

BIOMETHANPRODUKTION mit CO₂-Verflüssigung kalkulieren

Aktuell ist die Biomethanerzeugung für den Kraftstoffsektor in Kombination mit einer CO₂-Verflüssigungsanlage ökonomisch eine sehr interessante Anlagenkonstellation. Allerdings müssen für das CO₂ Kunden gefunden werden. Und die Biomethanproduktion für den Mobilitätsbereich ist nur so lange umsetzbar, wie die Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II und folgende) dies zulässt. Kontraproduktiv sind lange Wartezeiten beim Gasnetzanschluss, die schon mal drei Jahre dauern können.

Von Dipl.-Des. Rainer Casaretto und Dr. René Casaretto

Biomethanerzeuger versuchen, entweder über den Massenstrom eine wirtschaftliche Größenordnung zu erreichen oder sie versuchen, über das Angebot für eine benötigte Aufbereitungsanlage die benötigten Inputbiomassen für ein bestimmtes Umsetzungsziel zu ermitteln. Die Entscheidungsfindung ist dabei ein hochdynamischer Prozess, der sich laufend ändert. Eine Berechnung auf Basis der zu erwartenden Erlöse oder der maximalen Investitionssumme inklusive Renditeerwartung ist notwendig, um eine Entscheidung zu treffen, die die Standortentwicklung positiv beeinflusst. In nachfolgendem Beispiel stel-

len wir dar, wie die Biomethanproduktion mit einer CO₂-Verflüssigung wirtschaftlich aussehen könnte. Die Vorgabe ist, dass die CO₂-Verflüssigung die benötigte Energie aus dem in der Anlage erzeugten sogenannten NawaRo-Gas erhält.

Tabelle 1: Technische Daten

Maximale Rohgaskapazität (feucht) der BGAA	910 Nm ³ /h
Maximale CO ₂ -Verflüssigungskapazität	710 kg/h
Energiebedarf der BGAA	0,41 kWh/Nm ³
Energiebedarf der CO ₂ -Verflüssigung	0,23 kWh/kg

Tabelle 2: Blatt Rezeptur

A	B	C	D	E	F	G	H
		Quote	t EM	Verlust	t GM	t TR	t oTR
Gülle/Mist	Rindermist	40 %	12.000	0,00 %	12.000	3.000	2.550
	Rindergülle	10 %	3.000	0,00 %	3.000	300	240
	HTK	10 %	3.000	0,00 %	3.000	1.500	1.110
Σ Gülle/Mist-Gas		60 %	18.000	0,00 %	18.000	4.800	3.900

Fortsetzung der Tabelle mit Reststoffen

A	B	C	D	E	F	G	H
		Quote	t EM	Verlust	t GM	t TR	t oTR
Reststoffe	Weizenstroh	40 %	12.000	0,00 %	12.000	10.320	9.288

Fortsetzung der Tabelle mit NawaRo

A	B	C	D	E	F	G	H
		Quote	t EM	Verlust	t GM	t TR	t oTR
NawaRo	Maissilage	50,00 %	1.528	5,00 %	1.451	508	483
	Zuckerrübe	50,00 %	1.528	15,00 %	1.299	299	269
Σ NawaRo		100,00 %	3.055	20,00 %	2.750	807	751



Kühe auf Strohpellets-Einstreu fühlen sich sehr wohl.

Szenario 1:

Auf der Inputstoffseite unterscheiden wir drei Kategorien:

1. Gülle und Mist = 12.000 Tonnen (t) Rindermist, 3.000 t Rindergülle und 3.000 t Hühnerkot (HTK).
2. Reststoffe = 12.000 t Weizenstroh.
3. Nachwachsende Rohstoffe (NawaRo) = je 1.505 t Mais- und Zuckerrübensilage.

Die Verflüssigungsanlage benötigt 1.040.430 Kilowattstunden (kWh) elektrische Energie pro Jahr, die aus dem NawaRo-Mix erzeugt werden. Es werden 30.000 Tonnen Inputbiomasse (Gülle/Mist und Reststoffe) in der Region verfügbar sein. Daraus entstehen 5.508.900 Normkubikmeter (Nm³) feuchtes Rohgas.

Diese Menge muss von der Biogasaufbereitungsanlage pro Jahr verarbeitet werden. Das gesamte Investitionsvolumen inklusive Gasleitung, Planung, Genehmigung, Aufbereitung zu Biomethan durch eine Membrantechnik und die CO₂-Verflüssigung beträgt 3.500.000 Euro.

In dem Kalkulationsmodul (siehe Tabelle 2) können in Spalte C die Inputmengen jederzeit verändert und in Spalte O die Preise variabel angesetzt werden. Insgesamt entsteht eine Rohgasmenge von 6.003.353 Nm³ pro Jahr. Davon stammen aus den NawaRo 494.453 Nm³, die zu 100 Prozent im Blockheizkraftwerk (BHKW) genutzt werden. Daher bleiben 5.508.900 Nm³ übrig, die der Biogasaufbereitungsanlage (BGAA) zugeführt werden. Dort werden 2.792.225 Nm³ CH₄ (trocken) produziert. Dies entspricht: ▶

I	J	K	L	M	N	O
kWh/t GM	kWh Bioenergie	m ³ Rohgas feucht	m ³ CH ₄ feucht	CH ₄ -Gehalt	m ³ CO ₂ feucht	Preis pro t EM
524	6.291.054	1.147.500	631.157	55,00 %	516.343	8,00 EUR
167	502.387	91.200	50.403	55,27 %	40.797	5,00 EUR
1.070	3.208.699	555.000	321.916	58,00 %	233.084	70,00 EUR
̄ 556	10.002.140	1.793.700	1.003.425	̄ 55,94 %	790.225	̄ 17,83 EUR

I	J	K	L	M	N	O
kWh/t GM	kWh Bioenergie	m ³ Rohgas feucht	m ³ CH ₄ feucht	CH ₄ -Gehalt	m ³ CO ₂ feucht	Preis pro t EM
1.605	19.257.219	3.715.200	1.931.904	52,00 %	1.783.199	70,00 EUR

I	J	K	L	M	N	O
kWh/t GM	kWh Bioenergie	m ³ Rohgas feucht	m ³ CH ₄ feucht	CH ₄ -Gehalt	m ³ CO ₂ feucht	Preis pro t EM
1.120	1.625.884	313.674	163.119	52,00 %	150.555	50,00 EUR
751	975.322	188.164	97.850	52,00 %	90.314	45,00 EUR
̄ 946	2.601.206	501.838	260.956	̄ 52,00 %	240.869	̄ 47,50 EUR

Tabelle 3: Ökonomische Leistungsfähigkeit von Biogasanlagen

	25 % oben	Mittel	25 % unten
Personalkosten	0,48 ct/kWh _{Hiel}	0,49 ct/kWh _{Hiel}	0,51 ct/kWh _{Hiel}
Bezugsstrom	1,14 ct/kWh _{Hiel}	1,37 ct/kWh _{Hiel}	1,80 ct/kWh _{Hiel}
Reparatur/Instandhaltung	2,30 ct/kWh _{Hiel}	2,68 ct/kWh _{Hiel}	2,90 ct/kWh _{Hiel}
Sonstige Kosten	2,02 ct/kWh _{Hiel}	2,57 ct/kWh _{Hiel}	3,43 ct/kWh _{Hiel}
Treib- u. Schmierstoffe	0,37 ct/kWh _{Hiel}	0,42 ct/kWh _{Hiel}	0,55 ct/kWh _{Hiel}
Sonstiger Materialverbrauch	0,27 ct/kWh _{Hiel}	0,32 ct/kWh _{Hiel}	0,39 ct/kWh _{Hiel}
Versicherungen/Beiträge	0,41 ct/kWh _{Hiel}	0,39 ct/kWh _{Hiel}	0,34 ct/kWh _{Hiel}
Summe	6,99 ct/kWh_{Hiel}	8,24 ct/kWh_{Hiel}	9,92 ct/kWh_{Hiel}

Quelle: LBV-Kurzauswertung 2021/2022, Seite 100

Tabelle 4: Betriebs- und Rohstoffkosten

Gärstrecke			371.556 EUR
Energie BGAA	2.275.176 kWh _{el}	20,00 ct/kWh _{Hi}	663.121 EUR
Energie CO ₂ -Verflüssigung	1.040.430 kWh _{el}	20,00 ct/kWh _{Hi}	
Instandhaltung	5 % der Investitionssumme		175.000 EUR
Summe ohne Rohstoffkosten			1.204.945 EUR
Rohstoffkosten			1.161.000 EUR
Summe mit Rohstoffkosten			2.365.945 EUR

- a) 27.831.503 kWh_{Hi} und
- b) 30.884.335 kWh_{Hs}.

Die 27.831.503 kWh_{Hi} führen bei einem BHKW-Wirkungsgrad von 40 Prozent zu 11.132.601 kWh_{el} und die sind die Bezugsgröße für die Betriebskosten. Für den Betrieb der CO₂-Verflüssigung werden 1.040.430 kWh_{el} benötigt. Nach der Kurzauswertung des landwirtschaftlichen Buchführungsverbandes von 2021/2022 findet eine Teilung der Biogasanlagen in die 25 Prozent besten, die 25 Prozent schlechteren und 50 Prozent der mittelguten Anlagen statt (siehe Tabelle 3). Hier kann eine Auswahl getroffen werden. Ohne Zinsen und ohne Abschreibung verursachen die 25 Prozent besten Betriebe Betriebskosten von 6,99 Cent pro Kilowattstunde (ct/kWh_{el}). Die 50 Prozent der mittelguten haben Betriebskosten von 8,24 ct/kWh und die 25 Prozent schlechteren Anlagen haben Betriebskosten von 9,92 ct/kWh. Das Ziel ist, die Kosten, die auf die Gärstrecke entfallen, zu ermitteln.

Dazu müssen die Kosten für das BHKW außer Acht gelassen werden. Bei einem Vollwartungsvertrag für ein BHKW dieser Größenordnung (526 kW_{el}, 8.322 Volllaststunden, 4,3

Runderneuerung von Gummikolben für Kolbenpumpen!



Alter beschädigter Kolben



Altes Gummi ist entfernt



Der erneut vulkanisierte Kolben



Ersatzteile für die meisten üblichen Kolbenpumpen



Registrieren und sofort kaufen in unserem Webshop!

Tel.: 0031-(0)545-482157

eMail.: info@benedict-tho.nl

WWW.BENEDICT-THO.NL



Millionen kWh_{el} pro Jahr) sind das 8,52 Euro pro Betriebsstunde ohne Revisionskosten. Inklusive der Revisionskosten sind es 11,94 Euro pro Stunde. Es hat aber kaum ein Betreiber einen Vollwartungsvertrag abgeschlossen. Die Erfahrung zeigt, dass der Kostenanteil des BHKW bei etwa 60 Prozent der Betriebskosten liegt und der Anteil der Kosten für die Gärstrecke 40 Prozent beträgt. Es sind 61.029 Euro für das BHKW und 40.686 Euro für die Gärstrecke anzusetzen. Diese Kosten können hochskaliert werden. In der Kalkulation für die BGAA kann für die Aufbereitung immer ein entsprechendes Äquivalent mit dem gleichen Wirkungsgrad ermittelt und können die Kosten linear hochskaliert werden.

Die BGAA bekommt 5.508.900 Nm³ feuchtes Rohbiogas. Das Rohgas muss entfeuchtet und von Spurengasen wie Schwefelwasserstoff befreit werden. Dadurch verringert sich die Gasmenge auf 5.240.066 Nm³ – dabei handelt es sich um trockenes und spurengasfreies Rohgas. Die Gärsubstratmischung führt zu einem Methangehalt von 53,97 Prozent.

Bei 8.760 Betriebsstunden im Jahr müssten pro Stunde 598 Nm³ trockenes Rohgas verarbeitet werden. Die maximale Aufbereitungskapazität feucht liegt bei 910 Nm³ pro Stunde. In Bezug auf die 8.760 Volllaststunden ergibt sich eine Auslastung von 66 Prozent. Da mit Stillstandzeiten zu rechnen

ist, erfolgt die Kalkulation mit 8.322 Volllaststunden. Um die gleiche Gasmenge in kürzerer Zeit durch die BGAA durchschleusen zu können, erhöht sich der Durchsatz auf 630 Nm³ pro Stunde.

Die CO₂-Verflüssigungsanlage hat eine maximale Kapazität von 710 Kilogramm pro Stunde. Sie wird zu 75,43 Prozent ausgelastet. Auf der Kapazitätsseite der BGAA sind noch 280 Nm³ pro Stunde frei und auf der Seite der CO₂-Verflüssigung noch 174 Kilogramm pro Stunde. Die Gasmenge wird an einen Biomethanhändler verkauft.

Da zusätzlich eine CO₂-Verflüssigungsanlage betrieben wird, entstehen negative Emissionen. Also entsprechende Treibhausgas-Gutschriften. Aus der eingesetzten Menge Gülle-Mist-Gas entsteht eine Gutschrift von -45,15 Gramm (g) CO₂-Äquivalent (äq)/Megajoule (MJ) für die CO₂-Verflüssigung. Die Energie aus dem BHKW für die CO₂-Verflüssigungsanlage verursacht einen THG-Rucksack von 8,92 g CO₂-äq/MJ.

Die Berechnung lautet:

Der Energiebedarf der Verflüssigung beträgt 1.040.430 kWh_{el}. Das sind 1.280.394 MJ für das Gülle/Mist-Gas und 2.465.155 MJ für das Reststoffgas. Multipliziert mit den 8,92 g CO₂-äq/MJ errechnen sich 11 t Rucksack für das Gülle/ ▶

Dr. Kerner GmbH & Co KG

Fachbetrieb für Bauwerksabdichtungen seit 60 Jahren

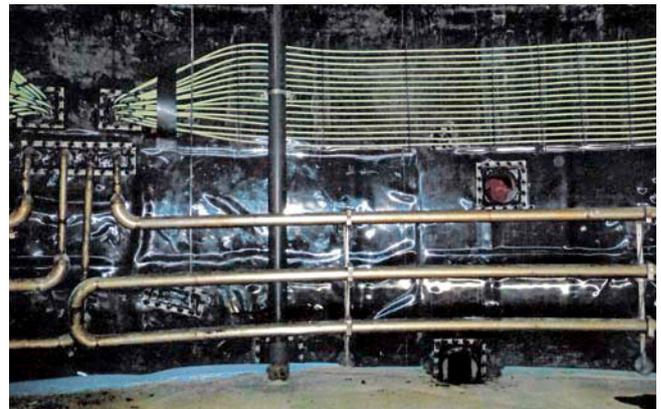
Ihr kompetenter Partner für doppelwandige Behälterauskleidungen



Fertig ausgekleideter Behälter mit Stütze und Leckageschutz. Die Behälterauskleidung nach System Dr. Kerner ermöglicht eine zügige und sichere Montage vor Ort.

Unsere Leistungen:

- WHG-Abdichtungen
- Behälterauskleidungen, Leckschutzauskleidungen
- Schwimmbad- und Teichabdichtungen



Ausgekleideter Fermenter mit Einbauteilen

Wir kleiden nach dem System Dr. Kerner Behälter jeglicher Größen und Formen aus. Einwandige Behälter können zu doppelwandigen umgerüstet werden. Das Verfahren ist für Fermenter, Nachgärer und Endlager geeignet. Die Auskleidung mit HDPE ist nachhaltig, da sie keine Nachbehandlung oder Pflege benötigt. Sie hat eine Haltbarkeit von **mindestens 100 Jahren**.



DR. KERNER
DENKEN UND HANDELN FÜR DIE ZUKUNFT

Kontakt:

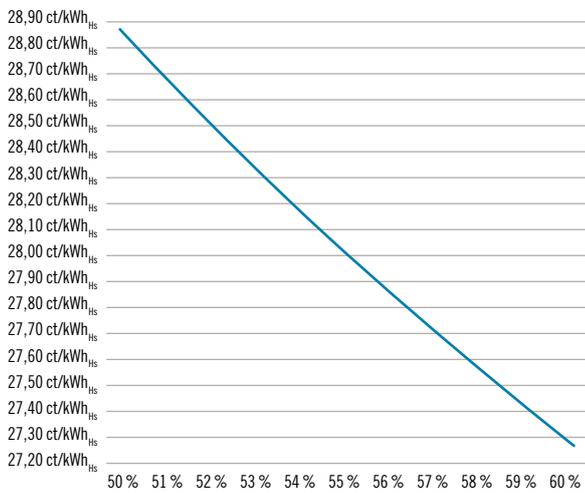
Dipl.-Ing. Franz Kerner
Hohewartstr. 131
70469 Stuttgart

Tel.: 0711 – 81 44 59
Fax: 0711 – 85 34 19
E-Mail: info@dr-ing-kerner.de

Tabelle 5: Dynamische Betrachtung bei 3.500.000 Euro Investition

Jahr	Inflation	Umsatzerlös	Rohstoffkosten	Betriebskosten	Risikokosten (25 %)	Annuität	Thesaurierter Gewinn
2023		0 EUR	1.161.000 EUR	325.335 EUR	0 EUR	175.000 EUR	-1.661.335 EUR
2024	8 %	6.199.212 EUR	1.253.880 EUR	1.301.341 EUR	875.000 EUR	808.412 EUR	1.960.580 EUR
2025	6 %	6.199.212 EUR	1.329.113 EUR	1.379.421 EUR	927.500 EUR	808.412 EUR	1.754.766 EUR
2026	4 %	5.671.331 EUR	1.382.277 EUR	1.434.598 EUR	964.600 EUR	808.412 EUR	1.081.444 EUR
2027	2 %	5.671.331 EUR	1.409.923 EUR	1.463.290 EUR	983.892 EUR	808.412 EUR	1.005.814 EUR
2028	2 %	5.671.331 EUR	1.438.121 EUR	1.492.556 EUR	1.003.570 EUR	808.412 EUR	928.672 EUR
Σ		29.412.416 EUR	7.974.314 EUR	7.396.541 EUR	4.754.562 EUR	4.217.059 EUR	5.069.941 EUR

Abhängigkeit der Erlöse vom CH₄-Gehalt des Biogases



Mist-Gas und 22 t für das Reststoffgas, die von der Gutschrift für die Verflüssigung abzuziehen sind. Die Gutschrift aus der CO₂-Verflüssigung beträgt dann netto -1.535 Tonnen in Bezug auf Gülle-Mist-Gas und -2.955 Tonnen in Bezug auf Reststoffgas.

Insgesamt also -4.490 Tonnen, die gutgeschrieben werden. Insgesamt erreicht werden aus Gülle-Mist-Gas – das mit -100 g CO₂-äq/MJ veranschlagt ist – durch die CO₂-Verflüssigung -144,82 g CO₂-äq/MJ.

Wie berechnet man den Preis für das Biomethan?

Im Markt gibt es etliche Anbieter und die Angebote unterscheiden sich (immer bei einfacher Anrechnung der fortschrittlichen Kraftstoffe) im Wesentlichen in Bezug zur Laufzeit, dem Basisfaktor, dem Basispreis und den Faktoren für Bonus und Malus. In Excel lautet die Wennformel dafür:
 =WENN(_EF<=_BF;(_EF-_BF)*-_B+_BP;(_EF-_BF)*-_M+_BP).
 _EF = erreichter Emissionsfaktor zum Beispiel -143,92
 _BF = Basisfaktor zum Beispiel -100
 _B = Bonus zum Beispiel 0,095
 _BP = Basispreis zum Beispiel 24 ct bei -100
 _M = Malus zum Beispiel 0,19 bei -99.

Dementsprechend berechnen sich nicht 24 ct/kWh_{H₂}, sondern 28,26 ct/kWh_{H₂}. Daraus ergibt sich ein Umsatzerlös von 3.057.221 Euro inklusive 0,70 ct/kWh_{H₂} vermiedene Netznutzungsentgelte.



Mit unseren Spitzen-Enzymen bleiben Sie flüssig.

Berechnen Sie die potentielle Leistungssteigerung Ihrer Anlage.

www.kalkulator.biopract.de



Wie sehen die Zahlen nun für das erzeugte Reststoffgas aus?

Nach der RED II entsteht ein Rucksack von 5 g CO₂-äq/MJ. Durch die CO₂-Verflüssigung errechnet sich eine THG-Minderung von -44,82 g CO₂-äq/MJ. Der THG-Wert für das Reststoffgas beträgt somit -39,82 g CO₂-äq/MJ. Dafür zahlt der Händler 14,76 ct/kWh_{Hs}, zuzüglich vermiedener Netznutzungsentgelte sind es 15,46 ct/kWh_{Hs} = 3.141.992 Euro. Insgesamt erzielen wir einen Umsatzerlös von 6.199.212 Euro, was bei 30.884.335 kWh_{Hs} zu einem Durchschnittspreis von 20,07 ct/kWh_{Hs} führt.

Das entspricht bei einem Wirkungsgrad von 40 Prozent **55,69 ct/kWh_{el}!** Der Umsatzerlös wird am 1. Januar 2026 fallen, weil es gemäß Gasliefervertrag dann für Gülle-Mist-Gas nicht mehr 24 ct/kWh gibt, sondern 19 ct/kWh. Schlussendlich kann für die BGAA ein Betrag von 5.266.379 Euro (max-I) ausgeben werden, wenn unter den gemachten Vorgaben und berücksichtigten Bedingungen eine schwarze Null erzielt werden soll.

In Tabelle 5 wird eine Inflation in 2024 von 8 Prozent angenommen, die nach und nach sinkt. Die Werte sind aber variabel. Der Betrachtungszeitraum erstreckt sich auf nur fünf Jahre zuzüglich der Bauzeit. In der Bauzeit fallen keine Umsatzerlöse an, es müssen aber schon Inputstoffe zugekauft werden. Daraus folgen schon Betriebskosten. Im Jahre 0 wird das Darlehen sukzessive valutiert. Es hat ein Tilgungsfreijahr, sodass hier nur Zinsen anfallen. Zinsen werden für das erste Jahr pauschal erfasst.

Fazit:

Das Betriebsergebnis ist aus Sicht des Betreibers mit einem Unternehmerlohn von durchschnittlich 1.964.900 Euro pro Jahr (4.754.562 Euro + 5.069.941 Euro ÷ 5) nicht ganz uninteressant. Aber

Tabelle 6: Auswirkungen des Gehaltes an CH₄

CH ₄ -Gehalt	CO ₂ -Masse netto	THG-Wert	Preis
50 %	-6.420 t	-151,12 g CO ₂ -äq/MJ	28,86 ct/kWh _{Hs}
51 %	-6.168 t	-149,12 g CO ₂ -äq/MJ	28,67 ct/kWh _{Hs}
52 %	-5.926 t	-147,19 g CO ₂ -äq/MJ	28,48 ct/kWh _{Hs}
53 %	-5.693 t	-145,33 g CO ₂ -äq/MJ	28,31 ct/kWh _{Hs}
54 %	-5.469 t	-143,55 g CO ₂ -äq/MJ	28,14 ct/kWh _{Hs}
55 %	-5.253 t	-141,83 g CO ₂ -äq/MJ	27,97 ct/kWh _{Hs}
56 %	-5.044 t	-140,17 g CO ₂ -äq/MJ	27,82 ct/kWh _{Hs}
57 %	-4.843 t	-138,56 g CO ₂ -äq/MJ	27,66 ct/kWh _{Hs}
58 %	-4.649 t	-137,02 g CO ₂ -äq/MJ	27,52 ct/kWh _{Hs}
59 %	-4.462 t	-135,52 g CO ₂ -äq/MJ	27,37 ct/kWh _{Hs}
60 %	-4.280 t	-134,08 g CO ₂ -äq/MJ	27,24 ct/kWh _{Hs}

es wird maßgeblich beeinflusst durch die CO₂-Verflüssigung (siehe Diagramm).

Welchen Einfluss der CH₄-Gehalt im Gas hat, zeigt Tabelle 6. Bei einem CH₄-Gehalt von 50 Prozent entstehen 28,9 ct/kWh_{Hs}. Bei einem CH₄-Gehalt von 60 Prozent sind es 27,2 ct/kWh_{Hs}. Denn bei 50 Prozent würden -6.420 Tonnen CO₂ verflüssigt und bei 60 Prozent nur -4.280 Tonnen. Die CO₂-Menge aus der Verflüssigung hat Einfluss auf den Umsatzerlös. So sind es bei 50 Prozent CH₄-Gehalt im Gas 1.880.067 Euro und bei 60 Prozent CH₄-Gehalt im Gas 1.253.378 Euro. Die Wirkung der Verflüssigung auf die Umsatzerlöse ist durchaus relevant.

Szenario Alternativ:

Ein Exkurs zu Rindermist: Die Energie aus Rindermist ist nach den KTBL-Faustzahlen Biogas (3. Auf- ▶

BIG-Mix
FESTSTOFFDOSIERER | 35 - 310 m³

KONRAD PUMPE GMBH
WWW.PUMPEGMBH.DE 



**JETZT BIS ZU 40%
BAFA-FÖRDERUNG SICHERN!**



Konrad Pumpe GmbH
Schörmelweg 24 | 48324 Sendenhorst
Fon: +49 2526 / 9329-0 | E-Mail: info@pumpegmbh.de

Tabelle 7: Die neue Rezeptur

A	B	C	D	E	F	G	H
		Quote	t EM	Verlust	t GM	t TR	t oTR
Gülle/Mist	Rindermist	42,11 %	12.013	0,00 %	12.013	4.164	3.780
	Rindergülle	42,11 %	12.013	0,00 %	12.013	5.593	4.858
	HTK	15,79 %	4.505	0,00 %	4.505	2.252	1.667
Σ Gülle/Mist-Gas		100,00 %	28.531	0,00 %	28.531	12.010	10.304

Fortsetzung der Tabelle mit NawaRo-Gas

A	B	C	D	E	F	G	H
		Quote	t EM	Verlust	t GM	t TR	t oTR
NawaRo	Maissilage	50,00 %	1.528	5,00 %	1.451	508	483
	Zuckerrübe	50,00 %	1.528	15,00 %	1.299	299	269
Σ NawaRo		100,00 %	2.870	10,00 %	2.583	758	706

lage, 2013) abhängig vom Stroh/Kot-Verhältnis und beträgt 524 kWh/t Gärmasse (GM). Rindermist ist abhängig von der Haltungsform (Tretmiststall) nichts anderes als eine Menge Rindergülle zuzüglich einer Menge langhalmigen und wachsgeschützten Strohs. Demzufolge unterscheidet sich die mögliche Energieausbeute auch dadurch, wie desintegriert das Stroh ist. Wird die gleiche Strohmenge in Form von pelletiertem Stroh eingestreut, erfolgt eine höhere Gasausbeute im Fermenter. Für langhalmiges und wachsgeschütztes Stroh sind gemäß KTBL 1.605 kWh/t GM bei 86 Prozent Trockenrückstand (TR) und 90 Prozent organischem Trockenrückstand (oTR) in Ansatz zu bringen. Derart feuchtes Stroh lässt sich nur schwer pelletieren.

In der Praxis wurden aus verschiedenen Laborversuchen nach der VDI 4630 ein TR von 92,20 Prozent, ein oTR von 93,50 Prozent und eine Energieausbeute von 2.522 kWh ermittelt. Rinderhalter berichten zudem nicht nur von einer deutlichen Verbesserung der Atemluft im Stall, sie berichten auch von der „Kuschelkuh“, da Rinder es lieben, sich in die Pellets zu legen. Zitat: „Die Rinder legen sich sogar in die Laufgänge, was sie sonst nie tun.“

Nun stellt sich die Frage, ob die Ausgangsrezeptur mit dem Wissen um pelletiertes Stroh nicht optimierungsfähig ist. Es wurden 40 Prozent langhalmiges und wachsgeschütztes Weizenstroh eingesetzt. Ein Verzicht auf dieses Stroh (Reststoff) und Ersetzen durch Rindermist mit einem Einstreuanteil von 30 Prozent an pelletiertem Stroh soll untersucht werden. Im Ergebnis erhöht sich die Ausbeute aus dem Rindermist damit von 524 kWh/t GM auf 874 kWh/t GM. Die neue Rezeptur besteht aus 12.013 t Rindermist mit 30 Prozent Pellets, 12.013 t Pferdemit mit 30 Prozent Pellets und 4.505 t HTK. Das NawaRo-Gas für die Energie der CO₂-Verflüssigung wird wieder zu je 50 Prozent aus Maissilage und Zuckerrübensilage erzeugt. Der Energiebedarf der Verflüssigung beträgt hier 977.113 kWhel, da sich der CH₄-Gehalt von 53,97 Prozent auf 54,85 Prozent geändert hat und etwas weniger CO₂ zu verflüssigen ist. Das sind 3.517.608 MJ für das Gülle/Mist-Gas. Multipliziert mit den 8,92 g CO₂-äq/MJ errechnen sich 31 t Rucksack für das Gülle/Mist-Gas, die von der Gutschrift für die Verflüssigung abzuziehen sind. Die Gutschrift aus der CO₂-Verflüssigung beträgt dann netto -4.217 Tonnen insgesamt, die gutgeschrieben werden. Ins-

Tabelle 8: Betriebs- und Rohstoffkosten

Gärstrecke			371.556 EUR
Energie BGAA	2.210.496 kWh _{el}	20,00 ct/kWh _{hi}	637.522 EUR
Energie CO ₂ -Verflüssigung	977.113 kWh _{el}	20,00 ct/kWh _{hi}	
Instandhaltung	5 % der Investitionssumme		175.000 EUR
Summe ohne Rohstoffkosten			1.179.346 EUR
Rohstoffkosten			1.162.268 EUR
Summe mit Rohstoffkosten			2.341.614 EUR

I	J	K	L	M	N	O
kWh/t GM	kWh Bioenergie	m³ Rohgas feucht	m³ CH ₄ feucht	CH ₄ -Gehalt	m³ CO ₂ feucht	Preis pro t EM
874	10.497.817	1.919.042	1.053.205	54,88 %	865.838	33,50 EUR
1.161	13.943.236	2.599.839	1.398.870	53,81 %	1.200.969	37,00 EUR
1.070	4.818.306	833.409	483.402	58,00 %	350.008	70,00 EUR
̄ 1.026	29.259.359	5.352.290	2.935.329	̄ 54,85 %	2.416.814	̄ 40,74 EUR

I	J	K	L	M	N	O
kWh/t GM	kWh Bioenergie	m³ Rohgas feucht	m³ CH ₄ feucht	CH ₄ -Gehalt	m³ CO ₂ feucht	Preis pro t EM
1.120	1.526.938	294.585	153.192	52,00 %	141.393	50,00 EUR
751	915.968	176.713	91.895	52,00 %	84.818	45,00 EUR
̄ 946	2.442.906	471.298	245.075	̄ 52,00 %	226.211	̄ 47,50 EUR

gesamt erreicht werden aus Gülle-Mist-Gas – das mit -100 g CO₂-äq/MJ veranschlagt ist – durch die CO₂-Verflüssigung -142,09 g CO₂-äq/MJ, inklusive der vermiedenen Netznutzung beträgt der Preis je kWh_{HS} demnach 28,70 ct (inklusive 0,70 ct/kWh_{HS} VNN). Der Umsatzerlös beträgt 8.863.298 Euro. Das entspricht bei einem Wirkungsgrad von 40 Pro-

zent 79,62 ct/kWh_{el}, eine Zahl, die den Irrsinn verdeutlicht, der sich in der Stromerzeugung in Kraft-Wärmekopplung ohne Wärmenutzung und ohne thermische Erlöse zeigt. Der Umsatzerlös wird am 1. Januar 2026 fallen, weil es gemäß Gasliefervertrag dann für Gülle-Mist-Gas nicht mehr 24 ct/kWh gibt, sondern 19 ct/kWh. Schlussendlich kann für ▶

Berstscheiben sichern Biogasanlagen



ATEX-zertifizierte Berstscheiben schützen präzise und zuverlässig vor unzulässigen Über- und Unterdrücken

- + Einfacher Einbau
- + Zertifizierte Sicherheit
- + Wartungsfreie Anwendung
- + Zuverlässiger Schutz rund um die Uhr
- + Niedrige Ansprechdrücke ab 5 mbar ü

Schwing Verfahrenstechnik GmbH • Oderstraße 7 • 47506 Neukirchen-Vluyn
 Tel. +49 2845 930-0 • mail@schwing-pmt.de • www.schwing-pmt.de



Tabelle 9: Dynamische Betrachtung bei 3.500.000 Euro Investition

Jahr	Inflation	Umsatzerlös	Rohstoff-kosten	Betriebskosten	Risikokosten (25 %)	Annuität	Thesaurierter Gewinn
2023		0 EUR	1.162.268 EUR	318.423 EUR	0 EUR	175.000 EUR	-1.655.692 EUR
2024	8 %	8.863.298 EUR	1.255.250 EUR	1.273.693 EUR	875.000 EUR	808.412 EUR	4.650.943 EUR
2025	6 %	8.863.298 EUR	1.330.565 EUR	1.350.115 EUR	927.500 EUR	808.412 EUR	4.446.707 EUR
2026	4 %	7.319.081 EUR	1.383.787 EUR	1.404.120 EUR	964.600 EUR	808.412 EUR	2.758.163 EUR
2027	2 %	7.319.081 EUR	1.411.463 EUR	1.432.202 EUR	983.892 EUR	808.412 EUR	2.683.113 EUR
2028	2 %	7.319.081 EUR	1.439.692 EUR	1.460.846 EUR	1.003.570 EUR	808.412 EUR	2.606.561 EUR
Σ		39.683.840 EUR	7.983.025 EUR	7.239.399 EUR	4.754.562 EUR	4.217.059 EUR	15.489.795 EUR

Tabelle 10: Gegenüberstellung der Varianten

	V1	V2	Delta
Gesamtmasse	30.000 t	28.531 t	-1.469 t
Rohstoffkosten	1.161.000 EUR	1.177.263 EUR	16.263 EUR
Energiedichte	\bar{x} 975 kWh/t GM	\bar{x} 1.026 kWh/t GM	51 kWh/t GM
Gülle/Mist-Gas	10.557.629 kWh _{HS}	30.884.335 kWh _{HS}	0 kWh _{HS}
Reststoffgas	20.326.707 kWh _{HS}	0 kWh _{HS}	0 kWh _{HS}
Menge CH ₄	2.792.225 Nm ³ CH ₄	2.792.225 Nm ³ CH ₄	0 Nm ³ CH ₄
Menge CO ₂	2.4447.841 Nm ³ CO ₂	2.298.874 Nm ³ CO ₂	-148.967 Nm ³ CO ₂
Menge flüssiges CO ₂	-4.490 t	-4.217 t	-273 t
Umsatzerlös 2024	6.199.212 EUR	8.863.298 EUR	2.664.086 EUR
Ø Umsatzerlös in ct/kWh _{HS}	20,07 ct/kWh _{HS}	28,70 ct/kWh _{HS}	8,63 ct/kWh _{HS}

die BGAA ein Betrag von 8.896.681 Euro (max-I) ausgeben werden, wenn unter den gemachten Vorgaben und berücksichtigten Bedingungen eine schwarze Null erzielt werden soll.

Fazit:

Das Betriebsergebnis hat sich aus Sicht des Betreibers mit einem Unternehmerlohn von durchschnittlich 4.048.871 Euro pro Jahr (4.754.562 Euro + 15.489.795 Euro ÷ 5) verbessert.

Was hat sich mit den beiden Rezepturen geändert?

Die Berechnung der maximalen Investitionskosten – im Folgenden max-I genannt – erfolgt auf Basis einer iterativen Berechnung unter Berücksichtigung folgender Eingabegrößen:

(Gleichung 1) $max-I = Ue - Ro - Bk - Ri - An$
 (Gleichung 2) $max-I = 0$

Als Nebenbedingung gilt, dass das Ergebnis dieser Gleichung (max-I, Gleichung 2) immer null ist.

Ue = Summe der Umsatzerlöse aus dem Zeitraum

Ro = Summe der Rohstoffkosten aus dem Zeitraum

Bk = Summe der Betriebskosten aus dem Zeitraum

Ri = Summe der Risikokosten aus dem Zeitraum (zum Beispiel 25 % von max-I)

An = Summe der Annuitäten aus dem Zeitraum (aus max-I)

Die Eingabegrößen werden über den gewählten Betrachtungszeitraum indexiert und die prozentuale Bewertung der Risikokosten erfolgt auf Basis des max-I. Eine Erhöhung der Risikokosten führt demzu-

folge zu einer Reduktion der maximalen Investitionssumme und der darauf basierenden Annuität. Ebenso wirken sich die Indexierungen der Kosten auf max-I aus. In den Betriebskosten sind sämtliche Kosten der Anlage – abgesehen von den Rohstoffkosten – enthalten, da für diese Positionen eigene Indexierungen gelten. ◀

Autoren

Dipl. Des. Rainer Casaretto

Geschäftsführer

Dr. René Casaretto

Geschäftsführer

BIOGAS – AKADEMIE Campus GmbH

Sperlingsgang 8 · 24220 Flintbek

☎ 01 72/433 33 90

✉ info@biogas-akademie.de

🌐 www.biogas-akademie.de