Vorbereitung. Dem technischen Anreiz zum Einsatz von Pflanzenkohle stehen die Kosten für deren Bezug entgegen. Unter ökonomischen Gesichtspunkten ist der Einsatz von Pflanzenkohle deshalb begrenzt. Um die ökonomischen Auswirkungen der Biogasaufbereitung, der CO_2-Verflüssigung sowie der Applikation von Pflanzenkohle zu eruieren, werden nachfolgend drei Gülle/Mist-Varianten miteinander verglichen (siehe Tabelle 1). In der ersten Variante werden als theoretisches Beispiel 100 Prozent Schweinegülle vergoren, in den beiden folgenden Varianten sind es Kombinationen aus Geflügel- und Rindermist. Einmal ohne und einmal mit Zugabe von Pflanzenkohle. Ein besonderes Augenmerk wird auf die Energiedichte der eingesetzten Substrate gelegt.

Ausgangssituation
Bei der modellhaft betrachteten BGA handelt es sich um eine bestehende, nachwachsende Rohstoffe (NawaRo) einsetzende, BGA, die um eine Biogasaufbereitungsanlage (BGAA) und eine CO_2-Verflüssigung erweitert werden soll. Die BGAA dient dem Zweck der Erzeugung des fortschrittlichen (und förderfähigen) Kraftstoffs Biomethan, der fossiles Methan ersetzen kann und dessen THG-Einsparung deshalb bilanziert werden kann. Zusätzlich wird CO_2, das bislang über die KWK-Motoren in die Atmosphäre gelangte, verflüssigt, was ebenfalls als THG-Einsparung gilt und in der RED unter dem Term ECCR (Emission savings of Carbon Capture and Replacement - Emissionseinsparung durch CO_2-Abscheidung und -ersetzung) verbucht werden kann.
Das vorhandene Lagervolumen der BGA beträgt knapp 23.000 Kubikmeter. Das Investitionsvolumen beträgt rund 6,5 Millionen (Mio.) Euro und beinhaltet eine Druck-Wechsel-Adsorptionsanlage, die Verflüssigung von CO_2, die Analytik für die Qualitäts-

kontrolle für CO_2 in Lebensmittelqualität, die bauseitigen Leistungen, die Planungskosten, Genehmigungskosten und den Anschluss ans Gasnetz.
Nachfolgend werden Kosten und Erlöse anhand der drei vorgenannten skizzierten Varianten aufgezeigt. Um eine Vergleichbarkeit zu erreichen, wird für alle Varianten die Erzeugung von Rohgas (feucht) mit einem Energiegehalt von 52,5 Mio. $kWh_{(Hs)}$ als Zielgröße festgelegt. Die exakten Zahlenwerte können der Tabelle 1 entnommen werden.
In Tabelle 1 sind die Spalten mit Großbuchstaben von A bis I und die Zeilen in Zahlen von 1 bis 58 gekennzeichnet, um die im Text genannten Verweise leichter aufzufinden. In Spalte C sind Rechenwerte aufgeführt, die zusätzlich zur Berechnung der Felder in den Spalten E bis I benötigt werden. Gelb markierte Felder können und sollen vom Nutzer je nach Fragestellung oder externen Vorgaben, wie zum Beispiel Vergütungspreise etc., verändert werden. Grün hinterlegte Felder enthalten Werte, die aus anderen Tabellen (weitere eigene Excel-Tabellen oder KTBL) übernommen wurden. Blau hinterlegte Felder sind Berechnungen mit Bezug auf andere Felder dieser Tabelle.

Drei Varianten durchkalkuliert

In der hypothetischen 1. Variante sollen 100 Prozent Schweinegülle ohne Pflanzenkohle fermentiert werden. Diese hypothetische Variante dient dem Zweck, die Bedeutung der Energiedichte (siehe Tabelle 1, Zeile 8) aufzuzeigen. Wie in Zeile 7 zu ersehen, ist die benötigte Biomasse, um den Energiegehalt von 52,5 Mio. $kWh_{(Hs)}$ zu erreichen, mit 586.659 Tonnen (t) (E7) extrem hoch, weil die Energiedichte (E8) bei nur 80,6 $kWh_{(Hi)}$/t liegt.
Die Angaben zu den Energiedichten der Substrate stammen aus dem Tabellenwerk des Kuratioriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL). Nimmt man einen Bezugsradius von 200 Kilometer an, müssen zu den Rohstoffkosten der Schweinegülle von 3,00 Euro/t noch die Transportkosten in Höhe von 30,53 Euro/t hinzugezählt werden, in Summe 33,53 Euro/t (C35).
In der 2. Variante ohne Pflanzenkohle werden 49.683 t (G8) Rindermist [72,6 (G5) Gewichtsprozent – abgekürzt %(w/w) – (D5)] mit einer Energiedichte von 381 $kWh_{(Hi)}$/t (G8) und 18.776 t Geflügelmist/Masthähnchen (27,4 Gewichtsprozent) mit einer Energiedichte von 1.512 $kWh_{(Hi)}$/t (Spalte F) eingesetzt. Die erforderliche Gesamtmasse beträgt 68.459 t und entspricht damit nur 11,7 Prozent der einzusetzenden Schweinegülle von Variante 1.
In der Variante 3 mit Pflanzenkohle werden 0,5 Prozent (Zeile 7) der eingesetzten Biomasse oder 342,3 t Pflanzenkohle (H+I 23) zugegeben. Die zusätzlichen Kosten liegen bei 255.442 Euro (H+I37) bei einem Bezugspreis der Kohle von 746,26 Euro/t (C37).
Die Tabelle dient dem ökonomischen Vergleich verschiedener Szenarien. Da der ökonomische Erfolg einer BGA vom Verkauf der erzeugten Energie abhängt, wird als Vergleichsgröße ein Zielwert für die erzeugte Rohgasenergie festgelegt, aus dem sich dann die nachfolgenden Berechnungen, für Rohgasmenge, benötigte Substrate etc., ableiten. Die Tabelle ist in 6 Kapitel unterteilt, die nachfolgend erläutert werden.
Eine Basisversion zur ökonomischen Betrachtung von BGA kann über die BIOGAS–AKADEMIE CAMPUS GmbH angefragt werden (info@biogas-akademie.de). ▶

EYS
EYS
Tauchmotor
Pumpen

Ihr Spezialist für Gülletechnik
info@eys-gmbh.de
+49 (0) 4442 955 90 40
www.eys-gmbh.de
Robert-Bosch-Str.3
D – 49393 Lohne

Tabelle 1: Berechnung von Rohstoff- und Energiemengen, Boni, Kosten und Erlösen von Biogasanlagen, die mit unterschiedlichen Substraten, mit und ohne Pflanzenkohle betrieben werden.

A1	B	C	D	E	F	G	H	I
2		**Rechen-werte**	**Einheit**	**Schweine-gülle**	**Geflügel-mist**	**Rinder-mist**	**Geflügel-mist**	**Rinder-mist**
3	**Zielwert der erzeugbaren Rohgasenergie (feucht)**		kWh (Hs)	52.500.000	52.500.000		52.500.000	
4	**Mengengerüst (Massen und Energien)**							
5	Rohstoffanteile		% (w/w)	100%	27,4%	72,6%	27,4%	72,6%
6	Pfanzenkohleanteil bezogen auf eingesetzte Biomasse		% (w/w)	0%	0%	0%	0,50%	0,50%
7	Eingesetzte Biomasse		t	586.659	18.776	49.683	18.776	49.683
8	Energiedichten Gülle/Mist		$kWh_{(Hi)}$/t	80,6	1.511,8	380,9	1.511,8	380,9
9	Rohgasenergie (feucht)		$kWh_{(Hs)}$	52.500.000	31.499.987	21.000.013	31.499.987	21.000.013
10	Rohgasenergie trocken		$kWh_{(Hs)}$	49.938.000	29.962.788	19.975.212	29.962.788	19.975.212
11	Trockenrückstand (TR)		% (w/w)	4,80%	57,40%	22,90%	57,40%	22,90%
12	organischer Trockenrückstandsgehalt (oTR(TR))		% (w/w)	3,49%	49,36%	18,82%	49,36%	18,82%
13	Masse oTR		t	20.472	9.269	9.352	9.269	9.352
14	Masse Gärrest (Rechenwert Abbaurate von oTR)	85%	t	569.258	10.898	41.733	10.898	41.733
15	Rohgasausbeute pro t Biomasse		Nm^3/t	12,04	250,28	65,88	250,28	65,88
16	Rohgas feucht		Nm^3	7.063.373	4.699.330	3.273.107	4.699.330	3.273.107
17	Rohgas trocken ohne Spurengase		Nm^3	6.718.680	4.470.003	3.113.379	4.470.003	3.113.379
18	CH_4-Gehalt in Rohgas		% (w/w)	67,20%	60,6%	58,0%	60,6%	58,0%
19	CH_4 trocken (Volumen)		Nm^3	4.514.953	2.708.822	1.805.760	2.708.822	1.805.760
20	CH_4-trocken (Energiegehalt)		$MJ_{(Hi)}$	162.010.067	97.200.651	64.796.084	97.200.651	64.796.084
21	CO_2 trocken		Nm^3	2.203.727	1.761.181	1.307.619	1.761.181	1.307.619
22	CO_2-Masse (Rechenwert in kg/Nm^3)	1,848	t	4.072	3.255	2.416	3.255	2.416
23	Pflanzenkohlemenge		t	0	0	0	93,9	248,4
24	Zusätzliches Gärrestlager + Lager für Kohle (Rechenwert m^3/t)	0,3	m^3	276.658	3.417		3.417	
25	Emission aus der CO_2-Verflüssigung (Rechenwert g CO_2-Äq./kWh)	388	t	355,5	284,1	211,0	284,1	211,0
26	THG-Ersparnis durch Pflanzenkohle (Rechenwert THG Faktor)	3,4585	t CO_2-Äq.	0,0	0,0	0,0	324,7	859,1
27	t-CO_2 Einsparung		t	3.717,0	2.970,5	2.205,5	3.295,2	3.064,7
28						5.176		
29	**Zusätzliche Energieverbräuche pro Jahr**							
30	Energieverbrauch der BGAA (Rechenwert kWh/Nm^3)	0,23	$kWh_{(Hi)}$	1.624.576	1.080.846	752.815	1.080.846	752.815
31	Energieverbrauch der CO_2-Verflüssigung (Rechenwert kWh/kg)	0,225	$kWh_{(Hi)}$	916.310	732.299	543.708	732.299	543.708
32								
33	**Kosten pro Jahr**							
34	Investkosten Zusatzlager (Rechenwert €/m^3)	75	€	20.749.350	256.275		256.275	
35	Spezifische Rohstoffkosten inkl. Transport, Bezugsradius 200 km		€/t	33,53	55,53	38,53	55,53	38,53
36	Rohstoffkosten inkl. Transport gesamt		€	19.672.181	1.042.647	1.914.281	1.042.647	1.914.281
37	Kohlekosten (Rechenwert €/t)	746,26	€	0	0	0	70.060	185.382
38	Energiekosten (Rechenwert ct/kWh)	20	€	508.177	362.629	259.305	362.629	259.305
39	Rohstoffkosten im Jahr 1		€	19.672.181	1.042.647	1.914.281	1.042.647	1.914.281
40	Betriebskosten inkl. Gärstrecke u. Kohle		€	3.059.550	1.024.538	821.337	1.024.538	821.337
41	Abschreibung Zusatzlager linear (Rechenwert in Jahren)	8	€	2.593.669	32.034		32.034	
42	Zinsen für Invest Zusatzlager (Rechenwert=Zinssatz)	5,30%	€	1.099.716	13.583		13.583	
43	Summe Gesamtkosten pro Jahr		€	46.605.473	8.427.281		8.682.723	
44								
45	**Boni**							
46	THG Transportemissionen (Bezugsradius 200 km)		g CO_2-Äq./MJ	50,27	2,68	10,64	2,68	10,64
47	THG CO_2		g CO_2-Äq./MJ	-22,94	-33,24	-37,02	-33,24	-37,02
48	THG Kohle		g CO_2-Äq./MJ	0,00	0,00	0,00	-3,34	-13,26
49	THG Gülle/Mist nach allen Abzügen (Rechenwert Emissionsfaktor)	-95,4	g CO_2-Äq./MJ	-68,07	-125,96	-121,78	-129,30	-135,04
50								
51	**Erlöse**							
52	Umsatzerlös CH_4 trocken (Rechenwert ct/$kWh_{(Hs)}$)	13,01	€	6.497.083	3.898.034	2.598.515	3.898.034	2.598.515
53	Umsatzerlös CO_2 (Rechenwert €/t)	10,00	€	40.725	32.547	24.165	32.547	24.165
54	Umsatzerlöse aus allen THG Boni (Rechenwert ct/$kWh_{(Hs)}$)	0,07	€	2.379.550	2.641.794	1.702.636	2.711.845	1.888.028
55	Summe Erlöse pro Jahr		€	8.917.358	10.897.690		11.153.132	
56								
57	**Ergebnis G+V**							
58	Erlöse - Kosten		€	-37.688.115	2.470.409		2.470.409	

Hinweise: Zur Orientierung bei Bezugnahme im Text sind die Spalten mit Großbuchstaben von A bis I und die Zeilen mit Zahlen von 1 bis 58 gekennzeichnet. Brennwerte (Hs) Methan: 11,061 kWh/m^3 / 39,819 MJ/m^3 ‖ Heizwerte (Hi) Methan: 9,968 kWh/m^3 / 35,883 MJ/m^3

Farbcodierung:	vom Nutzer veränderbare Werte	berechnete Werte	übernommene Werte aus anderen Tabellenwerken

Mengengerüst
In diesem Kapitel werden in den Zeilen 4 bis 27 die benötigten Substratmassen, deren Energiegehalte sowie resultierende CO_2-Mengen ermittelt, um daraus nachfolgend die monetären Auswirkungen zu berechnen. Für die Nachvollziehbarkeit ist es wichtig zu berücksichtigen, dass Energien in unterschiedlichen Einheiten wie MJ und kWh (HS) beziehungsweise (Hi) angegeben werden, je nachdem, ob sie über die RED ermittelt werden müssen oder ob es sich um Verkaufsangaben handelt. Alle Energieeinheiten sind rechnerisch ineinander überführbar.

Die Bedeutung der Energiedichte
Die Energiedichte hat direkten Einfluss auf die Transport-, Ausbring- und Lagerkosten. Aus Zeile 36 ist zu ersehen, dass für Variante 1 mit 100 Prozent Schweinegülle, Rohstoffkosten, inklusive Transport, von knapp 20 Mio. Euro, für Rinder- und Geflügelmist in Summe nur knapp 3 Mio. aufzubringen sind. Neben den Rohstoffkosten fallen bei 100 Prozent Schweinegülle noch erhebliche Kosten für zusätzliche Lagerkapazität von 261.730 Kubikmeter (m^3) mit 75,0 Euro/m^3, in Summe etwa 20,75 Mio. Euro an (Zeile 34).
Je geringer die Energiedichte pro Tonne Rohstoff ist, um so höher werden die Kosten. Aus diesem Grund ist eine Rezeptur mit hoher Energiedichte entscheidend für den ökonomischen Erfolg. Der Kosten treibende Einsatz von Pflanzenkohle kann ökonomisch daher nur mit Substraten hoher Energiedichte gelingen.

Zusätzliche Energieverbräuche (Zeilen 29 bis 31)
Der Betrieb einer BGA verbraucht natürlich Energie. Da wir von einer bestehenden BGA ausgehen, die zu einer BGAA inklusive CO_2-Verflüssigung umgebaut wird, betrachten wir hier nur die zusätzlichen Energieverbräuche, die beim Betrieb dieser Zusatzanlagen anfallen.

Kosten
Im Kapitel Kosten (Zeilen 33 bis 43) werden die Kosten für Umbau und Betrieb der Zusatzanlagen spezifiziert, die allgemeinen Betriebskosten (Zeile 40) jedoch pauschal aus Erfahrungswerten angegeben. Zeile 43 gibt die Gesamtkosten wieder.

Erläuterungen zum THG-Bonus für Gülle/Mist
In der RED haben wir einige allgemeine Festlegungen für Energiedichten und Trockenrückstände, die sich von realen Gärmassen deutlich unterscheiden können. Zum Beispiel ist der Energiegehalt von Biomethan (CH_4) mit 0,5 Megajoule pro Kilogramm (MJ/kg) Gärmasse und der Trockenrückstand mit 10 Prozent festgelegt. Dem Trockenrückstand (TR) wird eine Energiedichte von 12 MJ/kg zugewiesen und die THG-Vergütung beträgt 0,045 kg CO_2-Äq./MJ. Durch diese Festlegungen erreicht man unter Berücksichtigung eines Methanverlustes von 3,5 Prozent immer den Wert von -111,92 g CO_2-Äq./MJ, egal um welche Sorte Gülle oder Mist es sich handelt. Dies wird in Tabelle 2 auf Seite 64 anhand von zwei Beispielen dargelegt.

Beispiel
Rindergülle mit 8,9 Prozent TR führt bei 1 t Gärmasse zu 89 kg TR und zu 1.068 MJ Energie (D6), wenn wir die 12 MJ/kg mit den 89 kg multiplizieren. Werden die 1.068 MJ mit den ▶

EYS

EYS
Pressschnecken
Separatoren



Ihr Spezialist für Gülletechnik

info@eys-gmbh.de
+49 (0) 4442 955 90 40
www.eys-gmbh.de
Robert-Bosch-Str.3
D – 49393 Lohne

45 Gramm (g) CO_2-Äq./MJ multipliziert erhalten wir 48,06 kg CO_2-Äq. (D8). Dividieren wir nun den Energiegehalt des CH_4 von 0,5 MJ/kg CH_4 durch 10 Prozent [weil nach RED hier wieder der Bezug auf Frischmasse/Gärmasse statt auf TR genommen wird (S. L328/180)] und multiplizieren mit den 89 kg TR, erhalten wir 445 MJ (D10).
Ziehen wir davon einen allgemeinen, durch technische Handhabung verursachten Methanverlust von 3,5 Prozent ab, ergeben sich 429,425 MJ (D12). Multiplizieren wir nun die 45 kg CO_2-Äq. mit 1.000, um kg in g umzurechnen und teilen durch die 429,425 MJ, erhalten wir 111,92 g CO_2-Äq/MJ. In analoger Weise kommen wir bei Schweinegülle auf den gleichen Wert.
Von diesen 111,92 g CO_2-Äq/MJ sind die Abzüge in g CO_2-Äq./MJ für die Emissionen aus der RED vorzunehmen (Emissionen bei der Verarbeitung = 4,4, Emissionen bei Transport und Distribution des Produktes (Biogas, Biomethan) = 0,9, Disaggregierte Standardwerte nur für den Transport und die Verteilung von Endbrennstoffen (diese sind bereits in der Tabelle „Transport- und Verteilungsemissionen etd" der RED II enthalten) =6,3, Emissionen bei der Nutzung des Brennstoffs = 4,6) und unter Berücksichtigung von Rundungen ergeben sich dann 95,4 g CO_2-Äq./MJ (siehe Tabelle 1, C49).
In der RED ist bis heute kein Term vorhanden, mit dem man die CO_2-Ersparnis aus der Pflanzenkohle berücksichtigen könnte, obwohl diese Ersparnis über Jahrhunderte gegeben ist. Sollte die Anrechnung möglich werden, würden sich die weiteren dargestellten, zusätzlichen ökonomischen Effekte ergeben.

Berechnung der THG-Boni

Zu den THG-Gutschriften in Höhe von 95,4 g CO_2-Äq./MJ werden weitere THG-Boni für die CO_2-Verflüssigung, die Transportemissionen und eventuell in der Zukunft auch Ersparnisse für den Einsatz von Kohle zuaddiert (siehe Tabelle 1, Zeilen 47 bis 49), sofern seitens der RED III der Einsatz von Kohle als THG-Bonus erlaubt ist. Die Transportemissionen sind dann zu berechnen, wenn die Lieferung ab dem ersten Sammelpunkt erfolgt (diese Annahme gilt für Tabelle 1). Ein Sammelpunkt ist eine organisatorische Einheit, wie zum Beispiel ein Lager, in dem Gülle/Mist aus verschiedenen Quellen vor dem Weitertransport zwischengelagert werden.
Sie sind nicht zu erfassen, wenn die Belieferung vom Erzeuger zum Verbraucher direkt erfolgt. Zu beachten ist dabei auch, dass die THG-Ersparnis durch den Einsatz von Pflanzenkohle (Zeile 27) von der Art der Pflanzenkohle abhängt. Eine Pflanzenkohle aus sauberem Laubholz und guter Verkohlung kann zum Beispiel einen hohen Kohlenstoffgehalt von größer 90 Prozent aufweisen, was dann zu einem THG-Faktor von 3,46 t CO_2-Äq. führt (Zelle C27).
Eine Pflanzenkohle, zum Beispiel aus Grünschnitt mit starker Verunreinigung und gegebenenfalls schlechter Verkohlung kommt zum Beispiel nur auf einen Kohlenstoffgehalt von 60 bis 70 Prozent und erhält deshalb einen deutlich niedrigeren THG-Faktor, der für jede Kohle individuell berechnet werden muss. Zeile 49 zeigt die Zusammenfassung aller anrechenbarer Boni.

Erlöse

Die Erlöse setzen sich aus den Verkäufen des aufbereiteten Biomethans, des verflüssigten CO_2 und den Erlösen aus THG-Boni zusammen (Zeilen 51 bis 55). Die THG-Boni werden dem Basispreis von 13,01 Cent (ct)/$kWh_{(Hs)}$ (C52, Stand Dezember 2024) zuaddiert. Sie berechnen sich aus den THG-Mengen in g CO_2-Äq./MJ (Zeile 49), multipliziert mit dem Bonuspreis von 0,07 ct/$kWh_{(Hs)}$ (C54, Stand Dezember 2024) und der Menge verkaufter Energie (Zeile 20), die von MJ(Hi) in $kWh_{(Hs)}$ umgerechnet werden muss. Die Gesamterlöse sind in Zeile 55 zu finden.

Ergebnis G+V

Die Ergebnisse der Gewinn- und Verlustrechnung (G+V) in Zeile 58 zeigen sehr deutlich, dass der Betrieb einer BGA mit Aufbereitung und CO_2-Verflüssigung mit 100 Prozent Schweinegülle zu einem stark negativen Ergebnis von knapp -37,7 Mio. Euro führt. Werden als Substrate jedoch energiehöherwertiger Geflügel- und Rindermist im Gewichtsverhältnis 27,4 Prozent zu 72,6 Prozent eingesetzt, so werden positive Ergebnisse von knapp 2,5 Mio. Euro erzielt.
Dass die Varianten 2 und 3 zum gleichen Ergebnis kommen, obwohl in Variante 3 zusätzliche Kosten für Kohle zu tragen sind, liegt zum einen an den eingerechneten THG-Boni für die Kohle, zum anderen am gewählten Grenzkostenpreis für die Kohle (Zelle C37). Liegt der Kohlepreis über einem Wert von 746,26 €/t dann erzielt Variante 3 einen geringeren Gewinn als Variante 2. Bei günstigeren Kohlepreisen ist es umgekehrt. Einen Überblick zu Pflanzenkohlepreisen ist in der Marktrecherche von Korte H. et al. 2025 zu finden.

Tabelle 2: Berechnung der THG-Boni an den Beispielen Rindergülle und Schweinegülle

A1	B	C	D	E	
2		**Einheiten**	**Rinder-gülle**	**Schweine-gülle**	
3	Gülle, Mist	t	1	1	
4	Heizwert	MJ/kg TM	12	12	
5	TM-Gehalt		8,90%	4,80%	
6	Energiemenge	MJ	1.068	576	**=E3*E5*(E4*1000)**
7	THG-Vergütung	g CO_2-Äq./MJ	45	45	
8	THG-Menge	kg CO_2-Äq.	48,06	25,92	**=E7*E6/1000**
9	Energiegehalt CH_4	MJ/kg	0,5	0,5	
10	Energiemenge CH_4	MJ	445	240	**=E9/10%*E3*E5*1000**
11	CH_4-Verluste		3,5%	3,5%	
12	Energiemenge CH_4 final	MJ	429,425	231,6	**=E10*(1-E11)**
13	**THG-Gutschrift**	**g CO_2-Äq./MJ**	**111,92**	**111,92**	**=(E8*1000)/E12**

Farbcodierung:	vom Nutzer veränderbare Werte	Vorgaben nach RED II	berechnete Werte	übernommene Werte aus anderen Tabellenwerken

Fazit: Der Einsatz der Pflanzenkohle ermöglicht die Steigerung der Energiedichte durch die Auswahl energiedichterer Substrate mit hohem Proteinanteil, wobei eine getrennte Bilanzierung weiterhin erforderlich ist. Die Möglichkeiten zur Teilhabe an der Erzeugung von fortschrittlichen Kraftstoffen ist lokal ebenso unterschiedlich wie das Gülle/Mist-Aufkommen auf Landkreisebene. Die hohen Anschaffungskosten von kleinen Aufbereitungsanlagen oder CO_2-Verflüssigungsanlagen führen zu größeren Anlagen und einem größeren Massestrom, der in der Region langfristig verfügbar sein muss (oder über weite Strecken transportiert werden muss).
Der Effekt der CO_2-Verflüssigung liegt in Abhängigkeit zur Rezeptur zwischen -22,94 g CO_2-Äq./MJ für Schweinegülle, -33,24 g CO_2-Äq./MJ für Geflügelmist und -37,02 g CO_2-Äq./MJ für Rindermist (Zeile 47). Unter ökonomischen Aspekten darf der Effekt auf die THG-Bilanz aus der CO_2-Verflüssigung nicht unterschätzt werden. ●

Danksagung
Die Arbeiten werden im Rahmen des Verbundvorhaben: Einsatz von definierten Holzkohlen zur Prozessintensivierung im Biogasprozess (FKZ: 2220WD007A) durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

AUTOREN
Dipl.-Des. Rainer Casaretto
BIOGAS-AKADEMIE® CAMPUS GmbH
Sperlingsgang 8 · 24220 Flintbek
0 43 47/70 85 24
info@biogas-akademie.de
www.biogas-akademie.de

Dr. Hans Korte
Innovationsberatung Holz & Fasern
Breite Str. 52 · 23966 Wismar
0 38 41/22 47 22
0 177/78 59 440
hans.korte@korte-wismar.de
www.hanskorte.de

Dr. Jan Sprafke
Universität Rostock
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät
Professur Abfall- und Stoffstromwirtschaft
Justus-von-Liebig-Weg 6 · 18059 Rostock
0 381/498 34 17

EYS
EYS
Tauchmotor
Rührwerke

Ihr Spezialist für Gülletechnik
info@eys-gmbh.de
+49 (0) 4442 955 90 40
www.eys-gmbh.de
Robert-Bosch-Str.3
D – 49393 Lohne