

## **Rüben als Biogassubstrat**

### **– Überblick über Verfahrenswege zu Transport, Aufbereitung und Lagerung**



**Nr. II – 17/2011**

---

Zusammengestellt für die Arbeitsgruppe II (Substratbereitstellung) im „Biogas Forum Bayern“ von:



**Sebastian Schaffner**  
KWS SAAT AG



**Dr. Georg Wolf**  
r.e Bioenergie GmbH



**Marcus Kawasch**  
Maschinen- und Betriebshilfsring Wolnzach-Geisenfeld-Vohburg

## Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung .....	2
2.	Ernte von Rüben als Biogassubstrat.....	2
2.1	Ernte von Rübenblatt.....	4
3.	Verladung, Abreinigung und Transport .....	5
3.1	Erde und Steine im Substrat.....	5
3.2	Entsteinung .....	6
4.	Zerkleinerung .....	7
4.1	Zerkleinerung zu pumpfähigem Brei .....	8
4.2	Erzeugung von groben Schnitzeln .....	8
5.	Silierung/Ganzjahresversorgung.....	9
5.1	Mischsilagen .....	10
5.2	Rübensilierung solo.....	10
5.2.1	Silierung von Rübenbrei .....	10
5.2.1.1	Brei im Hochbehälter .....	10
5.2.1.2	Brei im Folienerdbecken.....	11
5.2.2	Silierung unzerkleinerter Rüben .....	11
5.2.2.1	Im Folienschlauch .....	11
5.2.2.2	Im Fahrsilo .....	11
6.	Vergleichende Betrachtung .....	12
7.	Ausblick.....	14

## Literaturverzeichnis

## 1. Einleitung

Der Einsatz von Zuckerrüben, bzw. Energierüben, als Biogassubstrat gewinnt zunehmend an Bedeutung. Neben Mais ist die Beta-Rübe *die* etablierte landwirtschaftliche Kulturpflanze mit den höchsten erzielbaren Trockenmasseerträgen (TM) pro Hektar. Da die TM der Rübe im Wesentlichen aus Zucker besteht, der im Fermentationsprozess sehr schnell und fast vollständig zu Biogas umgesetzt werden kann, ist der Biogas- bzw. Methanertrag pro Hektar, je nach Standort, sehr hoch. Die Rübe bietet somit eine sehr gute Ergänzung zu den bewährten Biogassubstraten. Sie ist eine ertragsstarke Alternative im Hinblick auf Fruchtfolgekrankheiten, neue Schädlinge, in der öffentlichen Diskussion und bei Planungen zur Kapazitätserweiterung der Biogasanlage. Hier spielt die schnelle Umsetzung der TM eine gewichtige Rolle.

Der Weg der Rübe in die Zuckerfabrik wurde in den letzten Jahrzehnten sehr stark verbessert. Rüben werden heute überbetrieblich und günstig mit hoher Leistungsfähigkeit gerodet, vorgereinigt und transportiert. Bei der Verwertung als Biogassubstrat bleibt der Rohstoff Rübe nun wieder zur Verwertung auf den landwirtschaftlichen Betrieben bzw. den Biogasanlagen. Mit Anstieg der Verwertung von Rüben als Biogassubstrat hat sich ein fast vollkommen neuer Technikzweig zur Weiterverarbeitung des Rohstoffes entwickelt. Zur Weiterverarbeitung der Rüben auf der Biogasanlage stehen derzeit noch keine Standardverfahren zur Verfügung. Das Verfahren kann individuell an die betrieblichen Anforderungen und Voraussetzungen (z.B. die Bodenart) zusammengestellt werden. Hierbei ist sehr genau auf die entstehenden Aufbereitungskosten pro Tonne Rübe zu achten! Speziell der Aufwand für eine eventuelle Nassreinigung und -entsteinung ist im Vorfeld genau zu prüfen.

Dieses Arbeitspapier fasst den derzeitigen Stand der technischen Möglichkeiten und Anforderungen an die Aufbereitung zusammen. Vorher gilt es einige Fragen zu klären, da einige Verfahrensschritte noch in der Testphase sind.

Bei der Sortenwahl von Rüben zur Substratproduktion steht man auch vor der Wahl, eventuell auf Futterrüben zurückzugreifen. Die Futterrübe bringt bekanntlich einen hohen Frischmasseertrag. Allerdings liegen die TS-Gehalte der Futterrübensorten je nach Ausprägung nur zwischen 12 und 18 %. Die Zuckerrübe schafft es aufgrund des hohen Zuckergehaltes auf ca. 22 – 25 %. Dafür ist der Erdanhang bei den Futterrüben tendenziell etwas niedriger. Wesentliches Entscheidungskriterium ist der TM-Ertrag/ha, der sehr eng mit dem Zuckerertrag korreliert. Spezielle Eignung von Rüben zur Biomasseerzeugung siehe: <http://bisz.suedzucker.de/Anbau/Biomasse-Rueben/>. Des Weiteren sind standortbezogene Faktoren zu berücksichtigen. So ist z.B. die Toleranz gegenüber der bodenbürtigen Krankheit Rizomania bei den Zuckerrübensorten heute Standard. Von großer Bedeutung für die Ertragssicherheit ist ebenfalls eine Toleranz gegenüber der Rübenzystenematode *Heterodera schachtii*. Beide Eigenschaften fehlen den meisten Futterrübensorten.

## 2. Ernte von Rüben als Biogassubstrat

Die Ernte der Rüben erfolgt meist überbetrieblich organisiert durch private Lohnunternehmer oder Maschinenringe. Die etablierten Rodesysteme arbeiten heute 6-reihig mit einer Flächenleistung von ca. 1 ha/h. Die Ernte von Rüben als Biogassubstrat hat andere Ansprüche als die Ernte von Rüben für die Zuckererzeugung. Hier werden die Rüben „geköpft“ geerntet,

da es bei den „Fabriksrüben“ darauf ankommt einen möglichst geringen Blatt- und Kopfanteil im Erntegut zu erreichen, um den Anteil von Melassebildnern bei der Zuckererzeugung zu reduzieren. Für die Ernte der Rüben als Biogassubstrat ist der Kopf allerdings als zusätzliche Trockenmasse genauso wertvoll wie der Rest des Rübenkörpers und bildet zusätzliches Ertragspotenzial.

Die Umstellung der Ernte von Fabriksrüben auf Biogasrüben und die damit verbundenen Anforderungen an die Erntetechnik und dem Bedienungspersonal bereitet in der Praxis keine Probleme.

Die Einstellung der Kopfhöhe über die Exaktköpfe bzw. Blattschlegelaggregate kann sofort per Knopfdruck in der Kabine der Erntemaschine erfolgen.

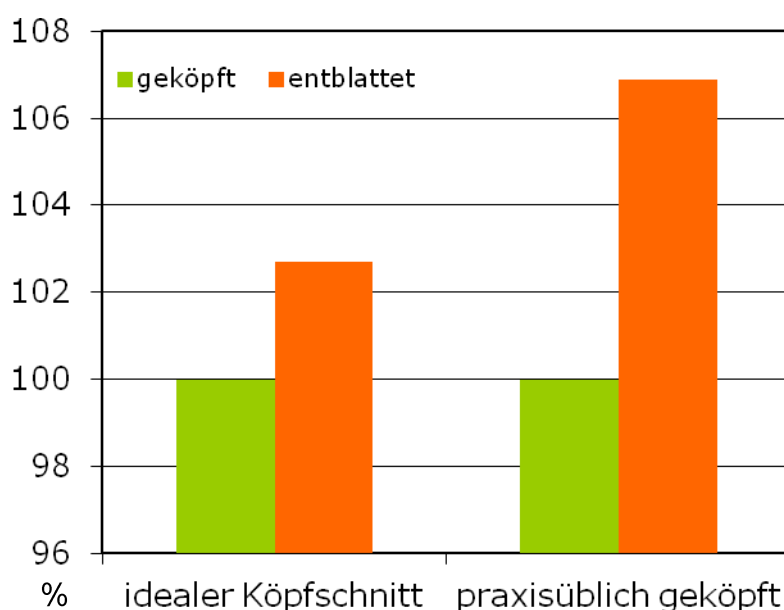


Abbildung 1: Ertragspotenzial mit Kopf, nach WOLLENWEBER et.al (2010)

Verschiedene Quellen sprechen von Mehrerträgen von 3 – 5 % im Vergleich zum praxisüblichen Köpfschnitt. Bei einem Rübenfrischmasseertrag von ca. 75 to/ha können so über 3 to Frischmasse/ha mehr geerntet werden! Die etablierten Hersteller der Rodetechnik verfolgen unterschiedliche Systeme zur Entblattung.

Auch durch Einstellung der bisher bewährten Schlegel- und Nachköpftechnik lässt sich ein Verlust des Kopfes vermeiden. Bei der Einstellung muss man allerdings beachten, dass an den Rüben verbliebene Blattstrünke gegebenenfalls bei der Weiterverarbeitung stören können. Nach einigen Tagen trocknen diese Blattreste aus und werden zäh wie Leder. Müssen nun die Rüben beispielsweise gewaschen bzw. entsteint werden, gilt für viele Maschinen Verstopfungsgefahr. Damit ist der gewonnene Ertragsvorteil durch Mehrarbeit verloren.



Abbildung 3: gut entblattete Biogas-Rübe



Abbildung 4: Geerntete Rüben mit Microtopping-System (Bildquelle ROPA)

## 2.1 Ernte von Rübenblatt

Die Bergung des Rübenblattapparates ist ebenfalls eine Möglichkeit den Trockenmasseertrag der Rüben zu steigern. Je nach Rübenertrag, Sorte und Jahr können bis zu 40 to Frischmasse Rübenblatt/ha geerntet werden. Die TS von Rübenblatt liegt allerdings nur bei ca. 15 %, so dass viel Wasser transportiert werden muss und sich die wirtschaftliche Transportentfernung auf wenige Kilometer um die Anlage beschränkt. Zudem muss eine zusätzliche Überfahrt mit Überladewagen getätigt werden, welche die Rodung in der Flächenleistung negativ beeinflusst, die Bodenstruktur schädigen kann, zusätzliche Investitionen in ein Blattbergeband bedingt und die Humusbilanz belastet. Blattbergebander sind bei den Roderherstellern verfügbar.

Allerdings ist selbst bei älteren Geräten die Anbringung der Blattbergebander mit einem erhöhten Zeitaufwand verbunden. Bei neueren Maschinen mit Integralhäckslern muss schon bei der Beschaffung der Roder eine Blattbergung geplant werden. Die praktischen Erfahrungen haben gezeigt, dass eine Rübenernte mit gleichzeitiger Blattbergung nur bei größeren Schlägen sinnvoll ist. Die Erntekosten liegen bei ca. 80 €/ha.



Abbildung 5: Blattbergung, Quelle ROPA



Abbildung 6: Blattbergung, Quelle ROPA

### 3. Verladung, Abreinigung und Transport

Nach der Rodung ist es von großem Vorteil die Rüben zunächst am Feldrand auf Mieten zwischenzulagern. Dies entzerrt die Logistik und bietet zudem den großen Vorteil, dass anhaftende Erde an den Rüben antrocknet und bei der folgenden Verladung mit überbetrieblich organisierten Reinigungsladern, oft „Maus“ genannt, zum großen Teil bereits abgereinigt wird und auf dem Feld verbleibt. Je nach Bodenart und Erdanteil können die Rüben mit einer Stundenleistung von 100 - 200 t/h verladen werden. Bei der Transportplanung ist zu berücksichtigen, dass eine Tonne Rüben ein Schüttgewicht von ca. 700 kg/m<sup>3</sup> erreicht. Sind Temperaturen unter dem Gefrierpunkt angekündigt, hat sich eine Abdeckung der Rübenmieten mit schwerem Vlies bewährt.

Für den Transport sind auch einige rechtliche Dinge zu beachten, sofern den Transport die Besitzer der Rüben selbst (Landwirte) über gemeinschaftlich organisierte Abfuhrgemeinschaften (GbR, GENO) übernehmen.

Da der Abnehmer von Biogasarüben in der Regel ein gewerbliches Einzelunternehmen darstellt, sind entsprechende rechtliche Fragen im Hinblick auf Güterkraftverkehrsgesetz (gewerblicher Güterverkehr), Fahrerlaubnis (Sachkunde nach Güterkraftverkehrsgesetz), Fahrpersonalrecht (Führen eines Fahrtenschreibers), sowie Steuerrecht (Gewerbeanmeldung, Umsatzsteuer) zu klären. (siehe dazu: [„Biomasse Transporte Hinweise zur Organisation und Verrechnung“](#))



Abbildung 7: Verladung mit der „Maus“ Quelle ROPA



Abbildung 8: RRL, Quelle: Holmer

#### 3.1 Erde und Steine im Substrat

Die größte Herausforderung beim Einsatz von Rüben als Biogassubstrat ist der mögliche Eintrag von Steinen und Sand mit dem Erntegut. Während Ton, Lehm und Schluffanteile in den meisten Biogasanlagen durch Rühren und Pumpen in der Schwebe bleiben, sich an die Organik im Fermenter anheften und mit dem Gärrest größtenteils wieder ausgebracht werden, neigt der Sand zur Sedimentation. Andererseits hängt an Rüben die auf sandigen Böden angebaut werden absolut gesehen aber weniger Erde an. Und wenn Erde anhängt, lässt sie sich mit den vorhandenen Geräten zur Nass- und Trockenreinigung gut abreinigen.

Wichtig ist, dass keine der bewährten Nass- oder Trockenabreinigungstechniken eine vollkommene Erdfreiheit sicherstellen kann! Hier müssen sich die Biogasanlagenbetreiber allerdings auch bewusst sein, dass es generell keine erdfreien Nawaro-Substrate gibt. Grassilagen, GPS oder auch Mais und Gülle oder gar HTK weisen immer gewisse Ascheanteile auf, man sieht sie nur selten! Die Trockenmasse der Zuckerrübe weist einen Aschegehalt (ohne Erdanhang) von ca. 2 % auf.

### 3.2 Entsteinung

Zur Trennung der Steine aus dem Erntegut ist derzeit die Dichtentrennung im Wasser das einzig sichere System. Technisch findet die Dichtentrennung im Wasser verschiedene Umsetzungen: Zum einen besteht die Möglichkeit die spezifische Dichte des Wassers bspw. durch Zugabe eines Düngesalzes zu erhöhen und damit die Rüben zum Schwimmen zu bringen. Die Dichte der Rüben liegt bei  $\sim 1,1$ . Die andere Möglichkeit besteht darin, einen Wasserauftrieb zu erzeugen, der die Rüben in einem Schwemmkanal aufschwimmen lässt und so die Steine aus dem Erntegut trennt. Beide Verfahren erreichen nach Herstellerangaben einen Durchsatz von ca. 60 t/h.



Abbildung 9: KWS Rübenwäsche, Quelle: KWS



Abbildung 10: Rübenwasch- und -schneidschaufel von Holaras (ohne Stein-trennung)

Beispielhaft ist die Entsteinung hier an der KWS Rübenwäsche erläutert:

Hauptzweck der Maschine ist die Entsteinung des Erntegutes, da die Steine den größten Schaden an der nachfolgenden Zerkleinerungs- oder Dosiertechnik der Biogasanlage anrichten können. Das eigentliche „Waschen“ der Rüben ist eine Art Nebeneffekt, da die Steine von den Rüben nach der spezifischen Dichte der Stoffe getrennt werden müssen, die nur in einem wässrigen Medium zu greifen ist.

Die mobile Rübenwäsche besteht aus einem einzigen LKW-Zug. Die Zugmaschine ist ein Hakenlift-LKW, der einen Abrollcontainer als Wasserbecken auf der Ladefläche mitführt. Die Wascheinheit ist komplett auf einem Anhänger aufgebaut. Die Stromversorgung erfolgt über ein fest aufgebautes Stromaggregat.

Nachdem die Maschine auf befestigtem Untergrund aufgebaut und der Wassercontainer befüllt wurde, beginnt die Rübenzufuhr mittels Teleskop- oder Radlader in den fest aufgebauten Grimme-Sturzbunker. Der Sturzbunker dosiert die Rüben langsam über die anschlie-

ßende Trockenenterdung, die Blattreste oder lose Erde schon vor der Nassstrecke über Sternwalzen abreinigt. Anschließend werden die Rüben in die 2 m lange Waschtrommel dosiert. Hier wird durch eine Tauchpumpe im Wassercontainer das Waschwasser eingeleitet. Die Rüben können im Wasser intensiv aneinander reiben und erzielen dadurch einen guten Abreinigungseffekt.

Anschließend gelangen die Rüben durch einen kurzen Schwemmkanal zum Herzstück der Anlage, dem Trommelsteinabscheider (TSA). Der TSA trennt die Steine mittels eines genau eingeregeltten Wasserauftriebs von den Rüben und wirft sie anschließend aus. Dabei ist hier keine Pumpe für die Erzeugung des Auftriebs notwendig, denn der TSA erzeugt sich den nötigen Druck für das Auftriebswasser durch ein kompliziertes Schneckensystem und die Eigendrehung der Trommel selbst. Die Rüben sind mit einer Dichte von 1,08 bis 1,12 „schwerer“ als Wasser und würden daher selbst im Wasser absinken. Durch den Auftrieb „schwimmen“ die Rüben jedoch durch den TSA. Steine, mit einer Dichte von ca. 2-4 (je nach Gesteinsart), sinken gegen den Aufstrom in „Steinefangtaschen“ und werden ausgetragen. Der TSA sortiert mit einer vom Hersteller garantierten Genauigkeit von 99,5 %! Bei zahlreichen Praxiseinätzen der Rübenwäsche wurde bei sachgerechter Anwendung eine 100 %ige Steintrennung erreicht.

Nach dem TSA gelangen die entsteineten Rüben auf ein fest installiertes Förderband und können bis auf 4,2 m Höhe übergeladen und abtransportiert oder auf Platte abgelegt werden. Das Wasser läuft mit der abgewaschenen Erde aus dem TSA drucklos in den Wassercontainer zurück und wird nach kurzer Absetzphase wieder in den Kreislauf gepumpt.

Durch Haftwasser an den Rüben ergibt sich ein nicht zu vermeidender Wasserverlust von ca. 50-70 Liter Wasser/Tonne Zuckerrübe.

Wichtig ist, dass einmal gewaschene/entsteinete Rüben sich nicht mehr lange frisch lagern lassen! Je nach Temperatur setzt nach 5-10 Tagen die Fäulnis ein. Daher sollten gewaschene/entsteinete Rüben möglichst bald nach der Nassreinigung entweder einsiliert oder der Fermentierung zugeführt werden.

Die Nasswäsche und Entsteinung bedingt einen hohen Arbeits- und Kostenaufwand. Der Aufwand incl. Maschinen und Arbeit liegt bei ca. 5 €/t. Bei geringem Steinbesatz und Böden mit geringem Sandanteil sollte auf die Nassreinigung am besten verzichtet werden!

#### **4. Zerkleinerung**

Bevor die Rüben zerkleinert werden muss feststehen, wie sie gelagert bzw. einsiliert werden sollen! Werden die Rüben als Brei einsiliert sind andere Zerkleinerungstechniken vorzusehen als wenn die Rüben z.B. in Mischungen mit Mais siliert werden sollen, wofür grobe Schnitzel ausreichen, oder unzerkleinert einsiliert werden.

Eine Zerkleinerung der Rüben vor dem Eintrag in den Fermenter ist in jedem Fall empfehlenswert. Unzerkleinerte Rüben würden zum einen schnell auf den Fermenterboden absinken, sind nur langsam umsetzbar und bringen die Gefahr einer Verstopfung von Pumpen und Leitungen mit sich.



#### 4.1 Zerkleinerung zu pumpfähigem Brei

Zur Erzeugung von Rübenbrei stehen verschiedene technische Lösungen zur Verfügung. Wichtig sind dabei der Durchsatz und die Homogenität des erzeugten Breis, um Sedimentationsschichten im Lager zu vermeiden. Die Schichtenbildung ist zwar für die Silierung kein Nachteil, erschwert aber die gleichmäßige Zuführung zur Fermentation.

Neben einzelnen Pumpen mit kombinierten Häckseleinrichtungen, die allerdings nur geringe Durchsätze erreichen, ist der Einsatz von Kompost- oder Holzschreddern weit verbreitet. Vorteil dieser Technik ist zum einen der hohe Durchsatz (je nach Gerät > 100t/h) und die Möglichkeit gegebenenfalls auch Steine direkt mit zu zerkleinern und sie nicht abtrennen zu müssen.

Auch andere Mühlen mit schnell laufenden Werkzeugen sind verfügbar, jedoch ist hier meist eine vorherige Steintrennung die Bedingung. Zudem finden sich noch verschiedene Hersteller aus dem Recyclingbereich, die sog. „Querstromzerspanner“ oder „Prallreaktoren“ anbieten. Diese Geräte sind ebenfalls Stein-tolerant, aber meist nicht mobil und überbetrieblich verfügbar, was hohe Invest- und Stückkosten zur Folge hätte.



Abbildung 11: Willibald-Schredder mit hoher Durchsatzleistung und „Steintoleranz“



Abbildung 12: Zerreißer mit hohem Durchsatz und direkt angeschlossener Pumpe, allerdings steinempfindlich.

#### 4.2 Erzeugung von groben Schnitzeln

Weit verbreitet und zuverlässig einsetzbar sind mit Ölmotoren angetriebene Häcksel-schaufeln für den Anbau am Teleskoplader oder im Dreipunkt.

Vorteil dieser Schaufeln ist der flexible Einsatzbereich und die Robustheit des Systems. Kommt ein größerer Stein in die Häckselwelle und blockiert diese bleibt der Ölmotor stehen. Nun kann die Schaufel ausgekippt und der Stein entfernt werden. Bei geringem Steinbesatz ist dies die günstigste Lösung zur Steintrennung.

Die Schaufeln erzeugen je nach Einstellung faust- bis streichholzschachtelgroße Schnitzel, die für den Feststoffeintrag ideal sind. Die Schaufeln gibt es sowohl in kleiner Ausführung für

den Teleskoplader (ca. 1,5 t Fassungsvermögen) als auch im großen Maßstab (ca. 3 t Fassungsvermögen) für den Radladeranbau.



Abbildung 13: Holaras Häckselschaufel



Abbildung 14: vdw-Häckselschaufel

Denkbar ist auch der Einsatz von Futtermischwagen zur Zerkleinerung von Zuckerrüben.

## 5. Silierung/Ganzjahresversorgung

Die Rüben können, je nach Witterung und Zustand der Rüben, zwei bis drei Monate nach der Ernte in einer Miete gelagert werden. Hierbei sind allerdings gewisse Atmungsverluste zu kalkulieren. Die Überwinterung von Zuckerrüben im Feld ist eine interessante Alternative zur Mietenlagerung bzw. Silierung. Bei der Standortauswahl ist darauf zu achten, dass nur die besten und gleichmäßigsten Bestände überwintern sollten, da sich ein guter Rübenbestand mit gesundem Blattwerk bis zu einem gewissen Grad selbst mit dem Blattwerk vor Frost schützen kann. Lückige Bestände und Rüben mit hoher Scheitelhöhe bieten eine große Angriffsfläche für Frost. Die Rüben haben die ersten Frostperioden gut überstanden, reagierten jedoch teilweise auf die späteren Wechselfröste im Februar mit einsetzender Fäulnis, so dass sie bei guter Witterung Ende Februar geerntet werden mussten. Andere Standorte in Norddeutschland reagierten kaum auf Frost und konnten bis zum Einsetzen der Schosspphase im Mai im Feld verbleiben. Die Frosthärte von Zuckerrübensorten wird weiterhin intensiv unter verschiedenen Bedingungen und Standorteinflüssen geprüft. Wichtiger als eine schnelle Rodung ist die zügige Verarbeitung der geernteten Rüben.

Über einen längeren Zeitraum lassen sich die Rübe nur in Form einer Silage sicher lagern. Zudem bietet die silierte Rübe ein deutlich höheres Methanertragspotenzial als die frische Rübe (WEISSBACH 2009). Ziel einer gezielten Substratversorgung der Biogasanlage muss sein, die Rüben solo einzusilieren. Hier gilt, dass die Rübe in Ihren Extremen, entweder als Brei oder unzerkleinert, sehr gut siliert. Dennoch sind auch Mischsilagen weit verbreitet und etabliert.

Beim Lagern von Rüben sind die wasserwirtschaftlichen Anforderungen an JGS-Anlagen (Anlagen zum Lagern und Abfüllen von Jauche, Gülle, Festmist und Silagesickersäften) einzuhalten, vgl. § 62 Abs. 1 Satz 3 WHG i.V. mit Anhang 5 VAWS bzw. Entwurf VAUWS.

## 5.1 Mischsilagen

Mischsilagen bedingen immer einen Kompromiss für den einen oder anderen Mischungspartner und stellen hohe Ansprüche an die Logistik und Kombination der Ernteketten. Werden Mais und Rüben gemeinsam siliert, muss man sich für den optimalen Erntetermin einer Kultur entscheiden. Da meist der Mais den Termin der Ernte Ende September bis Anfang Oktober vorgibt, werden der Rübe 6 bis 8 Wochen Vegetationszeit und damit Ertrag genommen! Die Mischsilage von Mais und Rüben ist dennoch eine einfache und relativ kostengünstige Variante. Legt man den Fokus im Ertrag auf die Rübe, so bietet es sich an den Mais als CCM oder LKS zu ernten. Klar ist, dass der Ertragsverlust dann beim Mais liegt. CCM oder LKS bieten aber aufgrund der hohen TS des Materials die Möglichkeit mit „wenig Mais viel Rübe“ zu silieren. Rechnerisch ist bei einer TS des LKS von 60% ein Anteil von bis zu 70% Rübe in der Mischung denkbar. Der LKS könnte dann von weiter entfernten Schlägen mit guter Transportwürdigkeit geerntet werden. In Mischungen können die Rüben direkt gebröckelt einsiliert werden, da für die Silierung von gebröckelten Rüben ein Mischungspartner erforderlich ist, der den austretenden Saft bindet. Der Saft weist einen sehr niedrigen pH-Wert auf, was im Silomanagement beachtet werden muss. Gemäß Praxiserhebungen tritt bei zerkleinerten Rüben auf die Frischmasse bezogen je nach Zerkleinerungsgrad ca. 30-40 % Sickerwasser aus. Bei unzerkleinerten Rüben liegt dieser Wert bei ca. 15-20 %.

Unbedingt zu beachten ist hierbei, dass der anfallende Sickersaft mit einem pH-Wert von ca. 3,5 aggressiv gegenüber Beton und Stahl wirkt. Vor allem in den Luftwechselzonen zeigt sich auch im Silo nach wenigen Jahren deutlich, wo Sickersaft entlang geflossen ist. Der Rübensickersaft ist sehr energiereich und sollte nicht ins Endlager geleitet, sondern der Fermentation zugeführt werden.

## 5.2 Rübensilierung solo

Die Rübensilierung ohne Mischungspartner lässt sich entweder mit einer homogenen Zerkleinerung der Rüben zu Brei oder komplett unzerkleinert realisieren.

### 5.2.1 Silierung von Rübenbrei

#### 5.2.1.1 Brei im Hochbehälter

Vollständig und homogen zerkleinert lassen sich Rüben als Brei entweder im Edelstahlhochsilo oder in beschichteten Betonbehältern gut silieren. Bei der Wahl der Zerkleinerungstechnik muss man genau auf eine feine „Vermahlung“ des Substrates achten, um Entmischungen im Lager zu vermeiden und eine kontinuierliche Beschickung des Fermenters zu gewährleisten. Je nach Steinbesatz im Erntegut lassen sich Holzschredder gut einsetzen, die bei geringem Fremdkörperanteil auch Steine kleinmahlen können. Andere Techniken bedingen eine vorherige Steinabtrennung. Zu beachten ist, dass sich frisch erzeugter Rübenbrei nicht problemlos pumpen lässt. Abhängig von der Technik ist die Zugabe einer gewissen Wassermenge erforderlich. Auch die Entnahme aus dem Hochsilo kann sich in der Praxis zu Problemen führen. Praktiker berichten, dass ein Entnahmetrichter mit einem zentralen Entnahmeschacht von Vorteil ist.

### **5.2.1.2 Brei im Folienerdbecken**

Die Lagerung von Rübenbrei in Folienerdbecken („Lagunen“) ist derzeit eine viel diskutierte Variante zur Lagerung in der Praxis. Das Verfahren ist sehr kostengünstig in der Investition. Kaum bekannt ist bislang allerdings wie hoch die tatsächlichen Energieverluste und Emissionen durch die meist fehlende Abdeckung sind. Dies ist derzeit Gegenstand vieler Untersuchungen. Auch die regionalen Gegebenheiten zur Genehmigungsfähigkeit müssen beachtet werden.

Die Entnahme des Breis ist ähnlich anspruchsvoll wie beim Edelstahlsilo: Es ist bei der Einlagerung genau darauf zu achten, dass das Material homogen zerkleinert wird, um Entmischungen zu vermeiden. Zudem ist eine Fangmulde für Fremdstoffe an der Entnahmestelle anzuraten.

## **5.2.2 Silierung unzerkleinerter Rüben**

### **5.2.2.1 Im Folienschlauch**

Eine flexible Möglichkeit der Silierung unzerkleinerter Rüben bietet der Folienschlauch. Zwar sind die Kosten der Silierung/t höher, die Stundenleistung bei der Einlagerung geringer und die Entnahme erfordert etwas mehr Zeit als bei anderen Silagevarianten, allerdings überzeugt der Folienschlauch durch eine sehr gute Silierqualität. Austretendes Sickerwasser wird sich an der tiefsten Stelle sammelnd und muss abgepumpt werden. Zerkleinerte Rüben können nicht im Schlauch gelagert werden, da der massiv auftretende Sickersaft den Schlauch zum platzen bringt.

### **5.2.2.2 Im Fahrsilo**

Unzerkleinerte Rüben können auch als Miete im Fahrsilo einsiliert werden. Wichtig bei der Anlage einer Fahrsilosilage mit unzerkleinerten Rüben ist der Einsatz einer Folie, die bis ca. 2m tief unter den Mietenrand gezogen und anschließend nach oben umgeschlagen wird, um den Abfluss von CO<sub>2</sub> durch den Luftpumpeneffekt zu vermeiden, da die Rübenmiete nicht rückverdichtbar ist. Anschließend wird die Miete wie eine Maissilage mit Unterziehfolie, Silofolie und Vogelschutznetz abgedeckt. Nach 3-4 Wochen ist die Silierung gemäß den Erfahrungen aus der Praxis aus Folienschlauch und Fahrsiloanlagen abgeschlossen. Probleme kann es nach der Öffnung der Silage offenbar durch Kondenswasser an der Oberfläche geben. Hier wurde eine Schimmelbildung beobachtet. Das Verfahren muss weiter verfeinert werden.

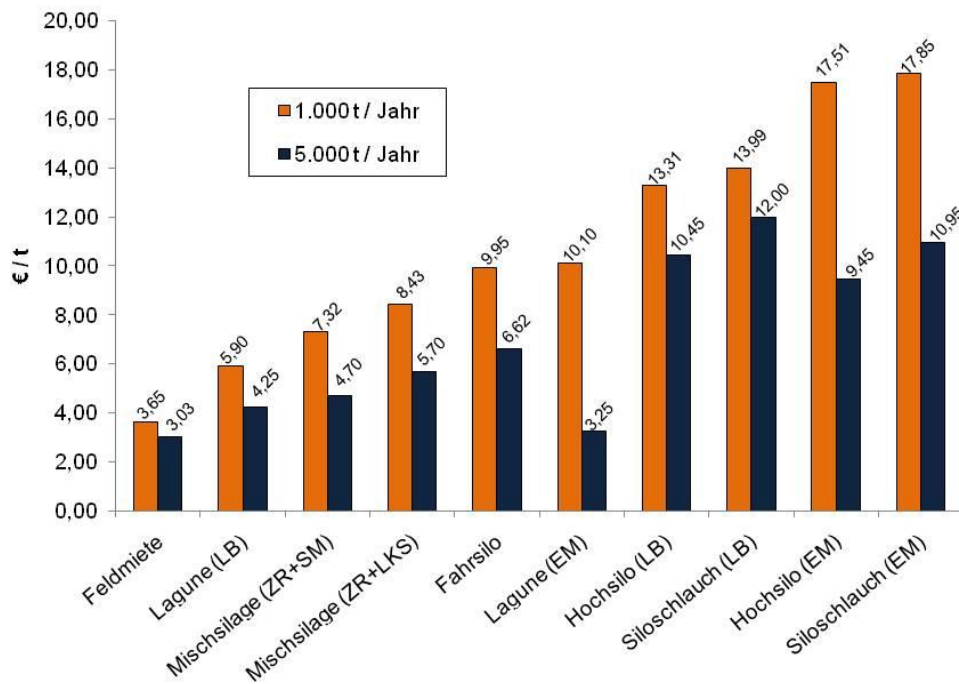
Die unzerkleinerten Rüben aus dem Schlauch oder dem Fahrsilo können anschließend mit Häckselchaufeln entnommen und zerkleinert dem Dosierer zugeführt werden.



Abbildung 15: Übersicht über mögliche Wege der Rübensilierung

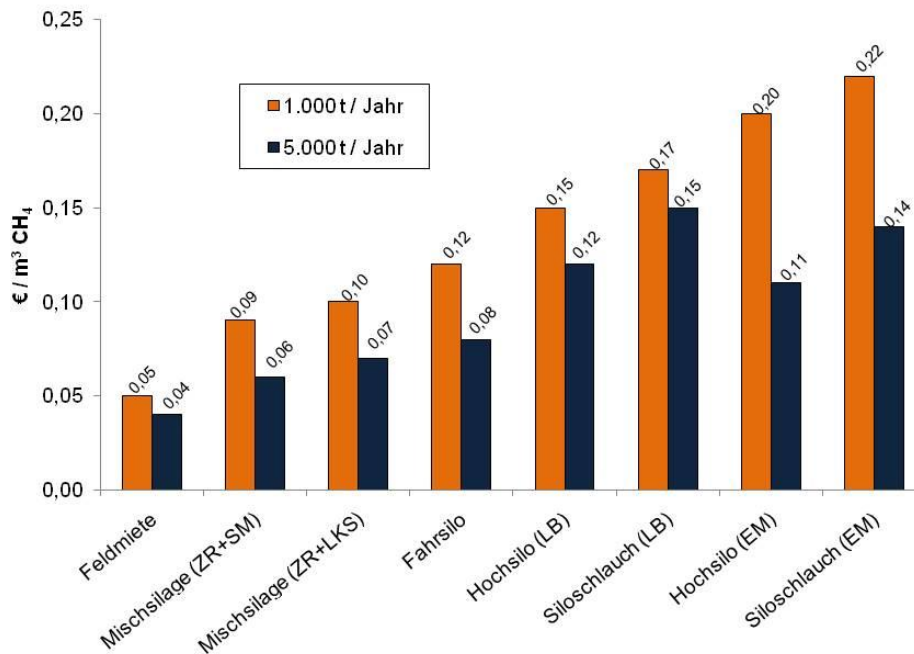
## 6. Vergleichende Betrachtung

An der FH Soest wurden die bekanntesten Lagerverfahren in einer Masterarbeit bewertet (Abb. 16). Verglichen wurden die Kosten des Einsatzes von 1.000 und 5.000 t Rüben bei Eigenmechanisierung oder Einsatz eines Lohnunternehmers. Die Kosten der Lagerung von Zuckerrüben beziehen sich auf die kompletten Verfahren inklusive Rübeneintrag, Rübenlagerung und Rübenaustrag und geben somit einen Überblick über die Verfahrenskosten ab Lagereintrag bis zur Übergabe des Substrats an den Fermenter der Biogasanlage. Die Kosten für eine Wäsche wurden nicht eingerechnet, da dieser Arbeitsgang nicht auf jedem Standort nötig ist, sie für alle Verfahren gleich wären und damit für einen Verfahrenvergleich irrelevant sind. Hierfür sind zusätzliche Kosten, je nach System, von 3 - 5 €/t anzusetzen. Der Ertragsnachteil für Mais oder Rüben bei der Erstellung einer Mischsilage wurde ebenfalls nicht mit eingerechnet. Die Verfahrenskosten sinken mit zunehmender Auslastung der Maschinen. Zu erkennen ist, dass die Verfahren Feldmiete (Frischverwertung), Lagune (Folienerdbecken) Mischsilage und Silierung im Fahrsilo am günstigsten abschneiden.



LB: Lohnbetrieb; EM: Eigenmechanisierung; ZR: Zuckerrübe; SM: Silomais; LKS: Lieschkolbenschrot

SCHATTSCHEIDER, 2010



LB: Lohnbetrieb; EM: Eigenmechanisierung; ZR: Zuckerrübe; SM: Silomais; LKS: Lieschkolbenschrot

SCHATTSCHEIDER, 2010

Abbildung 16: SCHATTSCHEIDER, 2010: Kosten der Energierübenlagerung verschiedener Lagerungsverfahren in Abhängigkeit unterschiedlicher Lagermengen (Bemerkungen: LU = Lohnbetrieb; EM = Eigenmechanisierung; ZR = Zuckerrüben; SM = Silomais; LKS = Lieschkolbenschrot)

## Gasertrag Zuckerrüben

Zuckerrübe nach	Eigenschaften	TM %	davon oTM %	Biogasertrag I <sub>N</sub> /kg oTM	Biogasertrag I <sub>N</sub> /kg FoTS	Biogasertrag m <sup>3</sup> /t TS <sub>k</sub>	Methan-gehalt %
KTBL <sup>1)</sup> (Richtwert)	frisch	23	92	700			51
WEIßBACH <sup>2)</sup>	frisch				756		49,1
WEIßBACH <sup>2)</sup>	siliert >6 Monate				797		53,6
THAYSEN <sup>3)</sup>	siliert	23				747	52,9

<sup>1)</sup> KTBL (2007), <sup>2)</sup> WEIßBACH, F. (2009), <sup>3)</sup> THAYSEN, J. (2011),

## 7. Ausblick

Technikkonzept mit Entwicklungspotenzial

Kurz gesagt: Es gibt noch kein Standardverfahren zur Rübenaufbereitung für Biogasanlagen wie beim Mais. Die Rübe wächst unter der Erde und nicht über der Erde, wie der Mais. Unterschiedliche Böden bedingen auch unterschiedliche Aufbereitungsverfahren und damit Kosten. Eines ist jedoch sicher: Der Run auf die Energierübe, die hohe Nachfrage im Markt, viele Ideen findiger Biogasanlagenbetreiber und der Wille zur Entwicklung günstiger und schlagkräftiger Rübenaufbereitungstechnik wird den Weg der Energierübe weiter ebnen – die Biogaseignung der Zuckerrübe ist kein Diskussionsthema mehr, nur das „Wie?“.

## Literaturverzeichnis

KTBL (2007): Faustzahlen Biogas, Darmstadt 2007, S.60

WEIßBACH, F. (2009): Das Gasbildungspotenzial von frischen und silierten Zuckerrüben, Landtechnik 64 (2009), H. 6

THAYSEN, J. (2010): Vortrag: Zuckerrüben im Biogasprozess, BioEngery November 2010, Hannover

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

WOLLENWEBER, D., TÖPPE, D., SCHÄFER, B.C. (2010): Rüben entblättern statt köpfen?, Top Agrar 3/2010, S. 86-90

## **Das „Biogas Forum Bayern“ ist eine Informationsplattform zum Wissenstransfer für die landwirtschaftliche Biogasproduktion in Bayern**

### **Arbeitsgruppe II (Substratbereitstellung)**

hier erarbeiten Experten Publikationen zu folgenden Themen:

- Logistik der Ernte
- Gärrestausbringung
- Konservierung und Silagequalität

### **Mitglieder der Arbeitsgruppe II (Substratbereitstellung)**

- **Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Pfaffenhofen, Bayreuth und Nördlingen**
- **Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.**
- **Aufwind Neue Energien GmbH**
- **BAG Budissa Agroservice GmbH**
- **Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten**
- **Bayerisches Landesamt für Umwelt**
- **Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft**
  - Institut für Landtechnik und Tierhaltung
  - Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft
  - Institut für Ländliche Strukturentwicklung, Betriebswirtschaft und Agrarinformatik
- **Biogasanlagenbetreiber**
- **EBA-Zentrum Triesdorf**
- **Fachverband Biogas e.V.**
- **Firma Claas**
- **Fliegl Agrartechnik GmbH**
- **Hochschule Weihenstephan-Triesdorf**
- **Kuratorium Bayerischer Maschinen- und Betriebshilfsringe e.V.**
- **KWS SAAT AG**
- **Landeskuratorium für pflanzliche Erzeugung**
- **Landwirtschaftliche Lehranstalten des Bezirkes Oberfranken**
- **Regens Wagner Stiftung**



#### **Herausgeber:**

Arbeitsgemeinschaft Landtechnik  
und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.  
Vöttinger Straße 36  
85354 Freising  
Telefon: 08161/71-3460  
Telefax: 08161/71-5307  
Internet: <http://www.biogas-forum-bayern.de>  
E-Mail: [info@biogas-forum-bayern.de](mailto:info@biogas-forum-bayern.de)