

## **Rüben als Biogassubstrat**

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



**Nr. II – 17/2013**

---

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



**Sebastian Schaffner**  
KWS SAAT AG



**Dr. Georg Wolf**  
agri.capital GmbH



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

## Inhaltsverzeichnis

|         |                                               |    |
|---------|-----------------------------------------------|----|
| 1       | Einleitung .....                              | 2  |
| 2       | Sortenwahl und pflanzenbauliche Aspekte ..... | 2  |
| 3       | Ernte von Rüben als Biogassubstrat.....       | 3  |
| 3.1     | Ernte von Rübenblatt.....                     | 4  |
| 4       | Verladung, Abreinigung und Transport .....    | 5  |
| 5       | Zerkleinerung .....                           | 8  |
| 5.1     | Zerkleinerung zu pumpfähigem Brei .....       | 8  |
| 5.2     | Erzeugung von groben Schnitzeln .....         | 9  |
| 6       | Silierung/Ganzjahresversorgung.....           | 10 |
| 6.1     | Mischsilagen .....                            | 12 |
| 6.2     | Rübensilierung solo .....                     | 12 |
| 6.2.1   | Silierung von Rübenbrei .....                 | 12 |
| 6.2.1.1 | Brei im Hochbehälter .....                    | 12 |
| 6.2.1.2 | Brei im Folienerdbecken .....                 | 13 |
| 6.2.2   | Silierung unzerkleinerter Rüben .....         | 13 |
| 6.2.2.1 | Im Folienschlauch .....                       | 13 |
| 6.2.2.2 | Im Fahrsilo .....                             | 14 |
| 7       | Vergleichende Betrachtung .....               | 17 |
| 8       | Ausblick.....                                 | 19 |

## 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 für einige Anwendungsbedingungen bereits Standardverfahren zur Verfügung. Die Verfahren können 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.

## 2 Sortenwahl und pflanzenbauliche Aspekte

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 Zuckerrübensorten 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 Rübenzystennematode Heterodera schachtii. Beide Eigenschaften fehlen den meisten Futterrübensorten.

Zudem ist bei Einbindung der Rübe in Maisfruchtfolgen die Krankheit Rhizoctonia solani (späte Rübenfäule) zu beachten, da Mais und Rübe hier Wirtspflanzen sind. Auch dies ist ein wichtiger Punkt bei der Sortenwahl, da hier resistente Rübensorten zur Verfügung stehen.

Wenn Rüben nach Mais angebaut werden ist des Weiteren eine mögliche Nachwirkung einiger Maisherbizide zu beachten, die die Rübe schädigen können.“ Link hier: <http://www.liz-online.de/themen/pflanzenschutz/pflanzenschutzmittel/herbizid-nachbauprobleme.html>

### 3 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.

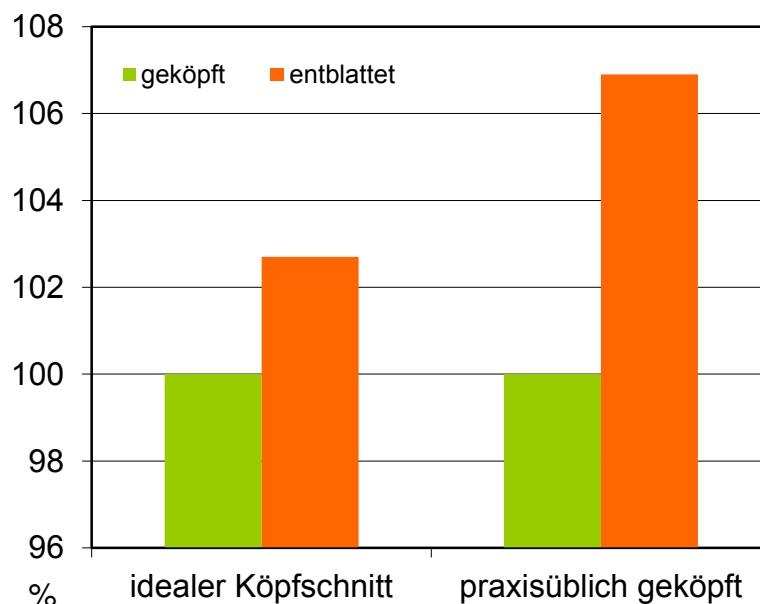


Abbildung 1: Ertragspotenzial mit Kopf, nach WOLLENWEBER et.al (2010)

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 2: gut entblattete Biogas-Rübe  
Foto: KWS



Abbildung 3: Geerntete Rüben mit  
Microtopping-System, Foto: ROPA

### 3.1 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 4: Blattbergung, Foto: ROPA



Abbildung 5: Blattbergung, Foto: ROPA

#### 4 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 Biogasrüben 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: [„Biomassetransporte Hinweise zur Organisation und Verrechnung“](#))



Abbildung 6: Verladung mit der „Maus“  
Foto: ROPA



Abbildung 7: RRL, Foto: Holmer

#### 4.1 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.

#### 4.2 Entsteinung nass und trocken

Zur Trennung der Steine aus dem Erntegut ist die Dichtentrennung im Wasser ein sehr sicheres 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 ~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. Mittlerweile bieten mehrere Hersteller Maschinen zur Nassentsteinung und –abreinigung an, wobei der Haupteffekt in der Entsteinung liegt.



Abbildung 8: KWS Rübenwäsche, Foto: KWS



Abbildung 9: Rübenwasch- und -schneidschaufel von Holaras (ohne Steintrennung), Foto: KWS

Beispielhaft ist die Entsteinung hier an der KWS Rübenwäsche kurz 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 angelieferten (z.B. über Hakenlift Container) Rüben gelangen mittels Teleskop- oder Radlader in den fest aufgebauten Sturzbunker. Der Sturzbunker dosiert die Rüben langsam über die anschließende Trockenentladung, 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 eingeregelter Wasserauftriebs von den Rüben und wirft sie anschließend aus.

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 bei fast allen Verfahren 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!

Aus dem Hause Grimme steht mit dem „BeetBeater“ mittlerweile auch eine Trocken-Entsteinung zur Verfügung. Die Maschine ist als Art stationärer Feststoffdosierer für Rüben gedacht und komplett in die Steuerung der Biogasanlage einzubinden. Die Steintrennung erfolgt mittels einer akustischen Erkennung von Steinen und Rüben über Klopfensensoren. Der zusätzlich eingebaute Rübenbröckler ist ebenfalls steingegesichert. Die Maschine kann sowohl mit frischen als auch silierten, unzerkleinerten Rüben arbeiten. Der Durchsatz liegt bei ca. 5 t Rüben pro Stunde. Also ausreichend für die tägliche Ration Rüben, die in den auf bis zu 30 m<sup>3</sup> erweiterbaren Zufuhrbunker passen.



Abbildung 10: BeetBeater von Grimme – „ein Rübenfeststoffdosier“, Foto: KWS

## 5 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 schnell auf den Fermenterboden absinken, sind nur langsam umsetzbar und bringen die Gefahr einer Verstopfung von Pumpen und Leitungen mit sich.

### 5.1 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 Hacksleinrichtungen, 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 > 100 t/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. „Querstromzerspaner“ oder „Prallreaktoren“ anbieten. Diese Geräte sind ebenfalls steintolerant, aber meist nicht mobil und überbetrieblich verfügbar, was hohe Invest- und Stückkosten zur Folge hätte.



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



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

## 5.2 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,  
Foto: KWS



Abbildung 14: vdw-Häckselschaufel,  
Foto: Schmieling

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

## 6 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 Schossphase 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.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass es mehrere standardisierbare Verfahren zur Rübenlagerung gibt. Diese müssen je nach Einsatzmenge und betriebsindividuellem Ablauf einzeln bewertet und ausgewählt werden.

Folgende Tabelle kann bei der Entscheidung für ein Verfahren behilflich sein:



Abbildung 15: Übersicht über mögliche Wege der Rübensilierung, Quelle: KWS

|                                      | Silierung von Rübenbrei                        |                                | Mischsilagen                                |                                                    | Silierung ganzer Rüben                                  |                                                                                   |
|--------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Kurzbeschreibung</b>              | Silierung von homogenem, pumpfähigem Rübenbrei |                                | Mischungen mit Silomais, CCM oder LKS       |                                                    | Unzerkleinerte Rüben im Fahrsilo oder im Folienschlauch |                                                                                   |
|                                      | Edelstahl- / Betonbehälter                     | Erdbecken                      |                                             |                                                    | Fahrsilo                                                | Folienschlauch                                                                    |
| <b>Empfohlener Anwendungsbereich</b> | ab ca. 1.500 t bis ca. 3.000 t                 | ab ca. 3.000 t                 | bis ca. 1.500 t                             |                                                    | ab ca. 1.500 t                                          | bis ca. 1.000 t                                                                   |
| <b>Umgang mit Steinen</b>            | Keine / wenige                                 | viele                          | Keine / wenige                              | viele                                              | Keine / wenige                                          | viele                                                                             |
|                                      | „steintolerante“ Häckseltechnik                | Steintrennung durch Nasswäsche | Einsatz „steintoleranter“ Häcksel-schaufeln | Steintrennung durch Nasswäsche vor der Einbringung | Einsatz „steintoleranter“ Häcksel-schaufeln             | Entsteinung durch Nasswäsche vor Silierung oder Trockenentsteinung nach Silierung |

Quelle: KWS 2013

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.

## **6.1 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.

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 muss fein dosiert der Fermentation zugeführt werden.

## **6.2 Rübensilierung solo**

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

### **6.2.1 Silierung von Rübenbrei**

#### **6.2.1.1 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.

### 6.2.1.2 Brei im Folienerdbecken

Die Lagerung von Rübenbrei in Folienerdbecken („Lagunen“) ist derzeit eine viel diskutierte Variante zur Lagerung in der Praxis. Das Verfahren ist als kostengünstig in der Investition und für den Arbeitsablauf zu bewerten, da die Förderung des Rübenbreis voll automatisiert laufen kann. 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.

| Tab. 3: Investitionskosten für die Silomaisplatte und das Rübenbrei-Erdbecken und Pumpe |                                          |                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------|
|                                                                                         | Silomais-Feststoff-eintrag € Investition | Abschreibung in Jahren |
| Siloplatte 3250 m <sup>2</sup> für 9000 t                                               | 162.500                                  | 15                     |
| Silowände 3 m hoch                                                                      | 104.000                                  | 15                     |
| Fahrfläche 500 m <sup>2</sup>                                                           | 25.000                                   | 15                     |
| Entwässerungssystem                                                                     | 20.000                                   | 15                     |
| Wasserauffangbecken                                                                     | 40.000                                   | 15                     |
| Feststoffeintrag 100 m <sup>3</sup>                                                     | 112.000                                  | 10                     |
| Investitionen gesamt                                                                    | 463.500                                  |                        |
| AfA je t Silomais je t u. Jahr                                                          |                                          | 3,85 €/t               |
| Verzinsung 4 % auf 1/2 der Investkosten                                                 |                                          | 1,03 €/t               |
|                                                                                         | Rübenbreipumpe € Investition             | Abschreibung in Jahren |
| Erdbecken 7000 t                                                                        | 90.000                                   | 15                     |
| Zuwegung Erdbecken                                                                      | 25.000                                   | 15                     |
| Leitung 120 m DA 225 inkl. Schieber und Mengenzähler                                    | 30.000                                   | 10                     |
| Entnahmepumpe                                                                           | 36.000                                   | 10                     |
| Investitionen gesamt                                                                    | 181.000                                  |                        |
| AfA je t Rübenbrei je t u. Jahr                                                         |                                          | 2,04 €/t               |
| Verzinsung 4 % auf 1/2 der Investkosten                                                 |                                          | 0,52 €/t               |

Quelle: POMMERHNE, C.

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.

## 6.2.2 Silierung unzerkleinerter Rüben

### 6.2.2.1 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.

### 6.2.2.2 Im Fahrsilo

Eine vielversprechende Variante Rüben kostengünstig sowie verlustarm einzulagern, bietet die Einsilierung unzerkleinerter Rüben im Fahrsilo. Die hohe Flexibilität bei der Nutzung des Fahrsilos sowie die Möglichkeit zur Kombination der hohen Schlagkraft von Ernte- und Einlagerungskette stellen nur einige Vorteile dieses Verfahrens dar.

#### Luftdichter Abschluss und ausreichende Lagerhöhe

Ein absolut luftdichter Abschluss des Siliergutes mit verschiedenen Silofolien und Vogelschutznetzen ist Voraussetzung für eine erfolgreiche Silierung. Die Rübenmiete kann nicht mit Traktoren oder anderen Geräten rückverdichtet werden! Das Befahren der Rüben würde die Rüben zudem stark beschädigen und so die anfallende Sickersaftmenge deutlich erhöhen. Neben dem luftdichten Abschluss ist eine „Eigen-Verdichtung“ der Rüben durch eine Lagerhöhe von mind. ca. 5 m eine weitere Voraussetzung. Das Verfahren eignet sich für Rübenmengen ab ca. 1.500 Tonnen.

Schon bei der Einlagerung der Rüben sollte darauf geachtet werden, dass eine Silo- oder Unterziehfolie nach Abschluss der Einlagerung am Rand, ca. 1 m unter die Rüben ragt. Diese Folie muss zum luftdichten Abschluss der Miete anschließend nach oben umgeschlagen werden. Zum besseren Begehen der Miete sollte zunächst ein Vogelschutznetz aufgelegt werden. Die komplette Miete sollte dann mit Unterziehfolie, Silofolie und Vogelschutznetz intensiv abgedeckt werden. Erst so kann sichergestellt werden, dass die Rüben luftdicht abgeschlossen sind und bei der Silierung entstehendes CO<sub>2</sub> nicht durch den Luftpumpeneffekt entweichen kann.

Eine derartig abgedeckte Rübe siliert so – je nach Temperatur - innerhalb von ca. 4 Wochen vollständig durch. Während des Siliervorgangs werden Rüben weicher. Bedingt durch den hohen Eigendruck bei einer Lagerhöhe von ca. 7 m sackt die Miete auf ungefähr die Hälfte der ursprünglichen Einlagerungshöhe zusammen. Die Hohlräume zwischen den Rüben verschwinden, da sich die weichen Rüben einander anpassen. Es entsteht eine stehende Anschnittwand, die keine Luft mehr nach Öffnung der Silage ins Innere Vordringen lässt. Die Abdeckfolien müssen regelmäßig kontrolliert und nachgespannt werden!



Abbildung 16: Dicht gelagerte und silierte Rüben,  
Foto: KWS



Abbildung 17: Rübensilo im Juni 2012, Eine echte  
Anschnittwand, Foto: KWS

## Nacherwärmung

Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass die Gefahr einer Nacherwärmung einer Rübensilage aufgrund der fehlenden Zerkleinerung und der damit verbundenen geringen Angriffsfläche bei ordnungsgemäßigem Vorschub sehr gering ist. Eine einmal durchsilierte Rübe ist das ganze Jahr, auch über die Sommermonate hinweg, stabil und stellt ein hervorragendes Substrat dar.

## Anfall und Verwertung von Sickersaft

Rüben bestehen neben Zucker auch zu einem großen Teil aus Wasser und abhängig von der Einlagerungshöhe entsteht im Zuge der Silierung auch Sickersaft. Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass über den gesamten Zeitraum der Lagerung etwa 30 bis 40 % Sickersaft bezogen auf die eingelagerte Frischmasse abgegeben werden kann (Abb. 18). Der größte Saftanfall erfolgt während der drei- bis vierwöchigen Silierphase und nimmt dann kontinuierlich mit der Entnahme ab. In der Praxis zeigt sich, dass gewaschene Rüben deutlich mehr Sickersaft abgeben als ungewaschene.

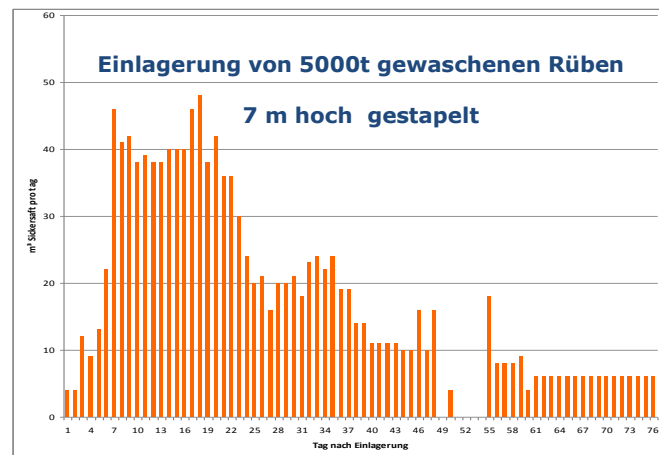


Abb. 18 : Sickersaftmengen seit Einlagerung von 5000 t gewaschenen Rüben im November 2011,  
Quelle: KWS gemäß Praxiserhebung Bioenergie Harmelingen

Der Sickersaft hat eine flüssige Konsistenz von gelösten organischen Bestandteilen von 14 bis 16 % TS und einen pH-Wert von ca. 3,5. Diese ist werthaltig und liefert eine Gasproduktion von 120 bis 140 m<sup>3</sup> je m<sup>3</sup> Frischmasse mit einem Methangehalt von ca. 54 %. Der Saft muss also aufgefangen und kontrolliert in den Fermentationsablauf gebracht werden. Hierbei ist besonders interessant, dass der Sickersaft auch in der kalten Lagerform des Endlagers vollständig vergären kann und ohne Wäsche und oder weitere Aufbereitung als direktes Substrat pumpfähig in die Anlage kommt. Somit ist nicht nur die Rübe, sondern auch der Saft eine hochverdauliche Substratquelle für Biogas.

Die Verwertung des Sickersaftes in der Anlage muss mit großem Fingerspitzengefühl erfolgen! Die gesamte Futtermenge muss angepasst werden, eine Verteilung auf möglichst alle Gärbehälter ist anzuraten. Die im Saft konzentrierten und schnell verdaulichen Säuren können bei unsachgemäßer Dosierung und Verteilung eine Übersäuerung des Fermenters verursachen.

Um einen zügigen Abfluss des Sickersaftes zu gewährleisten, sind Gefälle von bis zu 5 % eingebaut. Der Saft fließt größtenteils unter der Miete zusammen und entlang einer Rinne zum Sickerschacht, wird hier an einer zentralen Stelle im Vorlager aufgenommen und direkt in die Fermenter bzw. Nachgärer und Gärrestelager verpumpt. Dort werden die Sickersäfte sofort im alkalischen Milieu neutralisiert und fermentiert.

### Großtechnische Umsetzung möglich

Das Verfahren der Einsilierung unzerkleinerter Rüben im Fahrsilo findet immer größere Verbreitung. Mit neuer Technik sowie mit zum Teil speziell dafür entwickelten Fahrsilos ist es möglich geworden heute auch größere Mengen im Maßstab von 5000 -10.000 t und mehr einzulagern. So wurde auf einer Biogasanlage in der Lüneburger Heide eine eigens hierfür entwickelte Lagerform, die „Rübenwanne“ gebaut und im Jahr 2011 erstmals mit 5000 t Rüben gefüllt.

Das Silo hat eine Länge von 85 m bei 32 m Innenmaß. Die Seiten sind durch 2 mm starke Kompostfolien aufgebaut. Die innere Fahrfläche besteht aus zwei Schichten Asphalt (10 und 5 cm), von denen die obere als Gußasphalt eine verbesserte pH-Stabilität bietet (bis 3,2). Der pH-Wert der Rübensilage und des Sickersaftes beträgt ca. 3,5! Nach Silierung ist die Miete nur noch halb so hoch wie zur Einlagerung!

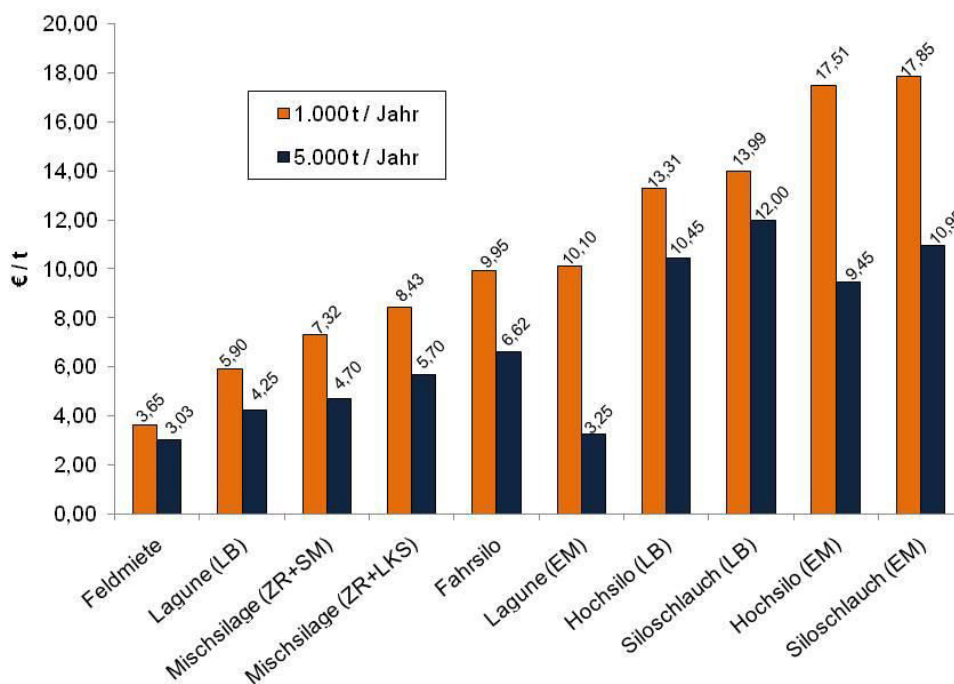
Neue Technik wie beispielsweise die Bandedinlagerung mit dem BeetLoader (max. Einlagerungshöhe 9 m, Trockenabreinigung, Leistung von etwa 130 t/h) oder des BeetBeaters der Firma Grimme zur Trockenentsteinung und -reinigung der Rüben **nach** der Silierung bieten zudem weitere Möglichkeiten die Kosten der Rübe zu senken.



Abbildung 19: Einlagerung mit dem BeetLoader-System von Grimme, Foto: KWS

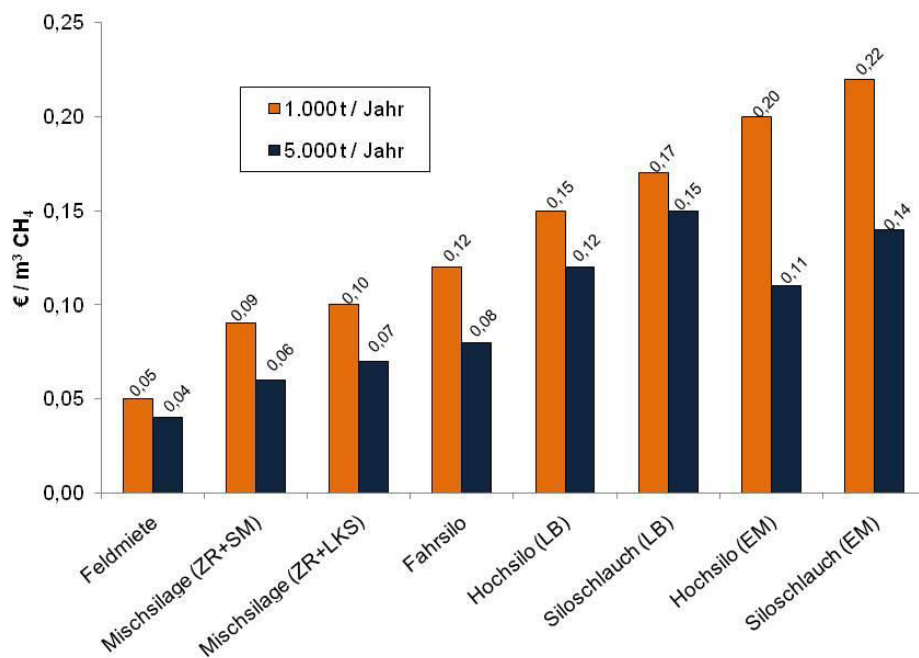
## 7 Vergleichende Betrachtung

An der FH Soest wurden die bekanntesten Lagerverfahren in einer Masterarbeit bewertet (Abb. 20). 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 Verfahrensvergleich 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 20: 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                   | Eigen-schaften    | TM % | davon oTM % | Biogas-ertrag I <sub>N</sub> /kg oTM | Biogas-ertrag I <sub>N</sub> /kg FoTS | Bio-gaser-trag m³/t TS <sub>k</sub> | Methan-gehalt % |
|-----------------------------------|-------------------|------|-------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|
| KTBL <sup>1)</sup><br>(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),

## 8 Ausblick

### Technikkonzept mit Entwicklungspotenzial

Die Technik zur Aufbereitung und Lagerung der Rübe als Biogassubstrat hat sich schnell entwickelt. Für viele Anwendungsbedingungen gibt es bereits technische Standardverfahren. 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

POMMEREHNE, C. (2013): Rübenbrei gegen Silomais, Zuckerrübe 1/2013 (62. Jg), S. 44-47

KWS SAAT AG 2013: In der Rübe liegt die Kraft – auf dem Feld und im Fermenter.

## Zitiervorlage:

Schaffner, S., G. Wolf und M. Kawasch (2013): Rüben als Biogassubstrat. In: Biogas Forum Bayern Nr. II – 17/2013, 2. Auflage, Hrsg. ALB-Bayern e.V., [http://www.biogas-forum-bayern.de/De/Fachinformationen/nachhaltig-erneuerbar-energie\\_Substratbereitstellung](http://www.biogas-forum-bayern.de/De/Fachinformationen/nachhaltig-erneuerbar-energie_Substratbereitstellung), Stand [Abrufdatum].

**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)**

- **agri.capital GmbH**
- **Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Amberg, Erding, Pfaffenhofen a. d. Ilm und Nördlingen**
- **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**
- **CLAAS**
- **Fachverband Biogas e.V.**
- **Fliegl Agrartechnik GmbH**
- **Hochschule Weihenstephan-Triesdorf**
- **Kuratorium Bayerischer Maschinen- und Betriebshilfsringe e.V.**
- **KWS SAAT AG**
- **Landeskuratorium der Erzeugerringe für tierische Veredelung in Bayern (LKV) e.V.**
- **Landmaschinenschule Landsberg am Lech, Landshut und Triesdorf**
- **Maschinenring Neuburg-Schrobenhausen und Wolnzach-Geisenfeld-Vohburg**
- **Regens Wagner Hohenwart**
- **Technologie- und Förderzentrum (TFZ) Straubing**



**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)