

Systemvergleich zwischen thermodruckhydrolysieren, extrudieren und pelletieren

Wirtschaftliche Not ist eine große Motivation zur Steigerung der Gasausbeute. Wenn aber der Preis für diese Steigerung den möglichen Mehrerlös übersteigt, wird die Not nicht beseitigt, sie wird erhöht. Und um das zu vermeiden, muss zeitintensiv gerechnet und recherchiert werden. Mit diesem Artikel wollen die Autoren den Betreibern eine kleine Hilfestellung für die richtige Entscheidung an die Hand geben. Das natürliche Ziel des Verkäufers ist die Steigerung der eigenen Rentabilität, und das geht nicht immer mit der Steigerung der Rentabilität des Kunden einher.

Von Dipl. Des. (FH) Rainer Casaretto und M.Eng. René Casaretto

3 Betreiber von großen Biogas-Anlagen in unterschiedlichen Landstrichen Deutschlands (Naturräume, Ackerbau- bzw. Viehregionen) möchten gerne den Einsatz von Stroh zur Vergärung realisieren und entsprechende Anteile der Maissilage reduzieren. Daraus ergeben sich nicht nur die drei rein technischen Szenarien aus der Überschrift, sondern auch drei verschiedene Ausgangsszenarien, denen aber einige identische Elemente zugrunde liegen. Unabhängig von der jeweiligen gewählten Technologie zur Vergärung von Stroh gilt eine technische Verfügbarkeit von 90%, was sich auf den jeweiligen Massestrom auswirkt.

In der nachfolgenden Betrachtung geht es nur um die Differenzaufwendungen, die mit dem Austausch der Maissilage durch Stroh verbunden sind. Differenzaufwand entsteht aus:

1. reduzierten Rohstoffkosten,
2. einem zusätzlichen Strombedarf,
3. einem zusätzlichen Wärmebedarf,
4. einem zusätzlichen Bedarf für Frischwasser,
5. einem zusätzlichen Bedarf für Reparatur, Wartung, Unterhaltung,
6. einem zusätzlichen Bedarf an Personal,
7. einem zusätzlichen Bedarf für Zinsen und Tilgungen,
8. einem zusätzlichen Bedarf für das Unternehmerrisiko.

Die Kosten für die Maissilage werden in den kommenden 10 Jahren (Betrachtungszeit-

raum) ebenso ansteigen wie die Kosten für die Ausbringung der Gärreste. Die Barwerte aller mit der neuen Rezeptur verbundenen Differenzkosten (incl. ihrer Steigerungsraten) der kommenden 10 Jahre dürfen den Barwert aus der Fortführung der bisherigen Gegebenheit nicht übersteigen. Die Risikokosten betragen immer 9,00%.

Die Bedeutung der Risikokosten

Man könnte den Unternehmerlohn als das Endergebnis unternehmerischen Handelns ansehen, gäbe es da nicht die Naturereignisse. Zumindest in der Landwirtschaft entscheiden Sonne und Regen erheblich über den Erfolg und damit über den Unternehmerlohn. Insoweit fällt es leicht, den Unternehmerlohn als etwas derart Variables und Unplanbares wie ein Naturereignis anzusehen. Im Zusammenhang mit einer Investition hingegen ist dem zu widersprechen. Das Ergebnis der Investition sollte durchaus planbar und kein Naturereignis sein. Das Bewertungsgesetz schreibt für die Begutachtung vor, einen „angemessenen Unternehmerlohn“ zu kalkulieren und für die Ertragswertberechnung ist ein Zuschlag für das unternehmerische Risiko von 4,50% auf einen Basiszins vorzunehmen. Auch wenn die geplante Anschaffung zu 100% durch Fremdkapital finanziert wird, steht der Unternehmer den finanzierenden Banken gegenüber gleichwohl in der Haftung und trägt dieses Risiko. Dieses Risiko ist angemessen zu bepreisen und in die Kostenkalkulation aufzunehmen. Hierbei hilft ein Blick auf die Kosten für Mezzanine-Kapital, welches eigenkapitalähnlich zu sehen ist und einen Handelspreis von derzeit rund 9,00% besitzt.

Wir haben uns dafür entschieden, den Begriff Unternehmerlohn zu meiden und ihn durch Risikokosten zu ersetzen.

Dieses Wort: „Risikokosten“ ist in der Beratung von Biogas-Anlagen-Betreibern bedeutsam. Es stellt etwas gänzlich anders dar als das Wort: „Unternehmerlohn“ oder besser noch das: „Naturereignis Unternehmerlohn“.

Werden die kalkulierten Risikokosten nicht erreicht, sind die Anschaffungskosten und/oder die daraus resultierenden laufenden Kosten zu hoch und es empfiehlt sich ein Gespräch mit dem Verkäufer des Produktes über den Preis (max-I). Keinesfalls ist ein Gespräch über die nun transparente Höhe der Risikokosten mehr möglich!

Die Bedeutung von max-I

Unter **max-I** ist der maximale Gesamtinvestitionsbetrag zu verstehen, der unter den gegebenen Rahmenbedingungen gezahlt werden darf.

Die Berechnung des maximalen Gesamtinvestitionsbetrages umfasst nicht nur den Kaufpreis des Investitionsgegenstandes, sondern auch die mit ihm verbundenen bauseitigen Leistungen, die Gebühren bei Behörden usw.

max-I beruht auf der korrekten Erfassung und Berechnung jener Barwerte, welche sich im Rahmen des gewählten Betrachtungszeitraumes unter Berücksichtigung einer Kostensteigerungsrate und/oder Kostenminderungsrate in den beiden Vergleichsvarianten ergeben.

Beispiel:

Der Betreiber einer Biogas-Anlage setzt heute eine Rezeptur ein, die ihm eine be-

Tabelle 1: Im Text verwendete Abkürzungen:

aTR	anorganischer Trockenrückstand
EM	Erwerbsmassen
GM	Gärmasse (EM nach Silier- oder Lagerverlusten)
Lw.	Landwirtschaft
max-I	maximaler Investitionsbetrag
oTR	organischer Trockenrückstand
oTR _{uv}	unvergärbare organische Masse (Lignin)
oTR _v	vergärbare organische Masse
RM	Gärrestmassen
RWU	Reparatur, Wartung, Unterhaltung
TDH	Thermodruckhydrolyse
TR	Trockenrückstand
$\bar{x}$	Mittelwert
ΔU	Messunsicherheit
σ	Standardabweichung

Tabelle 2: Varianten 1 und 2

Jahr	Variante 1	Variante 2	Delta
1	100 €	100.000 €	-99.900 €
2	100 €	100 €	0 €
3	100 €	100 €	0 €
4	100 €	100 €	0 €
5	100.000 €	100 €	99.900 €
	100.400 €	100.400 €	0 €

stimmte Menge an Bioenergie zur Verfügung stellt. Durch Anschaffung eines bestimmten Investitionsgutes soll eine andere Rezeptur mit gleicher Menge an Bioenergie möglich werden, deren Rohstoffkosten allerdings erkennbar geringer sind. Diese Ausgangssituation bezeichnen wir als Variante 1.

Variante 2 wird erst möglich, wenn die dazu notwendigen Voraussetzungen durch die Anschaffung eines bestimmten Investitionsgutes hergestellt wurden.

Die Differenz der Barwerte der Rohstoffkosten aus der bisherigen Rezeptur incl. ihrer erwartbaren zukünftigen Preisentwicklung und der Barwerte der neuen Rezeptur incl. deren erwartbaren zukünftigen Preisentwicklung stellen somit die insgesamt für zukünftige Ausgaben (also die mit der Anschaffung des bestimmten Investitionsgutes verbundenen Ausgaben) verfügbaren Mittel dar.

Beträgt die Differenz beider Barwerte null, wurden somit alle verfügbaren Mittel ausgegeben.

Tabelle 3: Varianten bei 4 % Barwertzins

1	Barwert V1	Barwert V2	Delta
2	100 €	100.000 €	-99.900 €
3	96 €	96 €	0 €
4	92 €	92 €	0 €
5	89 €	89 €	0 €
	85.480 €	85 €	85.395 €
	85.858 €	100.363 €	-14.505 €

Tabelle 4: Basisdaten Strohballen

Breite (m)	1,2
Höhe (m)	0,9
Länge (m)	2,4
Volumen (m³)	2,592
Gewicht pro m³ in kg	192,90
Gewicht in t	0,5
Tonnen Durchsatz/h	30
PS-Schlepper	350
Ballen pro Stunde	60
Tonnen/ha	4
ha/h	7,5
Liter Diesel/h	60
ha	1.250
Tonnen Stroh	5.000
Anzahl Strohballen	10.000
Anzahl an Pressen	1,00
Investition pro Presse	200.000 €

Was ist denn nur dieser Barwert?

Machen wir ein Beispiel mit zwei Zahlungsströmen → Tabelle 2. Anscheinend ist es egal, für welche Variante man sich entscheidet, das Delta zwischen beiden beträgt 0 €.

Variante 1 ist zu bevorzugen, da dafür ein Sparbuch mit 85.858 € bei 4 % Zinsen ausreicht, um alle fünf Zahlungen zu bedienen. In Variante 2 reicht das nicht aus, da im Jahr 1 dem Verzinsungsvorgang schon zu viel entzogen wurde. Zinst man alle Zahlungsströme auf den Zeitpunkt t₀ ab, macht man sie so vergleichbar.

Daher:

Jahresaufwand von 100 € im Jahr 5: $(1 + 4\%)^5 - (1 + 4\%)^0 = 85,48$ €. Oder: $= K \cdot n \cdot (1+i)^n - (n-1)$.

Die Kosten für z. B. 5.000 Tonnen Weizenstroh:

Gearbeitet wird mit der Ballenpresse Krone BiG Pack 1270 VC HighSpeed. Deren technische Daten laut Hersteller → Tabelle 4.

Nun gibt es kaum vernünftige Gründe, warum der landwirtschaftliche Betrieb das Stroh zu Selbstkosten an die (im Zweifel auch eigene) BGA abgeben sollte. Da alle Nährstoffe über den Gärrest zurückkommen und das humusbildende Lignin auch nicht verlorengeht, müssen Nährstoffkosten nicht berechnet werden. Liegt allerdings ein Strohheizkraftwerk neben der BGA, wird Stroh im Umkreis mehrerer Kilometer zur Mangelware, was sich preistreibend auswirkt. Auch die aktuelle Dürre wird sich auf den Preis auswirken, was wir jedoch nicht als langfristiges Merkmal bewerten. Gerade vor dem volatilen Hintergrund sind langfristig planba-

re Erlöse für den Verkäufer durch einen langfristigen und indexierten Liefervertrag mit einem Zuschlag von 25 €/t (EM)⁻¹ durchaus attraktiv.

In dem Strohlager befinden sich nun 10.000 Strohballen mit einer Häcksellänge von 44 mm. Der Tagesbedarf der BGA beträgt 27 Ballen. Diese Ballen müssen aus dem mit Folie abgedeckten Lager (im Zweifel aus 8 Metern Stapelhöhe) entnommen werden und zu einer Ballenaufgabe von rund 33 Meter Länge (bei zweimaliger Belegung pro Tag) gebracht werden. Ein Mitarbeiter muss mit dem Teleskoplader dreimal je einen Ballen aus dem Strohlager entnehmen, diese dort aufeinander stapeln, damit neunmal zur Ballenaufgabe und zurück fahren. Er muss die drei Ballen vor der Ballenaufgabe wieder absetzen und einzeln auf die Ballenaufgabe bringen. Dort muss er mit einem Messer die sechs Bänder der 27 Ballen durchtrennen und sie mit dem Teleskoplader herausziehen. Um diese Tagesmenge mithilfe von Personal, anstelle vollautomatisierter Technik, durchzuführen, benötigt man:

- ▶ täglich zwei Arbeitsstunden,
- ▶ eine Ballenaufgabe mit Kettenzug und
- ▶ einen Schredder zum Auflösen der Ballen.

Deren Kosten sind der jeweiligen Technik (Thermopressurhydrolyse, Extruder) zur Verarbeitung von Stroh hinzuzurechnen.

Bei 10.000 Ballen pro Jahr spricht zwar viel für eine vollautomatisierte Lösung mit einem Roboterkrane (200.000 €), Entgarner und Ballenauflöser (300.000 €), wie sie in dänischen Strohheizkraftwerken zu finden sind, es würde aber die Gesamtkosten enorm erhöhen. Wir haben drei technische Varianten, wobei Variante 1 und 2 die obigen Massen in Ballenform zu bewältigen haben, die Pellets aber nicht. Abgesehen von den Pellets, die mit dem Premos 5000 direkt auf dem

Tabelle 5: Einzelpositionen

Annuität u. RWU Presse	6,93 €/t
Schleppermiete	0,96 €/t
Dieselskosten	2,53 €/t
Personalk. Pressen/Schlepper	0,77 €/t
Bindegarnkosten	1,04 €/t
Sammelwagen Feld	3,47 €/t
Teleskopladerk. aufladen	1,04 €/t
Transportkosten bei 15 km	1,71 €/t
Teleskopladerk. abladen	1,24 €/t
Folienabdeckung Silo	0,45 €/t
Selbstkosten bis BGA	20,13 €/t

Tabelle 6: Verkaufspreis für Stroh

Gewinnzuschlag Lw.	25,00 €/t
Gewinnzuschlag Lw.	124,17%
Verkaufspreis Lw.	45,13 €/t
Strohkosten bis BGA	225.666 €



SN DRYLOCK[®]

Über- & Unterdrucksicherung, auch als SN DRYLOCK^{SMART} für Ihre Biogasanlage lieferbar!

Flüssigkeitslos - absolut frostsicher
Wartungsarm - keine tägliche Kontrolle
Stufenlos einstellbare Auslösedrücke - bis 15 mbar
Ultrakompakt - für alle Flansche!

energy decentral
 POWERING NEW IDEAS

Halle 25 Stand E23



Die wirtschaftlichste Lösung für Ihre Biogasanlage!

Feld erzeugt wurden, gelten diese Arbeitsschritte für alle Techniken, die Strohballen verarbeiten sollen. Sie sind für die hier betrachteten Verfahren Thermodruckhydrolyse und Extruder somit gleich, lediglich die zu verarbeitenden Massen und damit zusammenhängend der Preis für das Stroh ändern sich in Abhängigkeit von dem Gasertrag, der dem jeweiligen Verfahren zugeschrieben wird.

Bei den Pellets hingegen wird entweder eine trockene Lagerhalle mit entsprechender Schüttvorrichtung und Förderband gewählt oder die Pellets werden unter die Siloware (vorzugsweise Zuckerrüben) gebracht, wo sie gleich auch die austretenden Sickersäfte aufnehmen und eingeweicht werden. Dann können sie mit dem Radlader zum Beschicker gebracht und in den Fermenter eingetragen werden. Letztere Variante werden wir betrachten.

Erwartbare Gaserträge aus Stroh:

Bevor wir uns mit den speziellen Gaserträgen aus Stroh beschäftigen, hier einige ganz grundsätzliche Erläuterungen:

Oechsner¹ gibt den wasserfreien Heizwert von Stroh in der Verbrennung mit $17.208 \text{ J} \cdot \text{g} \text{ (oTR)}^{-1}$ an. Umgerechnet sind dies 4.780 kWh oder $479,53 \text{ Nm}^3 (\text{CH}_4) \cdot \text{t} \text{ (oTR)}^{-1}$. Darin enthalten ist die anaerob unvergärbare Energie aus dem Lignin. Reinhold² gibt für den Ligningehalt von Stroh eine Bandbreite von 10 % bis 15 % des TR an. Nach Boie und Born³ errechnet sich für Lignin eine Energie von $26.926 \text{ J} \cdot \text{g} \text{ (oTR)}^{-1}$. Legt man nun einen Masseanteil von 12,5 % des TR für das Lignin an, ergibt sich folgende Rechnung → Tabelle 7.

¹ 4 Oechsner-Energietag 06-02-09.pdf

² gfg_band_38_etagungs-band_fachtagung_strohenergie_v05_1.pdf

³ o.V.

Von den $480 \text{ Nm}^3 (\text{CH}_4) \cdot \text{t} \text{ (oTR)}^{-1}$ entfallen $94 \text{ Nm}^3 (\text{CH}_4) \cdot \text{t} \text{ (oTRuv)}^{-1}$ oder 935 kWh auf das Lignin und $386 \text{ Nm}^3 (\text{CH}_4) \cdot \text{t} \text{ (oTRv)}^{-1}$ oder 3.845 kWh sind ohne Berücksichtigung des Energiebedarfs des Metabolismus vergärbare. Andere Werte sind demnach nur möglich, wenn auch Lignin vergoren wird, da sonst die enthaltene Gesamtenergie bei der Verbrennung im Wege der Vergärung überschritten würde.

Legt man nun die Mittelwerte für TR und oTR an, die sich aus einer Recherche ($n=15$) in der Fachliteratur ergeben, so sind gerundet 86 % TR und 92 % oTR in Ansatz zu bringen → Tabelle 8.

Tabelle 7: Maximal vergärbare von $480 \text{ Nm}^3 (\text{CH}_4) \cdot \text{t} \text{ (oTR)}^{-1}$ sind $386 \text{ Nm}^3 (\text{CH}_4) \cdot \text{t} \text{ (oTR)}^{-1}$

	Masse %	Masse kg	kWh tGM	kWh %
(TR-oTR)	100 %	1.000	4.780	100 %
oTR _{uv}	12,5 %	125	935	20 %
oTR _v	87,5 %	875	3.845	80 %

Tabelle 8: Maximal vergärbare bei 86 % TR, 92 % oTR

	Masse %	Masse kg	kWh tGM	kWh %
GM	100 %	1.000	3.782	100 %
H ₂ O	14 %	140	0	0 %
TR	86 %	860	0	0 %
aTR	7 %	69	0	0 %
(TR-oTR)	79 %	791	3.782	100 %
oTR _{uv}	11 %	91	740	20 %
oTR _v	70 %	700	3.042	80 %



Tabelle 9: TR / oTR Werte Biomethantest

Probe	TR [%] $\bar{x}$	σ TR	Δ U TR [%]	oTR [%] $\bar{x}$	σ oTR	Δ U oTR [%]
Inokulum	2,13	0,005	0,228	59,02	0,456	0,773
TDH	34,16	0,115	0,335	90,87	0,146	0,161
Extrudiert	35,99	2,173	6,038	91,31	1,192	1,305
Pelletiert	90,10	0,093	0,103	88,29	1,095	1,240

Tabelle 10: Eingewogene Massen

Probe	m _{KS} [g]	m _{Sub.} [g]	m _{oTR, Substrat} [g]	m _{oTR, KS} / m _{oTR}
Klärschlamm	300	0	0	0
TDH	300	5,8	1,800	0,500
Extrudiert	300	5,5	1,808	0,502
Pelletiert	300	2,6	2,068	0,575

Bei 86 % TR und 92 % oTR liegt die maximal vergärbare Energie demnach bei 3.042 kWh oder 305 Nm³ (CH₄) · t (GM)⁻¹, da 74 Nm³ (CH₄) · t (GM)⁻¹ oder 740 kWh · t (GM)⁻¹ auf das Lignin entfallen. Um diese Werte zu erreichen, sind Investitionen in Technik nötig und nicht jede Technik erreicht diese Werte.

Reproduzierbarkeit der Laborwerte:

Die Laborergebnisse wurden im Rahmen des LSBL 2 Projektes erhoben, gefördert durch das INTERREG 5a.

Weitere Informationen über das Projekt unter www.interreg5a.eu

Die in diesem Artikel vorgestellten Messergebnisse wurden im Juni / Juli 2018 an der Hochschule Flensburg aufgenommen und ausgewertet. Im Folgenden werden der Versuchsaufbau sowie die Ergebnisse dargestellt. Der Versuchsaufbau wurde mit einem automatisierten Biomethan Potentialtest (AMPTS – 2, der Firma Bio-

Tabelle 11: Gemessene Gaserträge (100 % TR 100 % oTR)

Probe	ϕ Nm ³ (CH ₄) · t (oTR) ⁻¹	kWh TR/oTR 100 %
TDH	276	2.751 kWh · t (oTR) ⁻¹
Extrudiert	197	1.962 kWh · t (oTR) ⁻¹
Pelletiert	247	2.460 kWh · t (oTR) ⁻¹

Tabelle 12: Gemessene Gaserträge (86 % TR 92 % oTR)

Probe	ϕ Nm ³ (CH ₄) · t (oTR) ⁻¹	kWh TR 86 % oTR 92 %
TDH	276	2.177 kWh · t (GM) ⁻¹
Extrudiert	197	1.552 kWh · t (GM) ⁻¹
Pelletiert	247	1.945 kWh · t (GM) ⁻¹

proces-Control aus Schweden) mit nachgeschalteter Natronlauge-Waschlösung zur Elimination des Kohlenstoffdioxides durchgeführt.

Zur Vorbereitung auf diese Gärtests wurden die zu untersuchenden Stoffe hinsichtlich ihres Trockenrückstandes und ihres organischen Trockenrückstandes (Norm DIN EN 12880:2001-02) geprüft. Eine Korrektur um die flüchtigen organischen Substanzen analog Weissbach (Weißbach and Strubelt Cornelia) wurde nicht vorgenommen. Die Beimpfung mit Bakterien erfolgte durch Klärschlamm der kommunalen Kläranlage Flensburg. Die Vergärung erfolgte unter mesophilen (38 ± 1 °C) Bedingungen und als Abbruchbedingung wurde die Gasbildungsrate < 0,5 % / 3 d angesetzt.

Die Strohpellets weisen einen Trockenrückstandsgehalt von rund 90 % auf, mit einem organischen Anteil von rund 88 %. Es zeigt sich ein erheblicher Unterschied zu den vorbehandelten Proben der TDH sowie mit dem Extrudieren. Dieser Unterschied basiert darauf, dass beide Verfahren feuchtigkeitsbasiert (Anmaischen mit Frischwasser und/oder Fermentationsrückständen) arbeiten. Der organische Trockenrückstandsgehalt liegt bei beiden Proben bei rund 91 %.

Um das nach VDI 4630 geforderte oTR-Verhältnis herzustellen, wurden die in Tabelle 10 dargestellten Massen in die Fermentationsbehältnisse eingewogen.

In Tabelle 11 und 12 sind die Ergebnisse der Gasertragstests aufgezeigt.

Tabelle 11 zeigt als Bezugsbasis für den Energiewert den Wert von 100 % TR und 100 % oTR, da es sich um Nm³ CH₄ pro Tonne organische Masse handelt.

Tabelle 12 zeigt die Werte bei 86 % TR und 92 % oTR in kWh.

Es zeigt sich, dass die Pelletierung und die Thermo- druckhydrolyse den höchsten Einfluss auf den Gasertrag bei Stroh haben. Die Gaserträge liegen mit 197,

Abbildung 1: AMPTS



FOTO: RENÉ CASARETTO

Der in Abbildung 1 dargestellte Messaufbau zeigt auf der rechten Seite das Wasserbad mit den Probeflaschen sowie den elektrischen Rührern. In der Mitte ist die Natronlauge-CO₂ Falle dargestellt und auf der linken Seite ist die Gasvolumenmessung dargestellt.

**Tabelle 13: Gaserträge aus Stroh bei
86 % TR, 92 % oTR:**

Thermodruckhydrolyse	kWh·t (GM) ⁻¹
Angebotsdaten	2.760
Laborwert (VDI 4630)	2.177
Extrusion	kWh·t (GM) ⁻¹
Angebotsdaten	2.366
Laborwert (VDI 4630)	1.552
Pelletiert	kWh·t (GM) ⁻¹
Angebotsdaten (VDI 4630)	2.366
Laborwert (VDI 4630)	1.945

**Tabelle 14: Literaturdaten in Nm³ (CH₄)·t (oTR)⁻¹
und in kWh·t (GM)⁻¹ bei TR 86 % oTR 92 %**

gfg_band_38 v05_1.pdf, Seite 274	295,00	2.358
Stroh LfL-Bayern.pdf	187,55	1.479
KTBL 3. Auflage 2013	210,00	1.656
Stroh LfL-Bayern.pdf NH ₃	223,19	1.760
Stroh LfL-Bayern.pdf NaOH	243,38	1.919
Dr. Reinhold (LfL Thüringen) x̄	292,00	2.303
Online European Feedstock Atlas	268,00	2.114

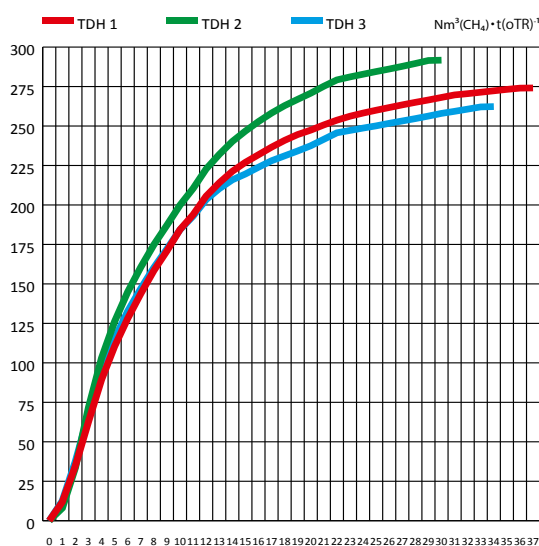
247 bzw. 276 Nm³ (CH₄)·t (oTR)⁻¹ über den Literaturwerten (Tabelle 14, Stroh LfL Bayern.pdf) mit 187,55 Nm³ (CH₄)·t (oTR)⁻¹.

Augenscheinlich gibt es Qualitätsunterschiede der unterschiedlichen Stroh-Varianten. Der Einfluss der Extrusion ließ sich nicht signifikant in Bezug auf die allgemeinen Messunsicherheiten nachweisen (+4,93 %). Im Mittelwert der Tabelle 12 [245,59 Nm³ (CH₄)·t (oTR)⁻¹] zeigt sich, dass nur die Thermodruckhydrolyse einen positiven, signifikanten Effekt auf die Vergärbarkeit von Stroh aufzeigt (+12,38 %).

Bedingt durch die Heterogenität des Rohstoffes konnte das gewünschte Verhältnis von 0,5 (VDI 4630) nicht in jedem Fall getroffen werden, eine Fermentationseinschränkung ist dennoch nicht zu erwarten.

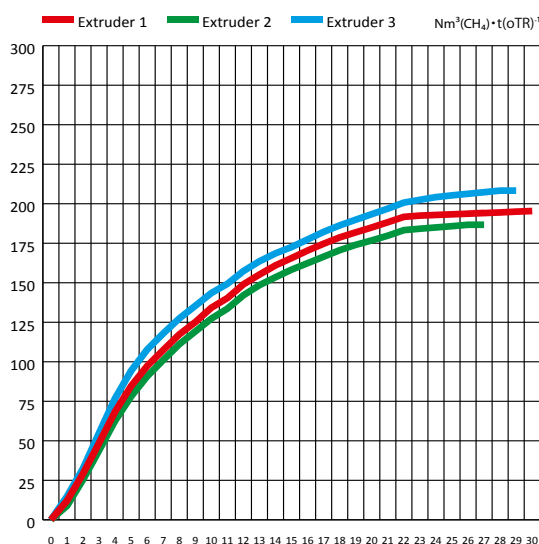
Aus Tabelle 14 ergibt sich ein Mittelwert von 1.751 kWh·t (GM)⁻¹. Durch technische Einwirkungen erhöht sich die Ausbeute unterschiedlich, da z. B. beim Pelletieren Temperaturen zwischen 70 bis 100 °C bei bis zu 2.000 bar Druck erreicht werden sollen. Da keine Langzeitstudien mit entsprechenden Zeitreihen vorliegen, nehmen wir die Laborwerte aus Tabelle 13 als Ausgangsbasis für die Berechnung und ermitteln anschließend in sechs Szenarien die Möglichkeiten, die zur Rentabilität führen.

Abbildung 2: TDH



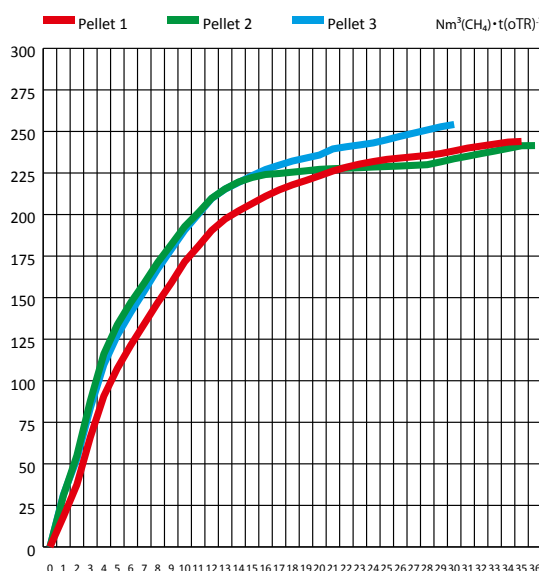
In Abbildung 2 ist die Gasertragskurve der Dreifachwiederholung von thermodruckhydrolysierten Stroh aufgezeigt. Es zeigen sich z.T. größere Abweichungen, welche der Inhomogenität des Ausgangsrohstoffes geschuldet sind.

Abbildung 3: Extrudieren



In Abbildung 3 sind die Ergebnisse des extrudierten Strohs aufgezeigt. Hier ist eine geringere Streuung der Kurven aufgezeigt, welche für eine verbesserte Homogenisierung des Ausgangsrohstoffes spricht.

Abbildung 4: Pelletieren



In Abbildung 4 ist die Gasertragskurve der Pelletierung aufgezeigt. Hier ist die geringste Streuung, insbesondere zwischen der Kurve Grün und Rot, zu erkennen. Dies spricht augenscheinlich für eine gute Homogenisierung

Abbildung 5: Thermodruckhydrolyse (unterliegt Druckbehälterrichtlinie)
ersetzt 12.857 t (EM) Maissilage mit 14.668.778 kWh Bioenergie durch
6.876 t (EM) Stroh mit 14.668.778 kWh.



FOTO: RENÉ CASARETTO

Mittels TDH ist es möglich, Rohstoffe einzusetzen, die aufgrund ihrer schweren Vergärbarkeit von der herkömmlichen Technik in der gegebenen Verweilzeit nicht in dem Umfang vergoren werden können, dass sich ihr Einsatz ökonomisch rechtfertigen ließe.

Es eröffnen sich also Möglichkeiten für neue Rezepturen durch den Einsatz dieser Technik!

Die für den Einsatz in dieser Technik auf höchstens 30 % TR konfektionierten Rohstoffe werden kurzzeitig auf rund 160 Grad Celsius erhitzt, dabei einem Druck von rund 7 bis 8 bar ausgesetzt und danach auf Umgebungsdruck entspannt, wodurch das Wasser in den Zellen schlagartig verdampft und die Zellen zerplatzen. Mit der Thermodruckhydrolyse soll Maissilage → Tabelle 16 durch Stroh ersetzt werden → Tabelle 17.

Tabelle 15: Daten zur TDH bei 7.884 h

Maximaler Durchsatz GM	2,5 t·h ⁻¹
Maximaler Durchsatz TR	0,75 t·h ⁻¹
zusätzl. Wasserverbrauch	13.949 t·a ⁻¹
zusätzl. Stromverbrauch	251.162 kWh _{el} ·a ⁻¹
zusätzl. Wärmeverbrauch	2.378.142 kWh _{th} ·a ⁻¹
Thermalölverbrauch	200 l·a ⁻¹
Komponenten:	
TDH	1.000.000 €
Bauseitige Leistung	200.000 €
Thermalölanlage	150.000 €
Ballenaufgabe	50.000 €
Ballenschredder	30.000 €
Zusätzliches Lagervolumen 70 €·(m ³) ⁻¹	271.554 €
Summe	1.701.554 €

Die Differenz der Barwerte beträgt -2.595.775 €.

Die Barwerte aller mit der neuen Rezeptur verbundenen Kosten (incl. ihrer Steigerungsraten) der kommenden 10 Jahre dürfen diesen Betrag nicht übersteigen.

Es entstehen die folgenden zusätzlichen laufenden Kosten → Tabelle 20. ▶

Tabelle 16: Maissilage anhand Realdaten (LSBL2)

Erwerbsmassen Maissilage (EM)	12.587 t
Siliverluste (7 %)	881 t
Gärmasse Maissilage (GM)	11.706 t
Trockenrückstand (TR) 34,42 %	4.029 t
anorganischer Trockenrückstand (aTR) 3,52 %	142 t
organischer Trockenrückstand (oTR) 96,48 %	3.887 t
Rohgas	2.829.975 m ³
CH ₄ -Gehalt	52,00 %
Energieausbeute in kWh	14.668.778
Energiedichte in kWh pro Tonne GM	1.253
Preis pro Tonne EM	45,00 €
Rohstoffkosten	566.412 €
verstoffwechselte Masse (stöchiometrisch)	3.549 t
entspricht einem Ausbeutegrad von	91,29 %
Gärrest (RM)	7.985 t
Ausbringkosten (3,00 € pro Tonne)	23.956 €

Tabelle 17: Strohprognose (1.719 ha, 13.751 Ballen)

Erwerbsmassen Stroh (EM)	6.876 t
Lagerverluste (2 %)	138 t
Gärmasse Stroh (GM)	6.738 t
Trockenrückstand (TR) 86,00 %	5.795 t
anorganischer Trockenrückstand (aTR) 8 %	464 t
organischer Trockenrückstand (oTR) 92,00 %	5.331 t
Rohgas	2.829.975 m ³
CH ₄ -Gehalt	52 %
Energieausbeute in kWh	14.668.778
Energiedichte in kWh pro Tonne GM	2.177
Preis pro Tonne EM	44,47 €
Rohstoffkosten	305.749 €
verstoffwechselte Masse (stöchiometrisch)	3.549 t
entspricht einem Ausbeutegrad von	66,56 %
Wasserszufuhr zur Verdünnung auf 30 % TR	12.834 t
Gärrest (RM)	15.852 t
Ausbringkosten (3,00 € pro Tonne)	47.556 €



ABGASWÄRMETAUSCHER

Lösungen für alle Systeme

Holen Sie
aus Ihrer
Anlage das
MAXIMUM!

Tabelle 18: Kostensteigerung 2,00 %, Barwert 4,50 %

Jahr	Maissilage	Ausbringk.	Saldo	Barwert
2019	566.412 €	23.956 €	590.368 €	564.945 €
2020	577.740 €	24.435 €	602.175 €	551.430 €
2021	589.295 €	24.923 €	614.219 €	538.238 €
2022	601.081 €	25.422 €	626.503 €	525.361 €
2023	613.103 €	25.930 €	639.033 €	512.793 €
2024	625.365 €	26.449 €	651.814 €	500.525 €
2025	637.872 €	26.978 €	664.850 €	488.551 €
2026	650.630 €	27.517 €	678.147 €	476.863 €
2027	663.642 €	28.068 €	691.710 €	465.455 €
2028	676.915 €	28.629 €	705.544 €	454.319 €
Σ	6.202.055 €	262.307 €	6.464.363 €	5.078.480 €

Tabelle 19: Kostensteigerung 2,00 %, Barwert 4,50 %

Jahr	Stroh	Ausbringk.	Saldo	Barwert
2019	305.749 €	47.556 €	353.305 €	338.091 €
2020	311.864 €	48.507 €	360.371 €	330.002 €
2021	318.101 €	49.477 €	367.578 €	322.108 €
2022	324.463 €	50.466 €	374.930 €	314.402 €
2023	330.953 €	51.476 €	382.428 €	306.880 €
2024	337.572 €	52.505 €	390.077 €	299.538 €
2025	344.323 €	53.555 €	397.878 €	292.372 €
2026	351.210 €	54.626 €	405.836 €	285.378 €
2027	358.234 €	55.719 €	413.953 €	278.551 €
2028	365.399 €	56.833 €	422.232 €	271.887 €
Σ	3.347.868 €	520.720 €	3.868.588 €	3.039.208 €

Tabelle 20: Auflistung der zusätzl. Kosten mit 2 % Index

	2019	2019 - 2028
Annuität (3,86 % Zinsen)	208.327 €	2.083.267 €
Wärme bei 3,00 ct	71.344 €	781.200 €
Strom bei 17,00 ct	42.698 €	467.527 €
Wasser bei 1,00 €	12.578 €	137.723 €
RWU	60.000 €	656.983 €
Personalk. 6 h	43.800 €	479.598 €
Risikokosten (9 %)	153.140 €	1.676.839 €
Summe Kosten	591.886 €	6.283.137 €
Barwert Kosten		4.947.898 €
Summe Ersparnis	237.063 €	2.595.775 €
Barwert Ersparnis		2.039.271 €
Barwertsaldo		-2.908.626 €



Die Wärmerückgewinnungssysteme von DCL können als Erstausrüstungskomponenten oder als Austauschkomponente für vorhandene, kombinierte oder separate Wärmerückgewinnungs- und Emissionskontrollsysteme konstruiert werden. Direktgekoppelte Systeme mit dem DCL Mini-QUICK-LID-Gehäuse sind auch für stringentere Emissionsgrenzwerte, da sie Platz für ein zweites Katalysatorelement bieten.

www.dcl-inc.eu

Tabelle 21: Sechs Szenarien mit einem Barwertsaldo von null

1.	Die Risikokosten fallen auf -10,87 %, der Investor zahlt jährlich 184.985 € ein.
2.	Der Preis der Maissilage steigt von 45,00 € pro Tonne auf 71,86 €.
3.	Die Energie der Maissilage sinkt von 1.253 kWh auf 802 kWh.
4.	Das Investitionsvolumen sinkt von 1.701.554 € auf 32.788 € (max-I).
5.	Der Preis des Stroh fällt von 44,47 € pro Tonne auf -4,71 €.
6.	Die Energie aus dem Stroh steigt von 2.177 kWh auf 8.597 kWh.

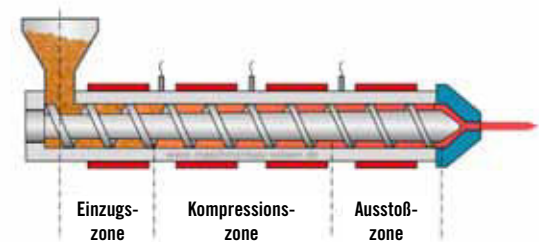
Unter diesen Bedingungen ist die Investition nicht rentabel, unter welchen wird sie es?

Unter den vorgenannten sechs verschiedenen Bedingungen sind (mit Ausnahme von Nr. 1) die Risikokosten von jeweils 153.140 € jährlich gedeckt.

Die Szenarien 1, 4, 5 und 6 dürfen als unrealistisch oder unerreichbar betrachtet werden. 2 und 3 hingegen nicht. Die mit der Investition ursächlich verbundenen zusätzlichen Kosten (ohne die Risikokosten sind es 438.746 € im Jahr 2019) liegen zu deutlich über der Ersparnis aus den Rohstoffkosten von 237.063 € im Jahr 2019. Allein die Kapitalkosten (Zins und Tilgung) zehren 88 % der Ersparnis auf. Selbst wenn die Energieausbeute der Maissilage um 20 % fällt und die aus dem Stroh um 5,65 % steigt, bleibt das Ergebnis sogar dann negativ, wenn die Risikokosten 0,00 € betragen.

Legt man die indexierten Zusatzkosten (ohne Risikokosten) auf den indexierten Strohpreis incl. indexierter Ausbringkostendifferenz um, errechnet sich ein Preis von: 60,02 € + 67,00 € = 127,02 € pro Tonne Stroh. Auf Basis der Barwerte kostet die Produktion einer kWh Bioenergie aus der Maissilage 3,46 ct·kWh⁻¹ und die aus dem Stroh 5,44 ct·kWh⁻¹. Bei einem BHKW-Wirkungsgrad von 40 % demnach 8,66 ct·kWh_{el}⁻¹ bei Mais und 13,61 ct·kWh_{el}⁻¹ bei TDH-Stroh.

Abbildung 6: Stroh extrudieren ersetzt 8.789 t (EM) Maissilage mit 10.243.200 kWh Bioenergie durch 6.735 t (EM) Stroh mit 10.243.200 kWh:



Um die geforderte Bioenergie von 10.243.200 kWh mit einem Extruder zu erzeugen, durch den ein Gasertrag von 196,8 Nm³ (CH₄)-t (oTR)⁻¹ bzw. 1.552 kWh t (GM)⁻¹ erreicht wird, benötigt man 6.735 Tonnen Stroh (EM) von 1.684 ha bzw. 13.469 Ballen.

Aus den Daten von → Tabelle 22 ergibt sich eine Änderung im Massestrom, da das Stroh auf einen Soll-TR von 50 % vor dem Extrudieren verdünnt werden muss.

Tabelle 22: Daten zur Extrusion bei 7.884 h

Durchsatz gemischte GM	1,48 t·h ⁻¹
Maximaler TR-Gehalt	50 %
zusätzl. Wasserverbrauch	2.532 t·a ⁻¹
Rezirkulat mit 6 % TR	2.532 t·a ⁻¹
zusätzl. Stromverbrauch	211.200 kWh _{el} ·a ⁻¹
Komponenten:	
Extruder	600.000 €
Bauseitige Leistung	100.000 €
Ballenaufgabe	50.000 €
Ballenschredder	30.000 €
Zusätzliches Lagervolumen 70 €·(m ³) ⁻¹	33.055 €
Summe	813.055 €

Biogaskontor Köberle GmbH
Wir können mit Druck umgehen

Besuchen Sie uns auf der
EUROTIER / EnergyDecentral
13. – 16. November 2018
in Hannover
Halle 25 Stand D22



Bullaugen für alle Einsatzfälle



Für Kernbohrung
oder Futterhülle
Ø300 + Ø400 mm



Auf Stahlplatte nach
Kundenmaß



In Tauchhülle für
Blick um die Ecke



**Über-/Unterdrucksicherung
ÜU-TT**
für Folienhauben



**Über-/Unterdrucksicherung
ÜU-GD**
für Betondecken

Zubehör: Leuchten, Rosetten, Futterhüllen, Sonnenschutzhauben, etc.

Weitere Komponenten: Luftdosierstationen zur Entschwefelung, Füllstandsüberwachung, Messtechnik, Warnschilder

Tabelle 23: Wasserberechnung Extruder

Stroh	6.600 t (GM)·a ⁻¹
Wasser mit 0 % TR	2.532 t (GM)·a ⁻¹
Rezirkulat mit 6 % TR	2.532 t (GM)·a ⁻¹
Gesamtmasse	11.664 t (GM)·a ⁻¹

Tabelle 24: Änderung im Massestrom incl. Frischwasser

	Zulauf Gärmasse	Ablauf Gärrest
Alt (Mais)	8.174 t	5.576 t
Neu (Stroh)	9.132 t	6.534 t

Tabelle 25: Maissilage anhand Realdaten (LSBL2)

Erwerbsmassen (EM)	8.789 t
Siliververluste (7 %)	615 t
Gärmassen (GM)	8.174 t
Trockenrückstand (TR) 34,42 %	2.814 t
anorganischer Trockenrückstand (aTR) 3,52 %	99 t
organischer Trockenrückstand (oTR) 96,48 %	2.715 t
Rohgas	1.976.170 m ³
CH ₄ -Gehalt	52,00 %
Energieausbeute in kWh	10.243.200
Energiedichte in kWh pro Tonne GM	1.253
Preis pro Tonne EM	45,00 €
Rohstoffkosten	395.525 €
verstoffwechselte Masse (stöchiometrisch)	2.478 t
entspricht einem Ausbeutegrad von	91,29 %
Gärrest (RM)	5.576 t
Ausbringkosten (3,00 € pro Tonne)	16.728 €

Ohne diese Flüssigkeitsmenge würde der Verbrauch an elektrischer Energie zum Extrudieren deutlich höher liegen.

Nach dem Extrudieren wird das Gemisch aus Stroh, Rezirkulat und Frischwasser in den Fermenter gepumpt. Um eine pumpfähige Masse mit 14 % TR-Gehalt zu erzeugen, wird wiederum Rezirkulat zugeführt.

Mit dem Extruder soll die unter → Tabelle 25 beschriebene Maissilage durch Stroh → Tabelle 26 ersetzt werden. ➔

Tabelle 26: Strohprognose (1.684 ha, 13.469 Ballen)

Erwerbsmassen (EM)	6.735 t
Lagerverluste (2 %)	135 t
Gärmassen (GM)	6.600 t
Trockenrückstand (TR) 86,00 %	5.676 t
anorganischer Trockenrückstand (aTR) 8 %	454 t
organischer Trockenrückstand (oTR) 92,00 %	5.222 t
Rohgas	1.976.170 m ³
CH ₄ -Gehalt	52,00 %
Energieausbeute in kWh	10.243.200
Energiedichte in kWh pro Tonne GM	1.552
Preis pro Tonne EM	44,48 €
Rohstoffkosten	299.587 €
verstoffwechselte Masse (stöchiometrisch)	2.478 t
entspricht einem Ausbeutegrad von	47,45 %
Wasserzufuhr zur Verdünnung auf 50 % TR	2.532 t
Gärrest (RM)	6.534 t
Ausbringkosten (3,00 € pro Tonne)	19.602 €

FERRUM Scon

Die Alternative



Die 25 kg Säcke von FERRUM Scon nutze ich bei meinem Crossfit-Training alternativ zur Hantel und in meinen Gasfiltern alternativ zur Aktivkohle. FERRUM Scon entschwefelt Biogas effizient und kostengünstig!

www.schaumann-bioenergy.eu · Telefon +49 4101 218-5400

Kompetenz in Biogas
SCHAUMANN
 BioENERGY

Tabelle 27: Kostensteigerung 2,00 %, Barwert 4,50 %

Jahr	Maissilage	Ausbringk.	Saldo	Barwert
2019	395.525 €	16.728 €	412.254 €	394.501 €
2020	403.436 €	17.063 €	420.499 €	385.063 €
2021	411.505 €	17.404 €	428.909 €	375.851 €
2022	419.735 €	17.752 €	437.487 €	366.859 €
2023	428.129 €	18.107 €	446.236 €	358.083 €
2024	436.692 €	18.469 €	455.161 €	349.516 €
2025	445.426 €	18.839 €	464.264 €	341.155 €
2026	454.334 €	19.215 €	473.550 €	332.993 €
2027	463.421 €	19.600 €	483.021 €	325.027 €
2028	472.689 €	19.992 €	492.681 €	317.251 €
Σ	4.330.892 €	183.169 €	4.514.061 €	3.546.300 €

Tabelle 28: Kostensteigerung 2,00 %, Barwert 4,50 %

Jahr	Stroh	Ausbringk.	Saldo	Barwert
2019	299.587 €	19.602 €	319.188 €	305.443 €
2020	305.578 €	19.994 €	325.572 €	298.136 €
2021	311.690 €	20.394 €	332.084 €	291.004 €
2022	317.924 €	20.802 €	338.725 €	284.042 €
2023	324.282 €	21.218 €	345.500 €	277.247 €
2024	330.768 €	21.642 €	352.410 €	270.614 €
2025	337.383 €	22.075 €	359.458 €	264.140 €
2026	344.131 €	22.516 €	366.647 €	257.821 €
2027	351.013 €	22.967 €	373.980 €	251.653 €
2028	358.034 €	23.426 €	381.460 €	245.632 €
Σ	3.280.389 €	214.634 €	3.495.023 €	2.745.731 €

Die Differenz der Barwerte beträgt -800.568 €. Die Barwerte aller mit der neuen Rezeptur verbundenen Kosten (incl. ihrer Steigerungsraten) der kommenden 10 Jahre dürfen diesen Betrag nicht übersteigen.

Tabelle 29: Auflistung der zusätzl. Kosten mit 2 % Index

	2019	2019 - 2028
Annuität (3,86 % Zinsen)	99.545 €	995.449 €
Wärme bei 3,00 ct	0 €	0 €
Strom bei 17,00 ct	35.904 €	393.139 €
Wasser bei 1,00 €	2.532 €	27.725 €
RWU	40.653 €	445.136 €
Personalk. 7 h	51.100 €	559.531 €
Risikokosten (9 %)	73.175 €	801.245 €
Summe Kosten	302.909 €	3.222.224 €
Barwert Kosten		2.537.052 €
Summe Ersparnis	93.065 €	1.019.038 €
Barwert Ersparnis		800.568 €
Barwertsaldo		-1.736.483 €

Es entstehen die folgenden zusätzlichen laufenden Betriebskosten → Tabelle 29.

Unter diesen Bedingungen ist die Investition nicht rentabel, unter welchen wird sie es?

Die Ersparnis im Jahr 2019 beträgt dann 93.065 €, wenn die Bioenergie von 1.253 kWh pro Tonne Maissilage ausgebeutet wird. Die Kapitalkosten (Zins und Tilgung) betragen 99.454 €. Weder für die Betriebskosten noch für die Risikokosten ist unter diesen Bedingungen Raum. Legt man die indexierten Zusatzkosten (ohne Risikokosten) auf den indexierten Strohpreis incl. indexierter Ausbringkostendifferenz um, errechnet sich ein Preis von: $52,36 € + 35,95 € = 88,31 €$ pro Tonne Stroh. Auf Basis der Barwerte kostet die Produktion einer kWh Bioenergie aus der Maissilage $3,46 \text{ ct} \cdot \text{kWh}^{-1}$ und die aus dem Stroh $5,16 \text{ ct} \cdot \text{kWh}^{-1}$. Bei einem BHKW-Wirkungsgrad von 40 % demnach $8,66 \text{ ct} \cdot \text{kWh}_{\text{el}}^{-1}$ bei Mais und $12,89 \text{ ct} \cdot \text{kWh}_{\text{el}}^{-1}$ bei extrudiertem Stroh.

Trocknungstechnik vom Profi

Modular | Effizient | Leistungsstark

Der RondoDry: Rotationstrockner zur Verdunstung von Flüssigkeiten

- Äußerst niedriger Stromverbrauch mit nur ca. 1 kW el.
- Hohe Verdunstungsleistung 1 l/kWh th.
- Ganzjährige, effiziente Wärmeabnahme



Fliegl
ENERGY

Wir sind Fliegl.

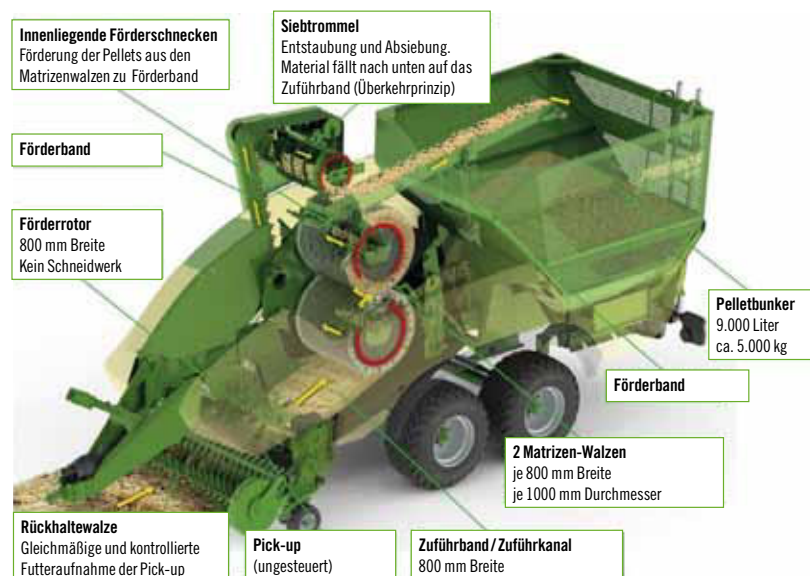
www.fliegl.com

Tabelle 30: Sechs Szenarien mit einem Barwertsaldo von null

1.	Die Risikokosten fallen auf -15,83 %, der Investor zahlt jährlich 128.689 € ein.
2.	Der Preis der Maissilage steigt von 45,00 € pro Tonne auf 67,97 €.
3.	Die Energie der Maissilage sinkt von 1.253 kWh auf 846 kWh pro Tonne.
4.	Das Investitionsvolumen sinkt von 780.000 € auf 13.970 € (max-I).
5.	Der Preis des Stroh sinkt von 44,48 € pro Tonne auf 14,51 €.
6.	Die Energie aus dem Stroh steigt von 1.522 kWh auf 3.389 kWh.

Verfahrensvariante Strohpellets

Um die geforderte Bioenergie von 1.847.750 kWh mit Pellets von einem Premos 5000 zu erzeugen, durch die ein Gasertrag von $247 \text{ Nm}^3 (\text{CH}_4) \cdot \text{t} (\text{oTR})^{-1}$ bzw. $1.945 \text{ kWh t (GM)}^{-1}$ erreicht wird, benötigt man 1.000 Tonnen Weizenstroh (EM) von 250 ha. Damit ist die volle Auslastung mit $5,0 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ zur Druschzeit mit 20 Tagen gegeben. Weitere Massen können noch stationär (was der Grundidee eines solchen Vollernters widerspricht) verarbeitet werden, was aber deren Ernte, Anlieferungs-, Lager- und Logistikkosten verursacht (Ballenpresse, Ballenauflöser, Entgarner usw.) Ebenfalls kann noch Gersten- und Rapsstroh oder Gras pelletiert werden. Diese Rohstoffe haben andere Energiegehalte als Weizenstroh und werden hier nicht betrachtet. Leider war es nicht möglich, genauere Angaben zum Investitionsvolumen zu erhalten, weshalb wir hier auf die Schätzungen anderer Veröffentlichungen zurückgreifen müssen und von 350.000 € ausgehen. Auf der BGA werden die Pellets vorzugsweise unter Zuckerrüben oder GPS ausgestreut. Mit den Pellets soll die in Tabelle 32 beschriebene Maissilage durch Stroh → Tabelle 33 ersetzt werden. ▶

Abbildung 7: Stroh mit dem Premos 5000 pelletieren ersetzt 1.586 t (EM) Maissilage mit 1.847.750 kWh Bioenergie durch 1.000 t (EM) Weizenstroh mit 1.847.750 kWh: Index**Tabelle 31: Erntekosten mit dem Premos 5000**

Annuität (3,86 % Zinsen)	42.852 €
Schleppermiete	8.000 €
RWU	17.500 €
Matrizen/Kollermühlen	14.600 €
Dieselskosten	29.100 €
Personalkosten	4.000 €
Dieselskosten Abfahren (15 km)	1.039 €
Personalkosten Abfahren	357 €
Miete LkW	536 €
Strohkosten pro Tonne bis Silo	117,98 €

HGS – Ihr Partner für BHKW, Gasmotoren & stationäre Dieselaggregate

Halle 24
Stand B09

Besuchen Sie uns
auf der EuroTier /
EnergyDecentral 2018

Tabelle 32: Maissilage anhand Realdaten (LSBL2)

Erwerbsmassen (EM)	1.586 t
Siliverluste (7 %)	111 t
Gärmassen (GM)	1.475 t
Trockenrückstand (TR) 34,42 %	508 t
anorganischer Trockenrückstand (aTR) 3,52 %	18 t
organischer Trockenrückstand (oTR) 96,48 %	490 t
Rohgas	356.477 m ³
CH ₄ -Gehalt	52,00 %
Energieausbeute in kWh	1.847.750
Energiedichte in kWh pro Tonne GM	1.253
Preis pro Tonne EM	45,00 €
Rohstoffkosten	71.348 €
verstoffwechselte Masse (stöchiometrisch)	447 t
entspricht einem Ausbeutegrad von	91,29 %
Gärrest (RM)	1.006 t
Ausbringkosten (3,00 € pro Tonne)	3.018 €

Tabelle 33: Strohprognose (250 ha)

Erwerbsmassen (EM)	1.000 t
Lagerverluste (5 %)	50 t
Gärmassen (GM)	950 t
Trockenrückstand (TR) 86,00 %	817 t
anorganischer Trockenrückstand (aTR) 8 %	65 t
organischer Trockenrückstand (oTR) 92,00 %	752 t
Rohgas	356.477 m ³
CH ₄ -Gehalt	52,00 %
Energieausbeute in kWh	1.847.750
Energiedichte in kWh pro Tonne GM	1.945
Preis pro Tonne EM	117,98 €
Rohstoffkosten	117.980 €
verstoffwechselte Masse (stöchiometrisch)	477 t
entspricht einem Ausbeutegrad von	59,47 %
Gärrest (RM)	481 t
Ausbringkosten (3,00 € pro Tonne)	1.444 €

Tabelle 34: Kostensteigerung 2,00 %, Barwert 4,50 %

Jahr	Maissilage	Ausbringk.	Saldo	Barwert
2019	71.348 €	3.018 €	74.366 €	71.163 €
2020	72.775 €	3.078 €	75.853 €	69.461 €
2021	74.230 €	3.139 €	77.370 €	67.799 €
2022	75.715 €	3.202 €	78.917 €	66.177 €
2023	77.229 €	3.266 €	80.496 €	64.594 €
2024	78.774 €	3.332 €	82.106 €	63.049 €
2025	80.349 €	3.398 €	83.748 €	61.540 €
2026	81.956 €	3.466 €	85.423 €	60.068 €
2027	83.596 €	3.536 €	87.131 €	58.631 €
2028	85.267 €	3.606 €	88.874 €	57.228 €
Σ	781.241 €	33.041 €	814.282 €	639.710 €

Tabelle 35: Kostensteigerung 2,00 %, Barwert 4,50 %

Jahr	Stroh	Ausbringk.	Saldo	Barwert
2019	117.980 €	1.444 €	119.424 €	114.281 €
2020	120.340 €	1.473 €	121.812 €	111.547 €
2021	122.746 €	1.502 €	124.249 €	108.879 €
2022	125.201 €	1.532 €	126.734 €	106.274 €
2023	127.705 €	1.563 €	129.268 €	103.732 €
2024	130.259 €	1.594 €	131.854 €	101.250 €
2025	132.865 €	1.626 €	134.491 €	98.828 €
2026	135.522 €	1.659 €	137.181 €	96.463 €
2027	138.232 €	1.692 €	139.924 €	94.156 €
2028	140.997 €	1.726 €	142.723 €	91.903 €
Σ	1.291.848 €	15.811 €	1.307.659 €	1.027.313 €

Die Differenz der Barwerte beträgt 387.603 €, und obwohl auf der Biogas-Anlage selbst keine weiteren Zusatzkosten entstehen, ist eine Rentabilität so nicht gegeben.

Auf Basis der Barwerte kostet die Produktion einer kWh Bioenergie aus der Maissilage 3,46 ct·kWh⁻¹ und die aus dem Weizenstroh 5,56 ct·kWh⁻¹.

Bei einem BHWK-Wirkungsgrad von 40 % demnach 8,66 ct·kWh_{el}⁻¹ bei Mais und 13,90 ct·kWh_{el}⁻¹ bei pelletiertem Weizenstroh.

Durch das mit dem Premos 5000 pelletierte Weizenstroh entstehen jedoch noch weitere wertvolle Effekte. Beispielsweise geht die Energie aus den Sickersäften nicht mehr gänzlich verloren und die Sickersäfte müssen nicht aufgefangen werden. Das benötigte Lager volumen reduziert sich durch die hohe Energiedichte deutlich um 48 %.

Tabelle 36: Matrix I: Mais zu Stroh für 10.000.000 kWh

kWh/t	€/t	kWh/t	€/t	max-I
600	70	2.300	45	6.687.319
700	65	2.200	50	4.484.358
800	60	2.100	55	2.742.973
900	55	2.000	60	1.297.418
1.000	50	1.900	65	45.990
1.100	45	1.800	70	-1.078.644
1.200	40	1.700	75	-2.124.480
1.300	35	1.600	80	-3.128.506

Tabelle 37: Matrix II: Mais zu Stroh für 10.000.000 kWh

kWh/t	€/t	kWh/t	€/t	max-I
600	35	2.300	80	679.907
700	40	2.200	75	639.168
800	45	2.100	70	628.119
900	50	2.000	65	639.463
1.000	55	1.900	60	669.316
1.100	60	1.800	55	715.777
1.200	65	1.700	50	778.261
1.300	70	1.600	45	857.181

Tabelle 38: Matrix III: Mais zu Stroh für 10.000.000 kWh

kWh/t	€/t	kWh/t	€/t	max-I
600	35	1.600	80	-563.006
700	40	1.700	75	-179.787
800	45	1.800	70	174.357
900	50	1.900	65	499.752
1.000	55	2.000	60	798.280
1.100	60	2.100	55	1.072.305
1.200	65	2.200	50	1.324.231
1.300	70	2.300	45	1.556.320

Tabelle 39: Matrix IV: Mais zu Stroh für 10.000.000 kWh

kWh/t	€/t	kWh/t	€/t	max-I
1.300	35	2.300	80	-1.885.593
1.200	40	2.200	75	-1.305.525
1.100	45	2.100	70	-624.883
1.000	50	2.000	65	185.701
900	55	1.900	60	1.168.454
800	60	1.800	55	2.386.446
700	65	1.700	50	3.938.388
600	70	1.600	45	5.988.181

Ob sich eine Investition rentieren kann, hängt von den Ausgangsvoraussetzungen ab. Aus dem grundsätzlichen Verhältnis von:

1. geringer Energieausbeute aus Maissilage zu hohen Rohstoffkosten und
2. hoher Energieausbeute aus Stroh zu geringen Rohstoffkosten kann eine Entscheidungsmatrix entwickelt werden.

Bedingt durch die neuen Möglichkeiten, die sich durch Häcksel-längen von 22 mm oder 44 mm mit dem VarioCut ergeben, muss auch Folgendes für die Zukunft erwogen werden: Wenn unbehandeltes – aber so gekürztes – Stroh im Markt verfügbar ist, sind auch entsprechende Gaserträge ohne jede weitere Investition möglich. In Tabelle 14 zeigen wir den Laborwert aus dem Online European Feedstock Atlas für unbehandeltes Weizenstroh mit: $268 \text{ Nm}^3 (\text{CH}_4) \cdot \text{t} (\text{oTR})^{-1}$ bzw. $2.114 \text{ kWh} \cdot \text{t} (\text{GM})^{-1}$ bei TR 86 % und oTR 92 %.

Jede technische Investition kann somit auch in der durch sie bewirkten Differenz zu diesem Wert beurteilt werden. ◀

Die Ergebnisse wurden im Rahmen des LSBL 2 Projektes erhoben. Weitere Informationen über das Projekt unter www.interreg5a.eu

Autoren

Dipl. Des. (FH) Rainer Casaretto

BIOGAS-AKADEMIE®

✉ info@biogas-akademie.de

M.Eng. René Casaretto

PhD Student, Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Hochschule Flensburg · Kanzleistr 91-93

24943 Flensburg

✉ rene.casaretto@hs-flensburg.de

☎ 04 61/80 51 524

Besuchen Sie uns auf der
EuroTier
First in animal farming.

Hannover | 13. – 16.11.2018 | Halle 25 | Stand L24

SEWERIN
Technologien für die Lecksuche.

System Multitec® BioControl – BioControl 2

Das Einstiegsmodell
für die individuelle Prozessoptimierung
bedienfreundlich – flexibel – effizient



- Zeit- und Kosteneinsparung durch permanente automatisierte Messung
- Hohe Bedienfreundlichkeit und individuelle Konfiguration
- Erfolgreiche Verbesserung der Gasqualität und Steigerung des Ertrags



Hermann Sewerin GmbH
Robert-Bosch-Straße 3 | D-33334 Gütersloh
Telefon +49 5241 934-0 | Telefax +49 5241 934-444
www.sewerin.com | info@sewerin.com