

Stefan Hartmann und Helmut Döhler

# Vergärung von Zuckerrüben in Biogasanlagen – lohnt sich das?

Für die ökonomische Bewertung des Einsatzes von Zuckerrüben zur Biogasproduktion wurden die aktuell verfügbaren Daten ausgewertet und auf dieser Grundlage ein Berechnungsmodell erstellt. Betrachtet wurde die gesamte Kette vom Anbau über Aufbereitung und Konservierung bis zu den Auswirkungen in der Biogasanlage. Nur unter sehr positiven Annahmen für die Vergärung von Zuckerrüben ist ein ökonomisch vergleichbares Ergebnis wie beim Einsatz von Silomais zu erzielen.

## Schlüsselwörter

Biogas, Zuckerrüben, Wirtschaftlichkeit

## Keywords

Biogas, sugar beets, economic efficiency

## Abstract

Hartmann, Stefan and Döhler, Helmut

## The economics of sugar beets in biogas production

Landtechnik 66 (2011), no. 4, pp. 250–253, 1 figure, 3 tables

The economics of employing sugar beets for biogas production were investigated using a calculation model based on the currently available data. Taken into account were all steps of the chain from cultivation, conditioning and conservation to the influences in the biogas plant. Only by calculating with very good assumptions for the fermentation of sugar beets, they can constitute an economical alternative to the use of silo maize as a fermentation substrate.

■ Die Zuckerrübe wird als Substrat für Biogasanlagen immer beliebter. Anlagenbetreiber versuchen zunehmend die Rüben in ihre Anlagenkonzepte zu integrieren und sammeln Erfahrungen bei der Konservierung und der Vergärung. Ob Zuckerrüben eine lohnende Alternative zu Silomais in der Biogasanlage sind, wird derzeit kontrovers diskutiert. Für die Zuckerrübe sprechen mehrere Argumente: Bei den Methanhektarerträgen erreicht die Zuckerrübe ohne Blatt das gleiche Niveau wie Silo-

mais. Sie könnte zur Auflockerung der Fruchtfolgen beitragen. Auch die durch die Entwicklung der Zuckermarktordnung freierwerdenden Rübenflächen könnten so einer neuen Verwendung zugeführt werden, bei der die bestehende Infrastruktur, das Management und die vorhandene Technik weiterhin effizient genutzt werden können. Im Folgenden werden die Substrate Zuckerrüben- und Maissilage bezüglich ihrer Bereitstellungskosten verglichen, sowie exemplarisch der Einfluss der Aufbereitungs- und Konservierungsverfahren auf die Wirtschaftlichkeit einer 500-kW-Biogasanlage berechnet.

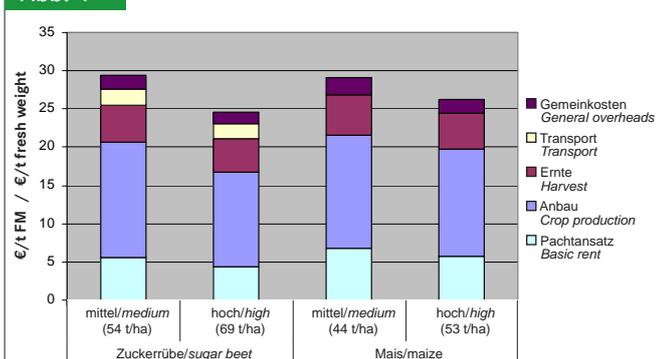
## Anbau

Zum Vergleich der Kosten von Mais- und Zuckerrübensilage werden zunächst die Anbaukosten frei Biogasanlage errechnet. Angenommen werden die Standard-Mechanisierung mit einer Leitmaschinengröße von 120 kW aus der KTBL-Datenbank und eine Entfernung zwischen Feld und Biogasanlage von 4 km. Die Düngung erfolgt mit den Gärresten, die nicht monetär bewertet werden. Aufgrund der bei Lagerung und Ausbringung auftretenden Stickstoffverluste erfolgt eine mineralische Ausgleichdüngung in Höhe von 40 % des Stickstoffentzuges. Der Pachtansatz beträgt 300 €/ha, Gemeinkosten werden mit 100 €/ha angesetzt. In **Abbildung 1** werden die Kosten jeweils für einen mittleren und für einen hohen Ertrag bezogen auf die nutzbare Silagemenge angegeben.

Bezogen auf die Frischmasse können Zuckerrüben etwas günstiger bereitgestellt werden als Silomais. Besonders bei hohen Erträgen ist bei der Zuckerrübe ein stärkerer Rückgang der spezifischen Kosten zu verzeichnen. Höhere Erträge können standortbedingt, aber auch durch Zucht oder eine spätere Ernte realisiert werden.

Die Rübe muss ganzjährig für die Biogasanlage zur Verfügung stehen. Dazu werden zwei Konservierungsvarianten, die zurzeit in der Praxis üblich sind, betrachtet. Dies sind zum einen die Flüssigsilierung im Hochsilo bzw. im Erdbecken und zum anderen die Silierung ganzer Rüben im Folienschlauch.

Abb. 1



Spezifische Produktionskosten frei Anlagenstandort in Abhängigkeit des Ertragsniveaus. Die Kosten des Maistransportes sind in den Erntekosten enthalten.

Fig. 1: Specific production costs up to delivery at plant location, depending on yield level. Maize transport costs are included in harvesting costs.

Bei beiden Varianten werden die Rüben zunächst gewaschen und von Steinen getrennt. Für die Flüssigsilierung erfolgt anschließend die Zerkleinerung mit einem Rübenschredder. Der entstehende Rübengroßbrei wird in ein Hochsilo bzw. Erdbecken gepumpt und dort konserviert. Da bei der Silierung sehr geringe pH-Werte entstehen, muss eine entsprechende Säurefestigkeit gewährleistet sein.

Bisher werden in der Praxis für diesen Zweck Edelstahlbehälter eingesetzt, für die Investitionen von ca. 100 € für den

Lagerraum von einer Tonne Flüssigsilage anfallen. Alternativ lassen sich auch Stahlbetonbehälter mit Epoxydharzbeschichtung (ca. 50 €/t Lagerraum) oder Erdbecken mit Spezialfolien (ca. 15 €/t Lagerraum) einsetzen. Die folgende Berechnung berücksichtigt nur die letzten beiden Varianten. Die Einbringung des Rübengroßbreis in den Fermenter kann automatisiert über eine Pumpe erfolgen. Bei der Schlauchsilage erfolgt die Einbringung in den Feststoffeintrag mit einem Traktor mit Frontlader bzw. einem Radlader und einem Rübengroßkorb mit integriertem Zerkleinerer. **Tabelle 1** zeigt die für die jeweilige Variante nötigen Verfahrensschritte sowie die dafür anfallenden Kosten. Als Verluste wurden für die Zuckerrübensilage 6 % und für die Maissilage 12 % angenommen.

Bei den Bereitstellungskosten ist die Flüssigsilierung etwas günstiger als die Schlauchsilierung. Die höheren Kosten bei der Schlauchsilierung sind durch die aufwendige Entnahme und Einbringung in den Fermenter begründet. Einsparungen wären hier möglich, wenn beispielsweise der Feststoffeintrag die Zerkleinerung der Rüben bewerkstelligen könnte. Ein Vorteil der Schlauchsilierung ist die höhere Flexibilität. Oft können bestehende Flächen zur Schlauchablage genutzt werden, sodass nur geringe Investitionen anfallen.

Vergleicht man die Bereitstellungskosten frei Fermenter mit denen von Maissilage, wird deutlich, dass bezogen auf die Frischmasse nur unter optimalen Annahmen eine deutliche Einsparung gegenüber Maissilage zu erzielen wäre.

Tab. 1

Bereitstellungskosten frei Biogasanlage [€/t FM]

Table 1: Substrate preparation costs from delivery to biogas plant [€/t fresh weight (fw)]

Arbeitsverfahren System	ZR-Flüssigsilierung Sugar beet liquid ensiling	ZR-Schlauchsilage Sugar beet plastic tube ensiling	Maissilage Maize silage
Spez. Kosten frei Biogasanlage/ <i>Specific costs from delivery to biogas plant</i>	29,47 24,74 <sup>1)</sup>	29,47 24,74 <sup>1)</sup>	29,06
Befüllen Waschmaschine/ <i>Filling washer</i>	0,56	0,56	
Waschen/ <i>Washing</i>	1,39	1,39	
Rübengerückstände/ <i>Chopping beet</i>	1,41		
Lagerkosten Flüssigsilo Beton/ <i>Storage costs for a concrete silo for liquids</i>	4,15		
Lagerkosten Flüssigsilo Erdbecken/ <i>Storage costs for a lagoon silo for liquids</i>	1,52		
Beschickung Schlauch/ <i>Filling of silage tube</i>		0,56	
Schlauchsilierung inkl. Flächenkosten/ <i>Tube ensiling incl. area costs</i>		6,48	
Schlauchsilierung ohne Flächenkosten/ <i>Tube ensiling excluding area costs</i>		4,43 <sup>1)</sup>	
Lagerkosten Flachsilo/ <i>Storage costs silage clamp</i>			4,87
Umschlag Silo Feststoffeintrag/ <i>Handling silo solids input</i>		1,74	1,70
Einbringen in Fermenter über Pumpe/ <i>Feeding fermenter via pump</i>	0,40		
Einbringen über Feststoffeintrag/ <i>Feeding via solids input</i>			1,35
Summe frei Fermenter/ <i>Total up to fermenter</i>	37,39 29,98 <sup>1)</sup>	41,55 34,77 <sup>1)</sup>	36,97

<sup>1)</sup> Optimalfall, Annahmen: günstigste Bereitstellungskosten für die Rübe; geringe Investitionskosten für das Flüssigsilo; kein Anfall von zusätzlichen Flächenkosten bei der Schlauchsilierung.

Optimal case with assumed factors: lowest preparation costs for beet, limited investment costs for liquid silo; no charge for additional area costs for plastic tube silage.

### Substrateigenschaften

Aus **Tabelle 2** wird deutlich, dass die Rübe trotz eines höheren spezifischen Gasertrags bezogen auf die Frischmasse einen deutlich geringeren Methanertrag als Mais erzielt. Um die Methanmenge aus einer Tonne Maissilage zu ersetzen, müssen 1,41 t Rübensilage eingesetzt werden. Unter diesen Umständen verursacht die Zuckerrübe auch mit ihren geringsten Bereitstellungskosten um 14 % höhere Rohstoffkosten.

Tab. 2

Substrateigenschaften, Erträge und Rohstoffbedarf von Zuckerrüben und Mais

Table 2: Substrate characteristics yields and raw material requirement from sugar beet and maize

	Einheit Unit	Mais- silage Maize silage	Zuckerrübensilage Sugar beet silage	
			700 m <sup>3</sup> /t oTM 700 m <sup>3</sup> /t odm	800 m <sup>3</sup> /t oTM 800 m <sup>3</sup> /t odm
TM/dm	% of FM % of fw	33	23	23
oTM/odm	% of TM % of dm	95	90	90
Biogasertrag Biogas yield	m <sup>3</sup> /t oTM m <sup>3</sup> /t odm	650	700	800
Methangehalt Methane content	%	52	52	52
Methanertrag Methane yield	m <sup>3</sup> /t oTM m <sup>3</sup> /t odm	338	364	416
Methanertrag Methane yield	m <sup>3</sup> /t FM m <sup>3</sup> /t fw	106	75	86
Energieäquivalenz Energy equivalent	t FM t fw	1:	1,41	1,23

Die Rohstoffkosten wären erst bei einem höheren spezifischen Biogasertrag in Höhe von 800 m<sup>3</sup>/t oTM für Zuckerrüben mit denen von Mais vergleichbar. Es wären dann nur noch 1,23 t Rübensilage nötig, um eine Tonne Maissilage zu substituieren. Aufgrund der bisher vorliegenden Untersuchungen ist allerdings nur der KTBL-Standard von 700 m<sup>3</sup>/t oTM abgesichert. Einige Hinweise für deutlich höhere Gaserträge existieren zwar, genauso liegen aber auch Berichte von niedrigeren Werten vor.

### Auswirkungen in der Biogasanlage

Die Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Zuckerrüben wurden am Beispiel einer 500-kW-Biogasanlage berechnet. In der Basisvariante wird diese Anlage mit Rindergülle und Maissilage gefüttert. In zwei „Zuckerrübenvarianten“ wird ein Teil bzw. die gesamte Maissilage durch Zuckerrübensilage ersetzt (**Tabelle 3**). Für die Berechnungen wurde die günstigste Variante für die Zuckerrübenbereitstellung aus **Tabelle 1** verwendet (29,98 €/t FM). Neben den Bereitstellungskosten wirken sich die folgenden vier Punkte auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage aus:

- **Arbeitszeitbedarf:** Je nach Konservierungsart der Rübe kann sich der Arbeitszeitbedarf für die Fütterung deutlich gegenüber dem Einsatz von Mais unterscheiden. Bei der Flüssigsilierung ist eine Automatisierung möglich, die den Arbeitszeitbedarf für die Fütterung erheblich reduziert. Geht man davon aus, dass bei der Schlauchsilage noch eine Zerkleinerung vor dem Feststoffeintrag nötig ist, führt dies zu einem höheren Arbeitszeitbedarf als bei der Fütterung von Mais. Die Lohnkosten für die verschiedenen Arbeitsverfahren sind in der Auflistung in **Tabelle 1** berücksichtigt.
- **Fermentervolumen:** Durch den höheren spezifischen Gasertrag der Rübensilage ist bei gleichbleibender Faulraumbelastung und Leistung weniger Fermenterraum notwendig. Hierdurch reduzieren sich die Investitionen und somit die damit verbundenen Festkosten. Im 2. Beispiel (nur Gülle und Rüben) wurde davon ausgegangen, dass durch den schnelleren Abbau der Substrate eine deutlich kürzere Verweilzeit (50 Tage) und eine höhere Raumbelastung (ca. 4 kg oTM/m<sup>3</sup> · d) zu realisieren sind und somit der nötige Fermenterraum erheblich reduziert werden kann.
- **Gärrestlagervolumen:** Die Zuckerrübe hat im Vergleich zum Mais einen geringeren TM-Gehalt und eine geringere Energiedichte bezogen auf die Frischmasse. Bei der Vergärung verbleibt bei gleichbleibender Leistung ein größeres Gärrestvolumen. Dies führt wiederum zu höheren Investitionen und Festkosten.
- **Rührenergie:** Der geringe TM-Gehalt und der schnellere oTM-Abbau führen zu geringerem TM-Gehalt im Fermenter und somit zu geringerem Rühraufwand. Für die Berechnungen wurde davon ausgegangen, dass der Bedarf an Rührenergie in gleichem Maße sinkt wie der TM-Gehalt in der Substratmischung.

Die Berechnungen zeigen, dass nach derzeitigem Kenntnisstand (KTBL-Standardgaserträge für Mais 650 m<sup>3</sup>/t oTM, Zuckerrübe 700 m<sup>3</sup>/t oTM) die Biogaserzeugung mit Mais wirtschaftlich überlegen ist (**Tabelle 3**). Das gilt für die gemeinsame Vergärung von Mais, Rüben und Gülle sowie für die alleinige Vergärung von Rüben und Gülle. Nur mit hohen Gaserträgen über den KTBL-Richtwerten kann für die Rübenvergärung ein ähnliches oder besseres Ergebnis als für Mais erzielt werden, wenn Rüben kostengünstig geerntet und gelagert werden können.

### Schlussfolgerungen

Nach derzeitigem Wissensstand ist nur unter sehr positiven Annahmen für die Vergärung von Zuckerrüben ein ökonomisch günstigeres Ergebnis als für Mais zu erzielen. Diese Annahmen umfassen eine günstige Bereitstellung und Konservierung sowie einen hohen Gasertrag.

Bei den Konservierungssystemen ist die Flüssigsilierung vor allem durch die zeit- und kosteneffiziente Zuführung in den Fermenter günstiger. Die Schlauchsilage ist hingegen flexibler und bindet weniger Kapital. Neben einer Optimierung der Einbringung muss hier jedoch noch ein Weg gefunden werden wie entstehende Sickersäfte in den Fermenter gelangen können.

Tab. 3

Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit einer 500-kW-Biogasanlage

Table 3: Effects on economic viability of a 500 kW biogas plant

	Einheit Unit	Mais Maize	Mais + Rübe Maize + Sugar beet		Rübe Sugar beet	
			700 m <sup>3</sup> /t oTM 700 m <sup>3</sup> /t odm	800 m <sup>3</sup> /t oTM 800 m <sup>3</sup> /t odm	700 m <sup>3</sup> /t oTM 700 m <sup>3</sup> /t odm	800 m <sup>3</sup> /t oTM 800 m <sup>3</sup> /t odm
Gülle <i>Liquid manure</i>	t	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000
Mais <i>Maize</i>	t	9 200	7 200	7 200	-	-
Zuckerrübe <i>Sugar beet</i>	t	-	2 820	2 470	13 000	11 300
TM-Gehalt <i>dm content</i>	%	26,9	25,1	25,1	20,2	19,9
Substratkosten frei Fermenter <i>Substrate costs up to fermenter</i>	€/a		+10.604	-200	+49.616	-1.350
Benötigter Fermenterraum <i>Required fermenter area</i>	m <sup>3</sup>	3 708	3 656	3 569	2 200	1 970
	€/a		-184	-494	-12.610	-13.495
Benötigter Gärrestlagerraum <i>Required fermenter waste material storage area</i>	m <sup>3</sup>	5 496	5 963	5 764	7 659	6 714
	€/a		+1.196	+687	+5.373	+3.067
Benötigte Rührarbeit <i>Required agitation</i>	kWh/a	140 000	130 600	130 600	105 100	105 100
	€/a		-1.405	-1.405	-5.230	-5.230
Kostendifferenz <i>Cost difference</i>	€/a		+10.211	-1.412	+37.149	-11.778
Gewinn <i>Profit</i>	€/a	85.634	75.423	87.046	48.485	97.412

Die Datenbasis für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen ist allerdings noch etwas unsicher. Das betrifft vor allem die Höhe der Trockenmasseverluste bei den Konservierungsverfahren und die Höhe der Gaserträge für geköpfte, entblätterte und Ganzpflanzen-Rüben.

Wenn die Zuckerrübe ihr Potenzial für Biogasanlagen zukünftig ausschöpfen soll, muss aber nicht nur an der Verbesserung der Datenlage gearbeitet werden. Hoher Bedarf besteht auch für die Weiterentwicklung und an der Erprobung von aufkommenden Techniken, die die Zahl der Arbeitsgänge und Kosten reduzieren und somit eine effiziente Verwertungskette ermöglichen. Die Zukunft liegt in einer Reduzierung der Arbeitsgänge und der vollautomatischen Substratlogistik auf der Anlage.

In der Praxis versuchen erste Anlagen ohne Rübenwäsche auszukommen. Denkbar wäre stattdessen, Austragssysteme in die Fermenter zu integrieren. In jedem Fall muss aber eine Steintrennung erfolgen.

Ebenfalls werden Hochleistungsfermenter ohne Rührtechnik erprobt, die mit sehr kurzen Verweilzeiten und hohen Raumbelastungen die schnelle Abbaubarkeit der Rübensilage nutzen. Die teilweise parallele Nutzung der Hochsilos zur Rohstoff- und Gärrestlagerung könnte ebenfalls eine Möglichkeit sein, die Kosten weiter zu senken.

Auch die züchterische Bearbeitung ist gefragt: Dies betrifft die Veränderung des Rübenkörpers, um Schmutzanhang zu minimieren und alle Maßnahmen, die den Methanhektarertrag erhöhen („Krautrüben“, die die komplette Verwertung von Rübenkörper und Blatt verbessern, Erhöhung des Anteils hochabbaubarer Inhaltsstoffe zur Verkürzung von Verweilzeiten, Winterfestigkeit).

Es gibt derzeit zahlreiche und zum Teil auch vielversprechende Entwicklungen, die die Konkurrenzkraft der Zuckerrübe als Biogassubstrat stärken können.

### Autoren

**Stefan Hartmann** und **Helmut Döhler** sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Bartningstr. 49, 64289 Darmstadt, E-Mail: s.hartmann@ktbl.de