



Bayerische Landesanstalt für  
Landwirtschaft 

## EW/13/61: Kurzstudie zur Verwertung der Zuckerrübe auf Biogas-Praxisanlagen

(Finanzierung durch das BayStMELF)

Zeitraum: 01.10.2013 – 31.03.2014  
Datenbasis der Praxisdaten: n=10 Betriebe, 12 Verfahren, ~30.000 t FM  
Datenerfassung im Rahmen eines Vor-Ort-Termins

Martin Strobl  
Sebastian Vogler

Institut für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur  
Menzinger Straße 54, 80638 München  
Tel.: 089.17800.474 – Email: martin.strobl@Lfl.bayern.de

**Ergänzende Information:**

Hohe Energieerträge je Hektar und die damit einhergehende effiziente Flächennutzung sowie hervorragende Substrateigenschaften scheinen die Verwertung der Zuckerrübe in Biogasanlagen interessant zu machen. Und nicht zuletzt die 2017 auslaufende Zuckermarktordnung (ZMO) rückt den Einsatz der Zuckerrübe als Ergänzung oder als teilweiser Ersatz anderer Biogas-Substrate noch stärker in den Focus. Allerdings ist die Wirtschaftlichkeit des Zuckerrübeinsatzes in Biogasanlagen keineswegs gesichert. Vielmehr finden sich in der Literatur und in Werbeprospekten große Spannbreiten bezüglich ihrer Angaben zu den Energieverlusten während der Lagerung sowie den Methanerträgen bei der anschließenden Biogaserzeugung.

Das vorliegende, an der Lfl durchgeführte Kurzprojekt soll einen vorläufigen Überblick zur Literatur und zu den Praktiker-Aktivitäten verschaffen und damit die Diskussion zum tatsächlichen Potential sowie zum weiteren Forschungs- und Handlungsbedarf unterstützen. Im Zeitraum vom 01.10.2013 bis 31.03.2014 wurden zehn Biogas-Praxisanlagen besucht und ökonomisch eingeschätzt. Die Stichprobe beschreibt zwölf praktizierte Verfahren mit einer Verarbeitungsmenge von rund 30.000 Tonnen Rüben-Frischmasse. Es folgen ausgewählte Folien der Abschlusspräsentation. Sie wurden zur leichteren Verständlichkeit sowie aus Gründen der Barrierefreiheit im Internet verfügbarer Dokumente öffentlicher Einrichtungen um knapp gehaltene Kommentare ergänzt. Die Kommentare erheben dabei keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

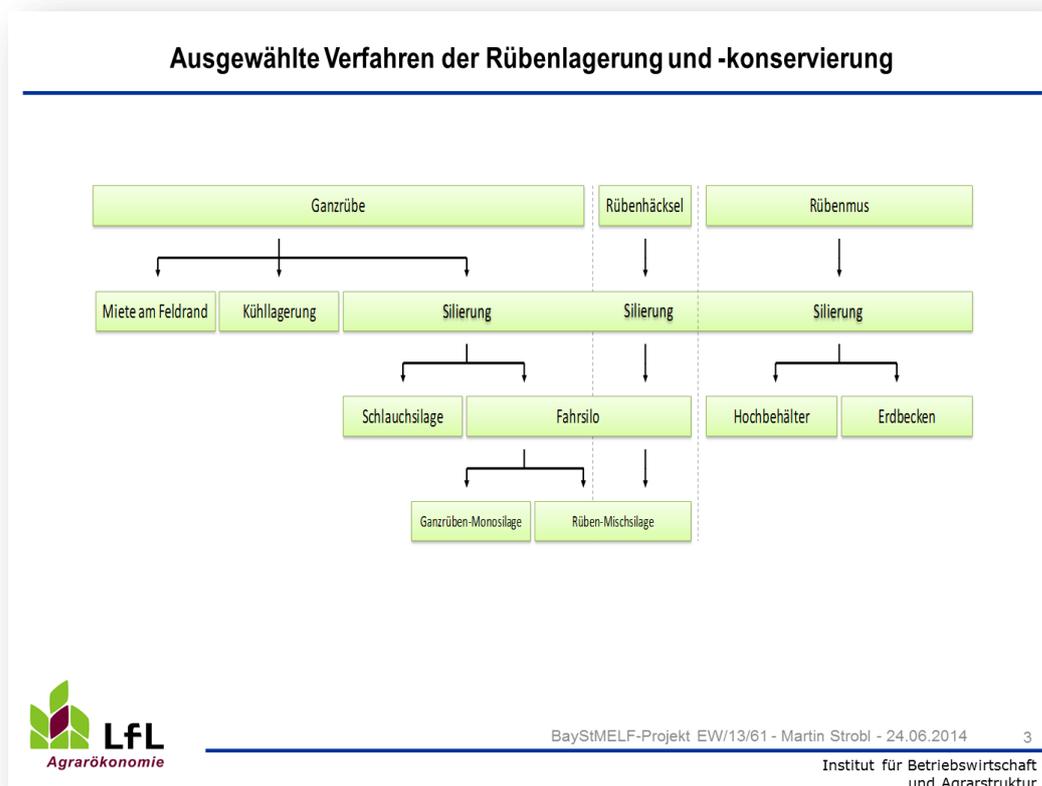
---

# **Begriffsbestimmung**

***Ergänzende Information:***

Es folgen Abbildungen zu den in der Literatur vorgefundenen Begrifflichkeiten.

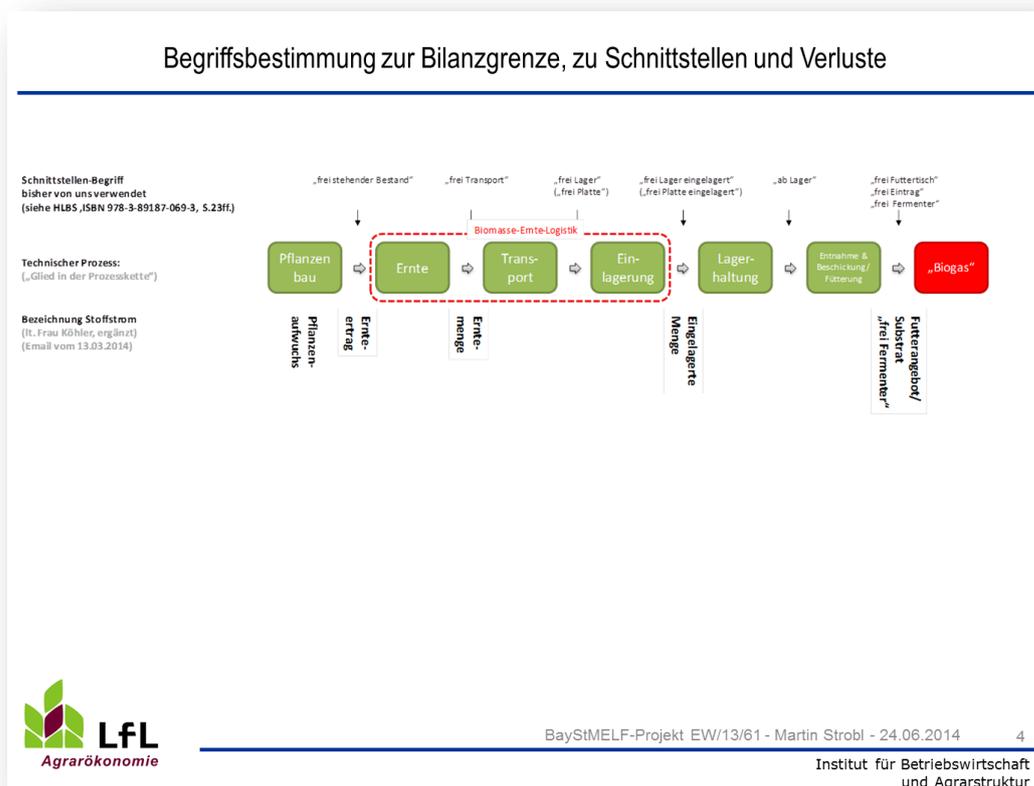
### Folie 3: Übersicht zu ausgewählten Verfahren der Rübenlagerung und -konservierung



#### **Ergänzende Information:**

Nach der Ernte der Zuckerrübe bieten sich verschiedenste Verfahren zur (Zwischen-)Lagerung und Konservierung. In der Praxis werden die Zuckerrüben als Ganzrübe, als Rübenhäcksel oder als Rübenmus eingelagert. Meist findet vor der Einlagerung und eventuellen Zerkleinerung eine Vorreinigung statt. Eine Ausnahme stellt die Zwischenlagerung der ungereinigten Ganzrübe am Feldrand dar. Zur Verringerung der Lagerverluste könnte die Ganzrübe gekühlt gelagert werden. Die aufwendige Kühlung wurde aber bisher in der Praxis nicht vorgefunden und daher nicht weiter diskutiert. Die Silierung der Ganzrübe oder der Rübenhäcksel kann in Folienschläuchen oder Fahrsiloplanzen und wahlweise mit Mischpartnern zur Saftbindung erfolgen. Bei der Lagerung der Ganzrübe ist vor allem der enorme Sickersaftanfall zu beachten. Das Rübenmus wird üblicherweise in Hochbehältern oder Erdbecken gelagert.

## Folie 4: Begriffsbestimmung zur Bilanzgrenze, zu Schnittstellen und Verluste



### Ergänzende Information:

Zur ökonomischen Bewertung wurde die Verfahrenskette vom Anbau bis hin zur Beschickung der Biogasanlage in einzelne Blöcke strukturiert. Dies erleichtert den Vergleich der auf den Praxisbetrieben vorgefundenen Verfahren. Die Einzelblöcke sind:

- Pflanzenbau (bis „frei stehender Bestand“)
- Ernte („frei stehender Bestand“ bis „frei Feldrand“ oder „frei Transport“)
- Transport („frei Feldrand“ bis „frei Lager“)
- Einlagerung („frei Lager“ bis „frei Lager eingelagert“), ggf. inkl. weiterer Aufbereitung vor der Anlagenbeschickung
- Lagerhaltung („frei Lager eingelagert“ bis „ab Lager“=nach der Konservierung)
- Entnahme und Beschickung („ab Lager“ bis „frei Eintrag“), ggf. inkl. weiterer Aufbereitung vor der Anlagenbeschickung

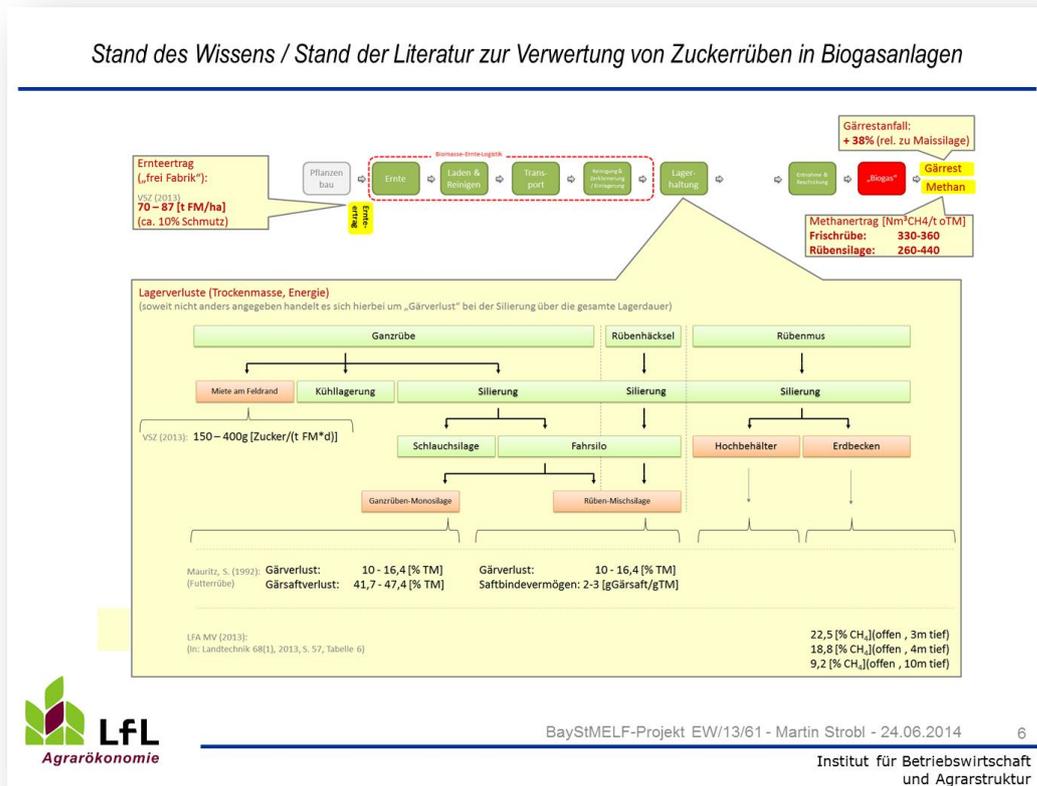
---

## **Stand des Wissens**

***Ergänzende Information:***

Es folgen Abbildungen zu den in der Literatur vorgefundenen Angaben zu Konservierungsverluste und Methanerträge.

**Folie 6: Stand des Wissens / Stand der Literatur zur Verwertung der Zuckerrübe in Biogasanlagen – Übersicht zu Ernteertrag, Konservierungsverluste und Gärrestanfall**



**Ergänzende Information:**

**Ernteertrag** (genauer: „Ertrag frei Zuckerfabrik“):

Quelle(n):

Verband bayerischer Zuckerrübenanbauer e.V.: Geschäftsbericht für das Geschäftsjahr 2013/2014;  
 Verband fränkischer Zuckerrübenanbauer e.V.: <http://www.frankenrueben.de/images/media/Erntezahlen2012.pdf> (Zugriff 30.04.2014);  
 Die durchschnittlichen bayerischen Rübenenerträge lagen in den letzten Jahren zwischen 70 und 87 Tonnen „reine Rübe“. Die reine Rübe stellte allerdings nur rund 90% der angelieferte Masse dar, denn die ungereinigten Rüben enthielten ca. 10% Schmutz (Erданhang,..)

**Lagerverlust(e)** (Frischmasse, Trockenmasse, Energie):

Quelle(n):

VSZ (2013): Verband der Bayerischen Zuckerrübenanbauer e.V., persönliche Auskunft;  
 Mauritz, S. (1992): Der Einfluß verfahrenstechnischer Maßnahmen zur Minderung der Silierverluste von Futterrüben. Dissertation, Landtechnik Weihenstephan;  
 LFA MV (2013): Verluste an Methanbildungspotenzial von Zuckerrübenmus in offenen Erdbecken. In: Landtechnik 68(1), 2013, S.57, Tabelle 6

In der Literatur finden sich verschiedenste Studien zu Verlusten bei der Konservierung der Ganzrübe oder Rübenmus in Hochbehälter oder Erdbecken. Leider basieren die Ergebnisse auf einer kleinen Stichprobenzahl und lassen Wiederholungen vermissen. Die Ergebnisse sind daher Einzelwerte mit zu hinterfragender Repräsentativität und Belastbarkeit.

Die Werte streuen sehr stark, die Hebelwirkung der Lagerverluste und Methanerträge auf die Wirtschaftlichkeit wird weiter unten dargestellt.

**Methanertrag**

Siehe folgende Folie

**Gärrestanfall** (bei der Verwertung der Zuckerrübe im Vergleich zur Maissilage):

Nimmt man ohne Berücksichtigung der Lagerverluste für Maissilage einen Methanertrag von 96,72 Nm<sup>3</sup> je t FM, für Zuckerrübensilage einen Methanertrag von 74,73 Nm<sup>3</sup> je t FM an, so fallen je 1000Nm<sup>3</sup> erzeugten Methan bei Maissilage 7,68 m<sup>3</sup> Gärrest, bei Zuckerrüben 10,61m<sup>3</sup> Gärrest an. Demnach verursachen Zuckerrüben bei angenommenen Methanerträgen um rund 38% mehr Gärrest.

## Folie 7: Gasausbeuten und Methanerträge verschiedener Zuckerrübenprodukte in der Literatur

### Gasausbeuten und Methanerträge verschiedener Zuckerrübenprodukte in der Literatur

Substrat	Methode	TM	oTM	Gasertrag oTM	Gasertrag FM	CH <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub> - Ertrag FM	CH <sub>4</sub> - Ertrag oTM
		[%]	[% TM]	[L <sub>g</sub> kg <sub>DM</sub> <sup>-1</sup> ]	[m <sup>3</sup> t <sub>DM</sub> <sup>-1</sup> ]	[%]	[m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> t <sub>DM</sub> <sup>-1</sup> ]	[m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> t <sub>DM</sub> <sup>-1</sup> ]
<b>Mais, Silage</b>								
Keymer (LFL) [1]	Berechnet [2]	33	95,8	586,1	185,3	52,2	96,73	306
Schulte et. al. [3]	Gemessen							346
DLG, nach Baserga [4]	Berechnet [2]	31,6	95,6	627,3	207,6	53,6	111,3	338,2
<b>Zuckerrübe, frisch</b>								
Keymer (LFL) [1]	Berechnet [2]	23	91,9	696	147,1	50,8	74,73	353,5
Schulte et. al. [3]	Gemessen							330
Weißbach [5]	Berechnet [2]							342
Thaysen [6]	Berechnet [2]							395
Heilmann (LFAMV) [7]	Berechnet [8]	23,9	85,7	643	150	50	75	366,2
<b>Zuckerrübe, Preßschnitzsilage</b>								
Keymer (LFL) [1]	Berechnet [2]	20	93	672,8	125,1	51,8	64,80	348,4
<b>Zuckerrübensilagen</b>								
DLG, nach Baserga [4]	Berechnet [2]	23	93	549,8		51,7	60,8	284,2
Amon et. al. [9]	Berechnet [2]	18,4	95,6	460,4		56,8		260,8
Schulte et. al. [3]	Gemessen							330
Weißbach [5]	Berechnet [2]							393
Heilmann (LFAMV) [7]	Berechnet [8]	23	88	664	150	54	81	400,2

### Ergänzende Information:

#### Methanertrag:

##### Quelle(n):

[1] Keymer, U. (2014): LfL-Gasausbeutendatenbank. <http://www.lfl.bayern.de/iba/energie/049711/>

[3] Schulte et. al.

[4] DLG-Futterwerttabellen, Wiederkäuer. 7. Auflage, ISBN 3-7690-0547-3

[5] Weißbach, F. (2009): Das Gasbildungspotenzial von frischen und silierten Zuckerrüben, Landtechnik 64, 2009, H.6

[6] THAYSEN, J. (2011): Zucker und Futterrübeneinsatz in Biogasanlagen Potenzial und Praxis, Bauernblatt 11. Juni 2011, S. 30-32

[7] Heilmann, H. (2012): Bewertung der Zuckerrübe als Rohstoff für die Biogasproduktion. Arbeitsbericht 3/14. [www.lfamv.de](http://www.lfamv.de)

[9] Amon et. al. (2007): Optimierung der Methanausbeute aus Zuckerrüben. Forschungsprojekt 1421, BMLFUW, Wien, 31.03.2007.

##### Methode(n):

[2] Berechnet nach Baserga, U. (1998): Landwirtschaftliche Co-Vergärungs-Biogasanlagen, FAT-Berichte Nr. 512

[8] Berechnet auf Basis der Fermentierbaren organischen Trockensubstanz (FoTS)

Die in der Literatur angegebenen Methanerträge der verschiedenen Zuckerrübenprodukte reichen von 260 bis 400 Nm<sup>3</sup> Methan je Tonne org. Trockenmasse. Einzelne Anlagenhersteller scheinen sogar mit 444 Nm<sup>3</sup> zu kalkulieren. Mit dieser Streubreite könnte letztendlich – in Abhängigkeit des in der Modellrechnung angenommenen Gasertrags – jedes Verfahren wirtschaftlich oder unwirtschaftlich gerechnet werden.

---

# **Verfahren und Kosten der Praxisanlagen**

***Ergänzende Information:***

Es folgen Abbildungen zu den Verfahren und Kosten der Vor-Ort besuchten Biogas-Praxisanlagen mit Zuckerrübeneinsatz.

# Folie 9: Kosten verschiedener Zuckerrübenprodukte „frei Eintrag“ auf zufällig ausgewählten Praxisbetrieben

**Kosten verschiedener Zuckerrübenprodukte „frei Eintrag“ auf Praxisbetrieben in Bayern, Baden-Württemberg, Hessen und Niedersachsen**

(Freistehender Bestand)      (ab Lager)      (Frei Eintrag) (Frei Permittiert)

Betrieb	Pflanzenbau EUR/t FM	Ernte EUR/t FM	Laden & Reinigen EUR/t FM	Transport EUR/t FM	Reinigung & Zerkleinerung / Einlagerung EUR/t FM	Lagerhaltung EUR/t FM	FM-Verlust (Berechnung)		Düngefrucht & Beschichtung EUR/t FM	Biogas EUR/t FM	Alles EUR/t FM
							FM-Verlust (Berechnung)	FM-Verlust (Berechnung)			
<b>Quartalsmonokulturen</b>											
Dr. Schindler, esseggen, Nov. 2013, 106 (In 7,425 t FM) Ganzrübenmonokulturen (Soltau)	23,99	3,76	2,45	5,58	1,55	2,56	-10,5%	15,90	17,77	6,13	74,73 H m <sup>2</sup> CH <sub>4</sub> /t FM
Dr. von Felde (KW5 Saat AG), Vöhring (In 4,985 t FM) Ganzrübenmonokulturen (Soltau), mit Wäsche v. E.	??	3,80	2,45	4,50	9,00	1,50	-12,5%	21,25	24,28	6,13	24,51
US16: Ganzrübenlage - Schlegelmulchgerät, n=100 t FM Roden - Naus - LKW - Siloplatte - Schlepper - Mulchgerät - Zwischenlagerung - Schlepper - Feststoffeintrag	30,01		1,38	0,80	0,37	1,08	-4%	3,62	3,76	4,73	8,49
US17: Ganzrübenlage - Häckselhaufel, n=300 t FM Roden - Naus - LKW - Siloplatte - Schlepper - Mulchgerät - Zwischenlagerung - Schlepper - Feststoffeintrag	25,00		1,60	1,50	4,57	0,84	-4%	8,52	8,87	3,16	12,03
US18: Ganzrübenlage - Häckselhaufel, n=200 t FM Roden - Naus - LKW - Siloplatte - Abschleppen - Zwischenlagerung - Schlepper - Feststoffeintrag	27,10		1,60	4,45	1,40	1,27	-11%	8,72	9,80	16,24	26,04
US19: Ganzrübenlage - Häckselhaufel, n=100 t FM Roden - Naus - LKW - Siloplatte - Abschleppen - Zwischenlagerung - Schlepper - Feststoffeintrag	25,00	3,81	1,50	1,00	0,80	1,34	-11%	8,46	9,50	5,46	14,96
<b>Erntebetten</b>											
Dr. Schindler, esseggen, Nov. 2013, 106 (In 6,400 t FM) Erntebetten-Lagerung (Geeste)	29,68	2,11	1,40	1,61	2,83	2,11	-14%	10,06	11,70	1,15	12,85
US20: Lagune (Befahrbar) - Kompostschredder, n=2.500 t FM Roden - Naus - LKW - Siloplatte - Bagger - Kompostschredder - Befahrbar - Radlader - Feststoffeintrag	25,00			2,06		1,96	-20%	4,02	5,03	2,54	7,57
<b>Hochsilo</b>											
Dr. Schindler, esseggen, Nov. 2013, 106 (In 2,100 t FM) Hochsilo-Lagerung (Lüneburg)	30,50	3,17	1,08	2,08	6,03	4,81	-4%	17,17	17,89	0,48	18,37
US21: Hochsilo, Querschnittskleinerer - Pumpe, n=500 t FM Roden - Naus - Schleppertransport - Radlader - Feststoffeintrag - Querschnittskleinerer - Pumpe an Schlepper - Hochsilo - Pumpe	25,00		1,30	2,00	8,73	9,42	-4%	21,44	22,33	0,23	22,56
US22: Hochsilo - Mühle - Pumpe, n=300 t FM Roden - Naus - Schleppertransport - Radlader - Nasswäsche - Mühle - Pumpe - Hochsilo - Pumpe	24,00	0,48	1,38	2,75	7,13	3,35	-4%	15,09	15,72	0,12	15,84
<b>Frühbeete</b>											
US23: Frühbeete - Häcksel - Feststoffeintrag, n=200 t FM Roden - Naus - LKW - Siloplatte - Schlepper - Feststoffeintrag	24,89		1,42	4,77	0,33	0,29	-5%	6,81	7,17	8,34	15,51
US24: Frühbeete - Häcksel - Feststoffeintrag, n=1 t FM Roden - Entsteinungsmaus - Schleppertransport - Siloplatte - Schlepper - Feststoffeintrag	24,50		2,99	2,04	0,48	0,29	-9%	5,81	6,31	6,37	12,68
US25: Frühbeete - Häcksel - Feststoffeintrag, n=300 t FM Roden - Naus - LKW - Siloplatte - Schlepper - Feststoffeintrag	20,00	3,49	1,80	1,67	0,66	1,30	-7%	8,93	9,56	7,33	16,89
US26: Frühbeete - Häcksel - Feststoffeintrag, n=100 t FM Roden - Naus - LKW - Siloplatte - Schlepper - Feststoffeintrag	25,00		1,60	1,50	-	0,35	-3%	3,45	3,56	5,46	9,02
US27: Frühbeete - Mühle in Feststoffeintrag, n=100 t FM Roden - Naus - Schleppertransport - Siloplatte - Radlader - Feststoffeintrag	25,56	3,23	1,41	3,50	0,50	1,22	-4%	9,86	10,23	3,23	13,46

BayStMELF-Projekt EW/13/61 - Martin Strobl - 24.06.2014      9

Lfl Agrarökonomie      Institut für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur

## Ergänzende Information:

Quelle(n):

[Dr. Schindler] Dr. Schindler (2013): Verdrängen Rüben bald Mais? In: dlz agrarmagazin, Nov. 2013, S. 106.

[Dr. von Felde] Dr. von Felde (2013): Ganzrüben in der Monosilierung – Erfahrungen und Ausblick. Vortrag im Rahmen einer Informationsveranstaltung Zuckerrüben in der Biogaspraxis, Soltau, 18.09.2013.

[Lfl x] eigene Berechnungen im Rahmen des Kurzprojekts

Ergänzende Information zu den vorgefundenen Verfahren in stichpunktartiger Form:

Lfl [1.1]: Roden – Lademaus – LKW – Siloplatte – Zerkleinerungsschaukel – Feststoffeintrag

Lfl [1.2]: Roden – Entsteinungsmaus – Schleppertransport – Siloplatte – Zerkleinerungsschaukel – Feststoffeintrag

Lfl [2]: Roden – Lademaus – Schleppertransport – Radlader – Feststoffeintrag – Querstromzerkleinerer – Pumpe an Schlepper – Hochsilo-Lagerung – Pumpe

Lfl [3]: Roden – Lademaus – Schleppertransport – Radlader – Nasswäsche – Mühle - Pumpe – Hochsilo-Lagerung – Pumpe

Lfl [4]: Roden – Lademaus – LKW – Siloplatte – Schlepper mit Mulchgerät – Zwischenlagerung - Schlepper mit Frontlader – Feststoffeintrag

Lfl [5]: Roden – Lademaus – LKW – Siloplatte – Bagger – Kompostschredder – Befahrbar Lagerung - Lagerung - Radlader – Feststoffeintrag

Lfl [6]: Roden – Lademaus – Schleppertransport – Siloplatte – Zerkleinerungsschaukel – Feststoffeintrag

Lfl [7.1]: Roden – Lademaus – LKW – Siloplatte – Zerkleinerungsschaukel – Radlader – zu Maissilage – Lagerung - Radlader – Feststoffeintrag

Lfl [7.2]: Roden – Lademaus – LKW – Siloplatte – Zerkleinerungsschaukel – Radlader – Feststoffeintrag

Lfl [8]: Roden – Lademaus – LKW – Siloplatte – Lagerung - Zerkleinerungsschaukel – Zwischenlagerung – Radlader – Feststoffeintrag

Lfl [9]: Roden – Lademaus – LKW – Siloplatte – Lagerung - Zerkleinerungsschaukel – Zwischenlagerung – Radlader – Feststoffeintrag

Lfl [10]: Roden – Lademaus – Schleppertransport - Siloplatte – Radlader – Feststoffeintrag

Die Ergebnisse werden in den folgenden Folien diskutiert.

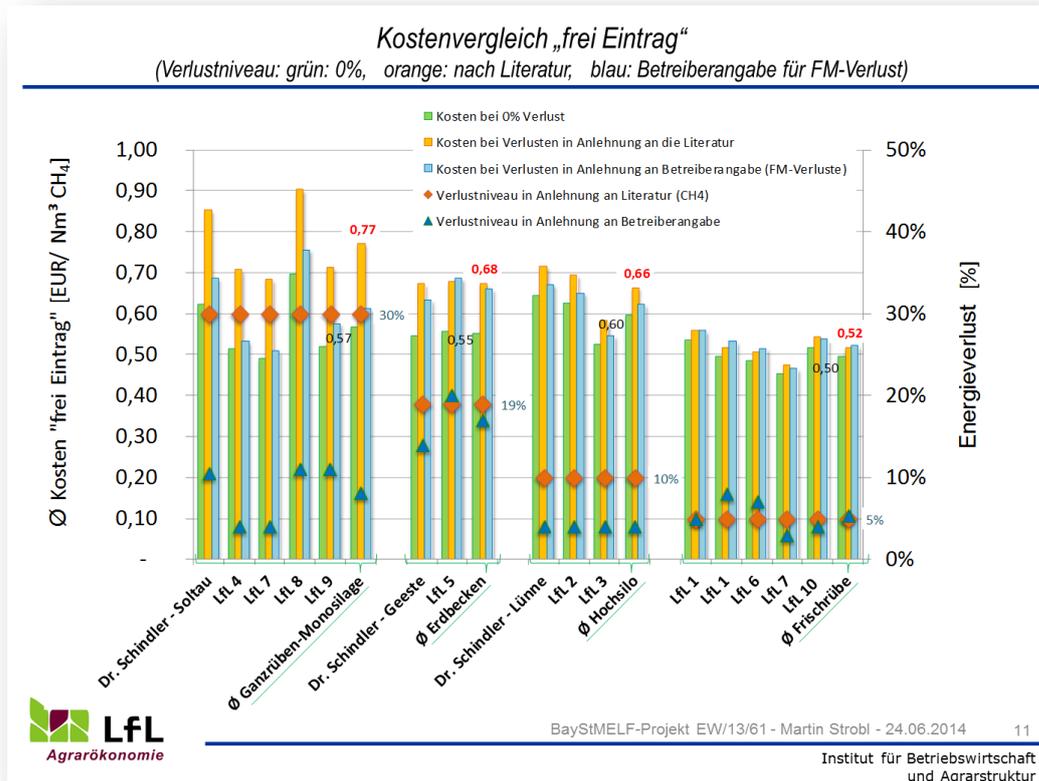
---

## **Diskussion der Ergebnisse**

***Ergänzende Information:***

Es folgen Abbildungen, die versuchen, aus den einzelbetrieblich und stichpunktartig erhobenen Zahlen erste Schlussfolgerungen abzuleiten.

## Folie 11: Kostenvergleich „frei Eintrag“



### Ergänzende Information:

#### Legende zum Verlustniveau:

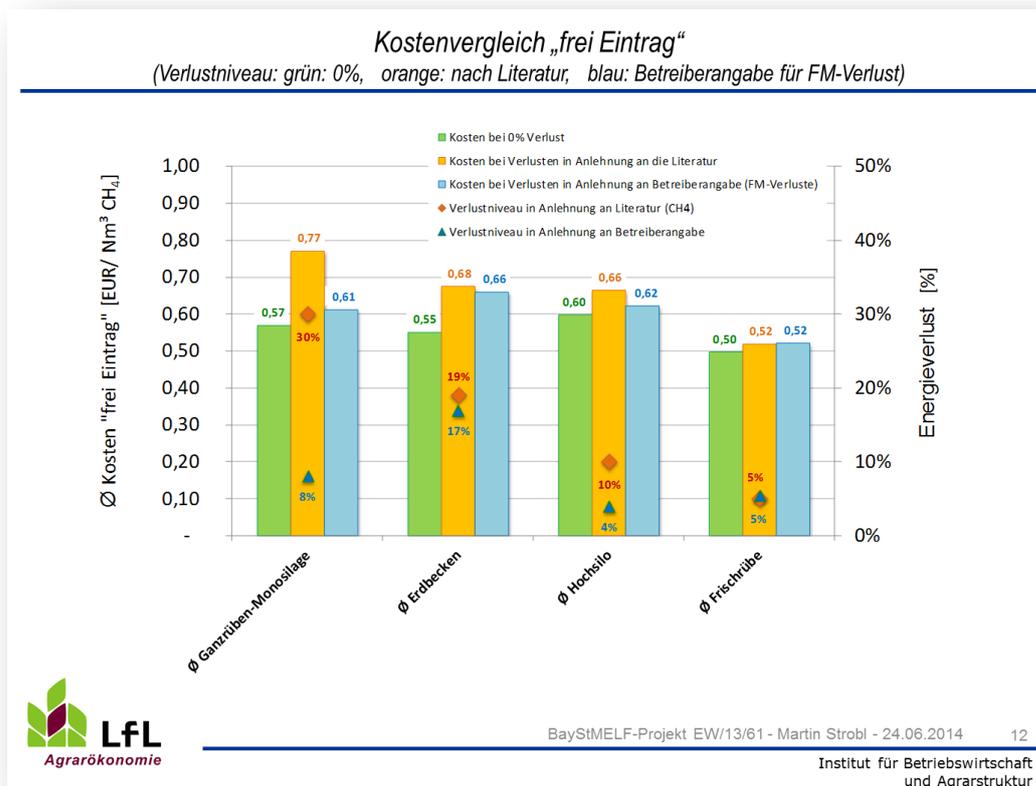
Grün: Kosten bei 0% Energieverlusten

Orange: Kosten bei einem Energieverlustniveau, das aus den Literaturwerten abgeleitet wurde

Blau: Kosten bei einem Energieverlustniveau nach Betreiberangabe (die Betreiberangaben beziehen sich ausschließlich auf geschätzte FM-Verluste)

Die Abbildung zeigt die Verfahrenskosten der Ganzrüben-Monosilage, der Erdbecken-Lagerung, der Hochsilo-Lagerung sowie der Frischrübenverwertung vom Pflanzenbau bis zur Schnittstelle „frei Eintrag“, wie sie auf den besuchten Biogas-Praxisanlagen vorgefunden wurden. Bei genauerer Betrachtung wird die Hebelwirkung des angenommenen Verlustniveaus deutlich.

## Folie 12: Kostenvergleich „frei Eintrag“ – Konzentration auf Durchschnittswerte des jeweiligen Verfahrenstyps



### Ergänzende Information:

#### Legende zum Verlustniveau:

Grün: Kosten bei 0% Energieverlusten

Orange: Kosten bei einem Energieverlustniveau, das aus den Literaturwerten abgeleitet wurde

Blau: Kosten bei einem Energieverlustniveau nach Betreiberangabe (die Betreiberangaben beziehen sich ausschließlich auf FM-Verluste. Diesbezügliche Annahme: Energieverlust=FM-Verlust)

Die Abbildung zeigt die zur vorherigen Folie identischen Verfahrenskosten, konzentriert sich jedoch auf die durchschnittlichen Stückkosten des jeweiligen Verfahrenstyps:

*Reihenfolge nach Stückkosten bei 0% Energieverluste (von niedrig zu hoch):*

- Frischrübe < Erdbecken < Ganzrüben-Monosilage < Hochsilo

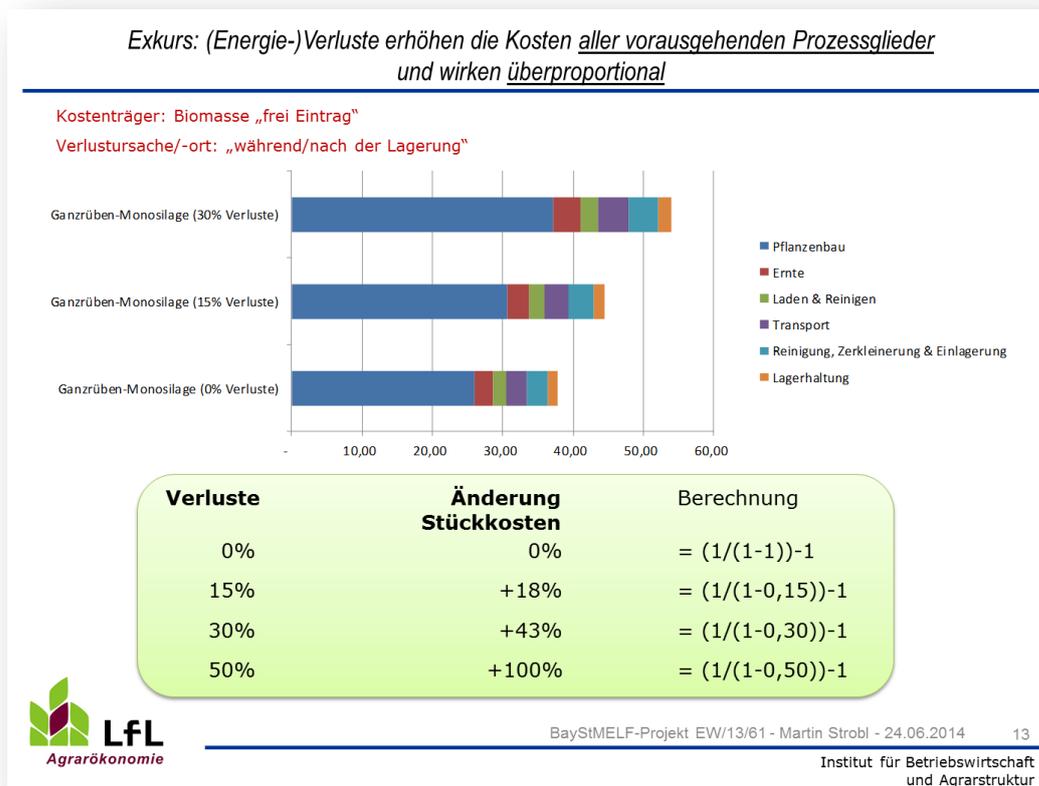
*Reihenfolge nach Stückkosten bei Energieverluste in Anlehnung an Literatur (von niedrig zu hoch):*

Frischrübe < Hochsilo < Erdbecken < Ganzrüben-Monosilage

*Reihenfolge nach Stückkosten bei Energieverluste in Anlehnung an Betreibereinschätzung (von niedrig zu hoch):* Frischrübe < Ganzrüben-Monosilage < Hochsilo < Erdbecken

Die Stückkosten der günstigsten Variante (Frischrübe mit 0% Lagerverlust) belaufen sich auf 0,50 EUR je Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>. Würde dieses Methan bei 9,98 kWh je Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> und einem elektrischen Wirkungsgrad von 37% verstromt, ergäben sich ceteris paribus je Kilowattstunde elektrischer Energie Kosten in Höhe von 13,5 Cent. Dies wäre – verglichen mit den üblichen Substratkosten „frei Eintrag“ ein deutlich überdurchschnittlicher Wert. Die Kosten je Kilowattstunde elektrischer Energie der teuersten Variante würden sich unter gleichen Annahmen auf 20,8 Cent belaufen. Die Zuckerrübe scheint daher nur in Ausnahmefällen als Grundlastsubstrat konkurrenzfähig zu sein.

**Folie 13: Exkurs: (Energie-)Verluste erhöhen die Kosten „frei Eintrag“ aller vorausgehenden Prozessglieder und wirken überproportional**



**Ergänzende Information:**

In drei Balkendiagrammen wird die identische Zuckerrübenbereitstellungskette diskutiert. Der untere Balken entspricht den Kosten vom Pflanzenbau bis „frei Eintrag“ bei 0% Energieverlust, der mittlere bei 15% Energieverlust und der obere bei 30% Energieverlust in der gesamten Prozesskette.

Lediglich bei 0% Energieverlust entsprechen die Stückkosten der eingelagerten Biomasse den Kosten den Stückkosten der ausgelagerten Biomasse. Treten in der Prozesskette Energieverluste auf, so bleiben die entstandenen Kosten in absoluten Beträgen gleich, jedoch verringert sich die kostentragende Energiemenge. In der Konsequenz erhöhen sich die Stückkosten.

**Dazu ein kurzes Beispiel zur Wirkung der Verluste:**

- Das Zuckerrüben-Bereitstellungsverfahren verursacht Kosten in Höhe von 10 EUR, wobei 10 Tonnen Frischmasse eingelagert werden, je Tonne FM entspricht dies 1 EUR (10/10)
- Betragen die Masseverluste 0%, so können auch 10 Tonnen Frischmasse ausgelagert werden, je ausgelagerter Tonne FM entspricht dies wieder 1 EUR (10/10)
- Betragen die Masseverluste 50%, so können nur noch 5 Tonnen Frischmasse ausgelagert werden, je ausgelagerter Tonne FM entspricht dies nun 2 EUR (10/5)

Die überproportionale Wirkung dieses Effekts wird in der grünen Box durch die Verlustniveaus 0 bis 50% veranschaulicht. Die Hebelwirkung des tatsächlich erreichbaren Methanertrags ist aus Sicht der Stückkosten gleich. In der Folge kann festgestellt werden, dass gerade die bei Zuckerrüben derzeit nur schwer zu beziffernden Energieverluste sowie die tatsächlich erzielbaren Methanerträge die wesentlichen Hebel zur Wirtschaftlichkeit darstellen. Auf den besuchten Praxisanlagen konnten lediglich die absoluten Kosten exakt bestimmt werden. Da auf keiner der Anlagen eine Zuckerrübenmonovergärung mit Gasmengenerfassung vorlag, konnte die daraus erzeugte Methanmenge jedoch nur hochgerechnet werden. Damit sind die abgeleiteten Stückkosten mit großer Unsicherheit behaftet.

## **Schlussfolgerung**

Die geschätzten Kosten der Zuckerrübenbereitstellung „frei Eintrag“ belaufen sich bei sonst gleichem Anlagenbetrieb und üblicher Verstromung (37% el. Wirkungsgrad) auf 13,5 bis 20,8 EUR-Cent je erzeugter elektrischer Kilowattstunde. Mit derzeitigem Kenntnisstand kann **im Rahmen dieser Kurzstudie aus ökonomischer Sicht keine allgemeingültige und seriöse Empfehlung zum Einsatz der Zuckerrübe als „Grundlast-Substrat“ in Biogasanlagen** abgegeben werden. Ausnahmen können hier beispielsweise sehr günstig verfügbare Rüben, ein besonders günstiges Ertragsverhältnis der Zuckerrübe zum Mais sein, eine EEG 2012 bedingter Zuckerrüben Einsatz (=Nichteinsatz von Maissilage) oder positive Synergieeffekte auf den Trockenmassegehalt der Substratmischung. Allerdings **fehlen derzeit belastbare Erkenntnisse zu den Lagerverlusten sowie den Methanausbeuten** und sind noch zu erarbeiten. Hier besteht Forschungsbedarf!

Im Rahmen der **Bereitstellung von Regelleistung besitzt die Zuckerrübe als „Spitzenlast-Substrat“ ein gewisses Potential. Allerdings fällt in der Regel beim Einsatz der Zuckerrübe mehr Gärrest an als bei alternativen „Spitzenlastsubstraten“ (z.B. Maiskorn). Die diesbezüglichen Mehrkosten (z.B. für Lagerung) müssen anlagenindividuell bewertet werden und vertretbar sein.** Dennoch: Unter den bereits im Bayernplan (siehe <http://www.lfl.bayern.de/iba/energie/054706/>) erwähnten Schlagwörtern „Intermittierende Beschickung“, „selektive Beschickung“ oder „saisonale Beschickung“ zur Modulation der Methanerzeugung wäre unter noch zu beschreibenden Umständen eine „etwas teurere Rübe“ denkbar, diese vielleicht sogar mit deutlichen Wettbewerbsvorteilen behaftet. Diese Überlegungen setzen allerdings neben auszubauende Kenntnisse zur Modulation der Gaserzeugung auch sicher generierbarer Mehrerlöse durch die Bereitstellung von Regelleistung voraus. Aus gärbiologischer Sicht wären hier Kenngrößen wie die max. Methanbildungsrate in Abhängigkeit zum Beschickungszeitpunkt und des jeweiligen Rübenprodukts (Brei, Ganzrübe, ..) bei gleichzeitigem Einfluss auf die biologische Stabilität des Gärprozesses von Interesse und ebenfalls noch zu erarbeiten.

Wie stark ein umfangreicher Rübeneinsatz in Biogasanlagen die Kosten der Logistikkonzepte, der Lagerung, der Konservierung sowie der Aufbereitung und Beschickung verringern könnten, ist schwer abzuschätzen. Neben den aufgezeigten Chancen sind bei zukünftigen Konzepten insbesondere die eventuell hinzukommenden Regelungen zur Lagerung zu beachten.