

**DLG-Merkblatt 363**

# **Biomasse-Rüben**

**Die Zuckerrübe als Biogassubstrat**



[www.DLG.org](http://www.DLG.org)



Fachzentrum  
Land- und Ernährungswirtschaft



# DLG-Merkblatt 363

## Biomasse-Rüben

### Autoren:

- Prof. Dr. Bernward Märländer (verantwortlich), Direktor, Institut für Zuckerrübenforschung (IfZ), Holtenser Landstr. 77, 37079 Göttingen
- Dr. Dirk Augustin, Leiter der Versuchswirtschaften der Universität Göttingen, Käte-Hamburger-Weg 4, 37073 Göttingen
- Prof. Dr. Eberhard Hartung, Institut für landwirtschaftliche Verfahrenstechnik, Universität Kiel, Olshausenstr. 40, 24098 Kiel
- Prof. Dr. Christa Hoffmann, Abteilung Physiologie, IfZ, Holtenser Landstr. 77, 37079 Göttingen
- Dr. Frank Setzer, Fachzentrum Land- und Ernährungswirtschaft, DLG e.V.
- Dr. Nicol Stockfisch, Arbeitsgruppe Systemanalyse/Technische Dienste, IfZ, Holtenser Landstr. 77, 37079 Göttingen

Den Mitgliedern der DLG-Ausschüsse Zuckerrüben und Biogas, insbesondere Herrn Dr. Reinhold, wird für die kritischen Anmerkungen zum Text gedankt.

Alle Informationen und Hinweise ohne jede Gewähr und Haftung.

### Herausgeber:

DLG e.V.  
Fachzentrum Land- und Ernährungswirtschaft  
DLG-Ausschuss für Zuckerrüben  
DLG-Ausschuss für Biogas  
Eschborner Landstraße 122, 60489 Frankfurt/Main

1. Auflage, Stand: 29.09.2010

© 2010

Vervielfältigung und Übertragung einzelner Textabschnitte, Zeichnungen oder Bilder – auch für den Zweck der Unterrichtsgestaltung – nur nach vorheriger Genehmigung durch DLG e.V., Servicebereich Information, Eschborner Landstraße 122, 60489 Frankfurt/Main

## **Inhalt**

<b>1. Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2. Stoffliche Zusammensetzung und Trockenmasseertrag (C. Hoffmann)</b>	<b>4</b>
<b>3. Anbau</b>	<b>7</b>
3.1 Sortenwahl (B. Märländer)	7
3.2 Anbauverfahren (N. Stockfisch)	9
3.3 Aufbereitung, Lagerung, Silierung (D. Augustin, E. Hartung, B. Märländer)	12
<b>4. Vergärung (E. Hartung)</b>	<b>15</b>
<b>5. Wirtschaftlichkeit (D. Augustin, F. Setzer)</b>	<b>16</b>
<b>6. Ausblick (B. Märländer)</b>	<b>19</b>

## **1. Einleitung**

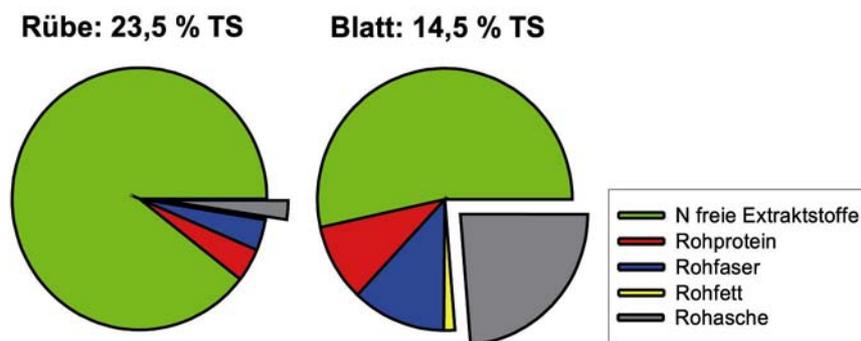
Die Erzeugung von Biogas hat in Deutschland in den letzten Jahren enorm zugenommen. 2009 existierten 1.650 MW Anlagenkapazität, eine weitere Erhöhung der Erzeugung ist zu erwarten. Als Gärsubstrat wird vor allem Mais eingesetzt, in den letzten Jahren gewinnt aber auch die Zuckerrübe an Bedeutung. Grund dafür ist die hohe Vorzüglichkeit der stofflichen Zusammensetzung für eine schnelle Vergärung. Zudem ist der Trockenmasseertrag von Zuckerrüben sehr hoch und der Anbau erfolgt umweltschonend. Allerdings sind Zuckerrüben nicht ganzjährig verfügbar, die Lagerung/Silierung ist im Vergleich zu Mais schwieriger und die anhaftende Resterde und Steine können ein Problem darstellen.

Die Broschüre soll den heutigen Stand des Wissens für die Erzeugung von Biogas aus Rüben praxisnah zusammenfassen.

## **2. Stoffliche Zusammensetzung und Trockenmasseertrag (C. Hoffmann)**

Für die Geschwindigkeit und das Ausmaß der Umsetzung in der Biogasanlage ist die Zusammensetzung des pflanzlichen Materials entscheidend. Nur die organische Trockenmasse ist fermentierbar, daher muss von der Trockensubstanz der Rohaschegehalt, d. h. die Summe aus den Mineralstoffen, abgezogen werden. Organische Trockensubstanz kann sich sehr unterschiedlich zusammensetzen. Der Abbau einfacher Moleküle wie Saccharose (Zucker) verläuft in der Biogasanlage wesentlich schneller als der Abbau komplex aufgebauter Verbindungen wie Hemicellulose und Cellulose, während Lignin (Rohfaser) und Wachse überwiegend nicht abgebaut werden. Daraus ergibt sich, dass Substrate mit einem hohen Anteil an Rohfaser langsamer und auch nur unvollständig abgebaut werden.

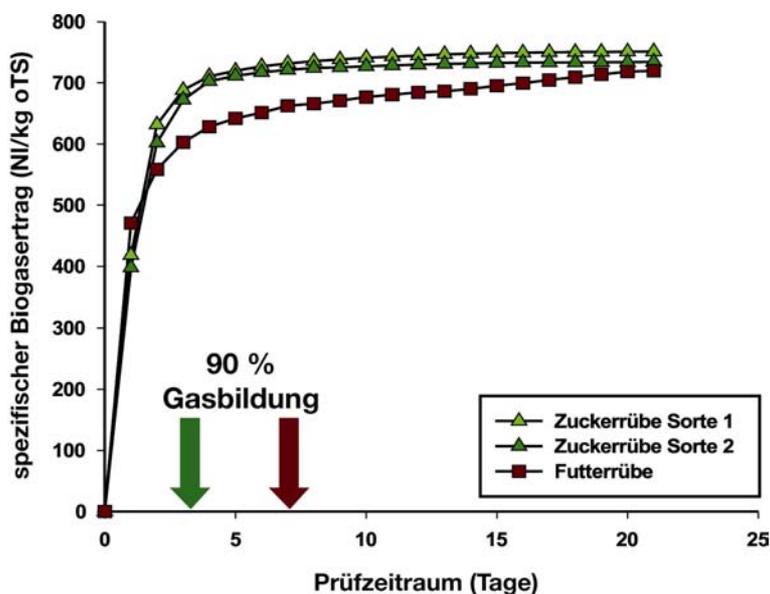
Im Vergleich zu anderen Substraten zeichnen sich Zuckerrüben dadurch aus, dass sich die Trockensubstanz zu 90 % aus leicht umsetzbaren N-freien Extraktstoffen (NfE), hauptsächlich Zucker, geringem Gehalt an N-haltigen Stoffen (Rohprotein) und sehr geringem Gehalt an Rohasche zusammensetzt (Abb. 1).



**Abb. 1:** Nährstoffzusammensetzung von Zuckerrübe/Blatt (Mittelwert aus 2 Standorten, 4 Sorten, 3 N-Düngungsstufen), IfZ 2009

Dies macht Zuckerrüben zu einem wertvollen, weil schnell abbaubaren Substrat. Auch das Rübenblatt hat einen hohen Anteil an NfE und einen mittleren Gehalt an Rohfaser und Rohprotein. Daher ist es gut umsetzbar, allerdings ist der Trockensubstanzgehalt wesentlich geringer. Zusätzlich sind die Kosten für Ernte, Bergung, Transport und Lagerung/Silierung zu beachten, wobei zurzeit kaum effiziente technische Lösungen zur Verfügung stehen. Deshalb wird die Nutzung des Rübenblattes zumeist nicht wirtschaftlich sein.

Futterrüben unterscheiden sich von Zuckerrüben dadurch, dass sie einen wesentlich geringeren Trockensubstanzgehalt mit einem höheren Gehalt an Rohasche aufweisen, zudem ist der Gehalt an NfE geringer. Aufgrund dieser Zusammensetzung ist die Biogasausbeute von Futterrüben geringer als bei Zuckerrüben (Abb. 2).

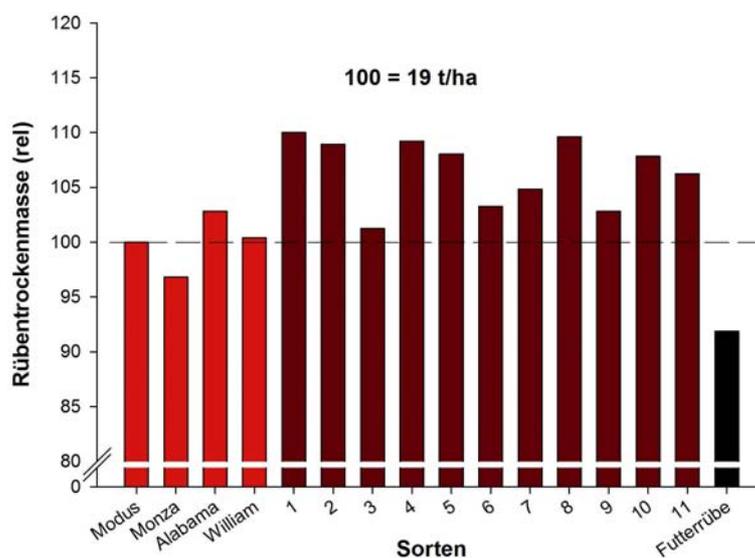


**Abb. 2:** Kumulierter spezifischer Biogasertrag von Zucker- und Futterrüben (Mittelwert aus 2 Standorten, 3 N-Düngungsstufen), IfZ 2009

## DLG-Merkblatt 363: Biomasse-Rüben

Nach bisherigem Wissen ist für die Biogasausbeute hauptsächlich der Gehalt an organischer Trockensubstanz ausschlaggebend, der bei Futterrüben wesentlich geringer ist als bei Zuckerrüben. Dagegen spielt bei der Vergärung die technologische Qualität der Rüben für die Zuckergewinnung, d. h. der Standardmelasseverlust (Kalium, Natrium, Amino-N), keine Rolle.

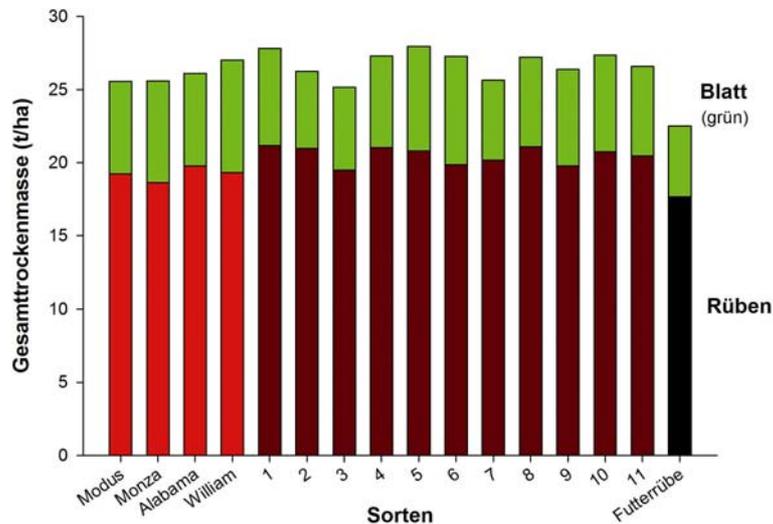
Zuckerrüben und Futterrüben haben ein sehr hohes Ertragspotenzial und erscheinen schon aufgrund dieser Tatsache als ein optimales Gärsubstrat. Futterrüben bilden bis zu 150 t je ha, Zuckerrüben bis über 90 t je ha Rübenfrischmasse. Der Rüben-trockenmasseertrag von Zuckerrüben ist allerdings mit über 20 t höher als bei Futterrüben (Abb. 3). Da bei der Fermentation der Standardmelasseverlust keine Rolle spielt, kann der Rübenkopf, der sonst wegen der schlechten zuckertechnologischen Qualität abgetrennt wird, einbezogen werden. Indem die Rüben entblättert statt geköpft werden, lässt sich der gewachsene Ertrag vollständig und auch zusätzlich mit Blattresten ernten. Ein zu hoher Blattanteil kann aber zu Problemen in der Fördertechnik von Erntemaschinen und Reinigungsladern führen.



**Abb. 3:** Relative Rüben-trockenmasse von verschiedenen Zucker- und Futterrübensorten (100 – Mittel der Sorten Modus, Monza, Alabama, William; 4 Standorte) IfZ 2009

Die Größe des Rübenkopfes variiert nur geringfügig zwischen Sorten, wesentliche Unterschiede entstehen vielmehr durch unterschiedliche Standorte, z. B. infolge Trockenheit und damit verbundenem Blattneuaustrieb. Da der Kopf von Zuckerrüben einen geringeren Trockensubstanzgehalt mit wesentlich höherem Aschegehalt aufweist als die

Rübe, ist der Methanertragsvorteil vermutlich deutlich geringer als die Erhöhung des Rübenertrags erwarten lässt (8 bis 12 %, Abb. 4).



**Abb. 4:** Rüben- und Blatttrockenmasse von Zucker- und Futterrübensorten (Mittelwert aus 4 Standorten), IfZ 2009

Der Trockenmasseertrag des Blattes variiert erheblich zwischen 4 und 7 t je ha (Abb. 4), eine Beziehung zum Trockenmasseertrag der Rübe existiert nicht.

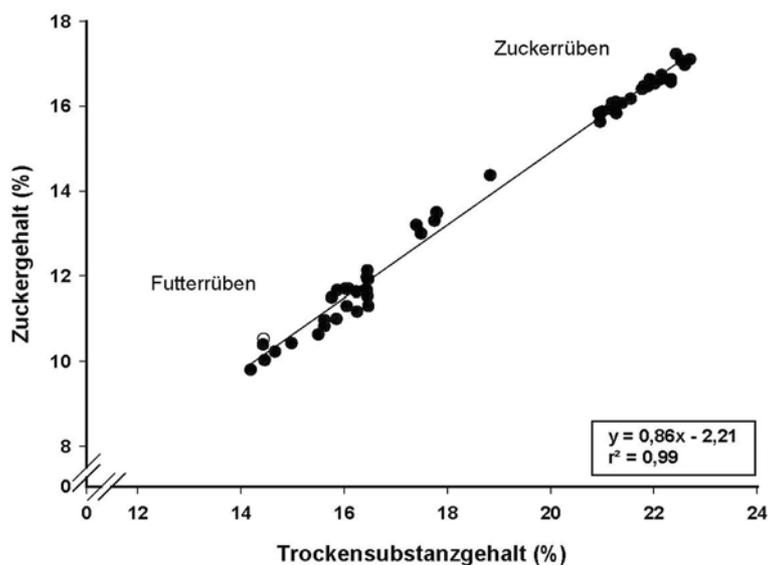
### 3. Anbau

#### 3.1 Sortenwahl (B. Märländer)

Zucker- und Futterrüben gehören botanisch zu derselben Art und definieren sich über die Höhe des Trockensubstanzgehaltes und damit auch des Zuckergehaltes. Sie sind uneingeschränkt kreuzbar und Hybridsorten von Futterrüben haben oft mütterliche Linien von Zuckerrüben. Sie sind deshalb eigentlich Zucker-/Futterrüben, die äußerlich hinsichtlich Form, Farbe, Sitz im Boden etc. von Zuckerrüben kaum unterschieden werden können. Futterrüben wurden in den letzten Jahrzehnten züchterisch wenig bearbeitet, sie haben deshalb einen niedrigeren Trockenmasseertrag (Abb. 4). Da zudem die Gärausbeute niedriger ist, ist fraglich, ob Futterrüben einen wesentlichen Anbauumfang für die Biogaserzeugung erreichen werden.

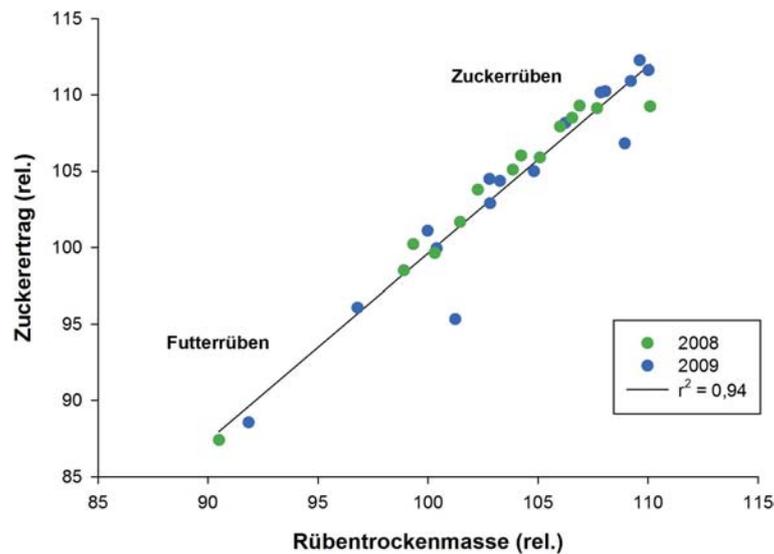
Zuckerrübensorten werden in ertragreiche (E) und zuckergehaltsreiche (Z) Typen eingeteilt. Es existiert eine enge negative Korrelation zwischen Rübenertrag und Zu-

ckergehalt, wobei ertragsbetonte Typen zumeist über einen etwas höheren Zuckerertrag verfügen. Bei allen Rübentypen ist der Zuckergehalt und Trockensubstanzgehalt eng positiv korreliert (Abb. 5), ferner ist der Zuckerertrag (auch von Futterrüben) positiv korreliert mit dem Trockenmasseertrag (Abb. 6).



**Abb. 5:** Zuckergehalt von Zucker- und Futterrüben in Abhängigkeit vom Trockensubstanzgehalt (3 Standorte, 1982 verändert nach Kirchberg 1983)

Da die Gärausbeute von Zuckerrübensorten mit unterschiedlichem Zuckergehalt vergleichbar ist, ist der Trockenmasseertrag als Produktionsziel für den Rohstoff entscheidend. Für die Biogasferzeugung eignen sich deshalb in besonderer Weise E-Typen mit dem höchsten Zuckerertrag, aber etwas geringerem Zuckergehalt. Der Standardmelasseverlust hat für die Vergärung keine Bedeutung. Werden jedoch in einem Betrieb Zuckerrüben parallel für die Zucker- und Biogasferzeugung angebaut, müssen die beiden Rohstofflinien entweder strikt getrennt werden oder bei der Sortenwahl und Anbaueinstellung für Biomassesorten auch die Höhe des Zuckergehaltes und des Standardmelasseverlustes beachtet werden.



**Abb. 6:** Zuckerertrag von Zucker- und Futterrübensorten in Abhängigkeit von der Rübentrockenmasse (Mittelwert aus 8 Standorten), IfZ 2008 und 2009

Für die Sortenwahl sind neben dem Trockenmasseertrag sämtliche anbautechnischen Parameter wie Feldaufgang, Schossneigung sowie Toleranz/Resistenz gegen Schaderreger zu beachten, die für Zuckerrüben in der Wertprüfung des Bundessortenamtes und den nach der Zulassung bundesweit durchgeführten Sortenversuchen des IfZ intensiv geprüft werden. Bei Futterrüben werden diese Parameter dagegen nicht beschrieben (z. B. Nematodentoleranz). Da noch keine spezifischen Biomassesorten zugelassen sind, sollten deshalb zunächst Zuckerrübensorten als Rohstoff für die Biogaserzeugung angebaut werden. EU-Sorten sind bei Zuckerrüben – wie bei allen anderen Fruchtarten – in Deutschland grundsätzlich vertriebsfähig. Allerdings ist zu beachten, dass für diese Sorten keine Leistungsdaten aus Sortenversuchen vorliegen, da sie in Deutschland nicht zur Wertprüfung angemeldet worden sind oder nach der Wertprüfung mangels Leistung keine Zulassung erhalten haben. EU-Sorten (zzt. > 1.000 Sorten) unterliegen deshalb einem nicht einzuschätzenden Anbaurisiko, insbesondere hinsichtlich der Höhe des Zuckerertrags. Die richtige Sortenwahl ist aber unabdingbar für eine nachhaltige Produktion mit höchster Produktivität. Dazu werden zukünftig gezielt entsprechende Wert- und Sortenversuche angelegt.

### 3.2 Anbauverfahren (N. Stockfisch)

Aus pflanzenbaulicher Sicht gibt es keine wesentlichen Unterschiede zwischen dem Anbau von Biomasserüben und dem zur Erzeugung von Nahrungs- und Futtermitteln.

## DLG-Merkblatt 363: Biomasse-Rüben

---

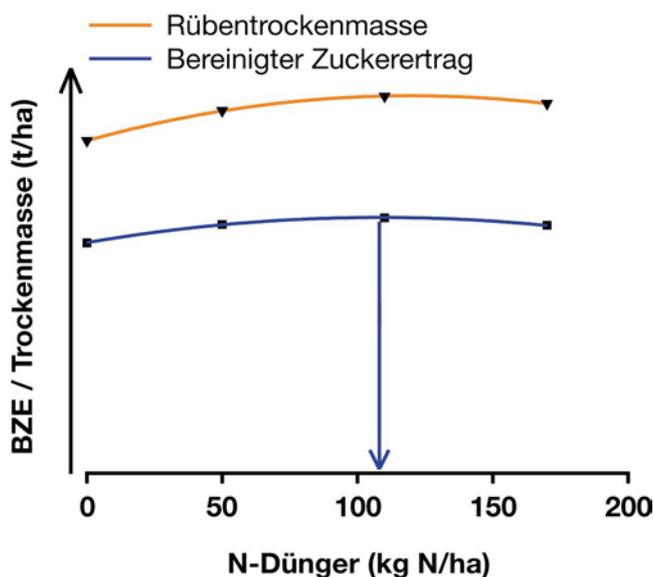
Außerdem unterliegt der Anbau unabhängig von der Nutzungsrichtung denselben fachrechtlichen Bestimmungen, Cross Compliance-Verpflichtungen und der guten fachlichen Praxis.

Voraussetzung für einen hohen Feldaufgang und damit eine hohe Bestandesdichte von mindestens 80.000 Pflanzen je ha ist eine Aussaat bei ausreichend abgetrocknetem Boden und die Wahl von Sorten mit hoher Saatgutqualität (Abb. 7).



**Abb. 7:** Rübenfeld mit gleichmäßiger Bestandesdichte

Interessant, weil besonders kosten- und umweltrelevant, ist die Höhe der optimalen N-Düngung. Wegen des breiten Optimums von Zuckerrüben in Abhängigkeit von der N-Düngung (Abb. 8) ist es Ziel, die N-Düngung so niedrig wie möglich anzusetzen. Der höchste Bereinigte Zuckerertrag wird ohne organische Düngung an den meisten Standorten mit 80 bis 120 kg N je ha erzielt. Das Produktionsziel für Zuckerrüben zur Biogasnutzung ist der maximale Rübentrockenmasseertrag, nicht Rübenertrag. Dieser wird aber, ebenso wie der maximale Zuckerertrag, mit einer Düngung in ähnlicher Größenordnung erreicht.



**Abb. 8:** Einfluss der N-Düngung auf den Ertrag von Zuckerrüben  
(Mittelwert 1993 2002) Dauerversuch IfZ

Bezieht man die Kosten für den Dünger ein, ergibt sich zumeist eine optimale N-Düngung von unter 100 kg N je ha. Eine solche verhaltene, angepasste N-Düngung wirkt sich zusätzlich mindernd und damit positiv auf das N-Bilanzsaldo des Betriebes aus, welches nach Cross Compliance als mehrjähriger Durchschnitt der Hoftorbilanz zu kalkulieren ist. Werden zukünftig zusätzlich Klimaschutzaspekte verstärkt berücksichtigt, wäre die optimale N-Düngung mit deutlich unter 100 kg N je ha anzusetzen.

Die Menge und Anzahl der Pflanzenschutzmaßnahmen sind – wie beim Anbau von Zuckerrüben für die Zuckerproduktion – auf das notwendige Maß zu reduzieren. Die Wahl einer geeigneten, an den Krankheits- und Schädlingsdruck des Standortes angepassten Zuckerrübensorte mit der richtigen Insektizidausstattung in der Pillenhüllmasse ist dazu wesentliche Voraussetzung. Insbesondere in Fruchtfolgen mit Mais ist bei Auftreten von *Rhizoctonia solani*, der späten Rübenfäule, der Anbau von resistenten Sorten zwingend notwendig, um Ertragsverluste zu vermeiden. Veränderungen bei der Unkrautbekämpfung sind nicht erforderlich. Ob eine zusätzliche späte Fungizidapplikation bei sehr später Ernte und ggf. Blattbergung erfolgen soll, ist insbesondere aus Kostengründen sorgfältig abzuwägen.

Wenn keine anderen Wachstumsfaktoren ertragsbegrenzend wirken, ist die Dauer der Vegetationszeit ausschlaggebend für den erzielbaren Trockenmasseertrag. Deshalb und aufgrund der begrenzten Lagerfähigkeit von Zuckerrüben scheint es verlockend, die Zuckerrüben im Bedarfsfall erst sehr spät, ggf. sogar erst im Winter/Frühjahr zu ernten. Sehr späte Ernten mit schweren Maschinen auf feuchtem Boden lassen

allerdings verstärkt Konflikte mit einem vorsorgenden Bodenschutz erwarten, der angepasste Maschinen mit geringem Reifeninnendruck ( $< 2,0$  bar) erfordert. Es ist auch kritisch zu hinterfragen, ob der Nutzen einer sehr späten Ernte den entgangenen Ertrag nachfolgend angebaute Winterfrüchte tatsächlich kompensiert.

### **3.3 Aufbereitung, Lagerung, Silierung (D. Augustin, E. Hartung, B. Märländer)**

Nach der Ernte enthalten Rüben, abhängig von den Boden-, Witterungsbedingungen und Ernteverfahren, einen unterschiedlich hohen Erdanteil, der durch sorgfältige Vorreinigung am Feldrand auf 4 bis 10 % vermindert werden kann. Die verbleibende Erde kann je nach Zusammensetzung verschiedene Teilprozesse der Biogaserzeugung mehr (Sand) oder weniger stark (Ton/Schluff) stören. Steine führen darüber hinaus zu mechanischer Beschädigung der Förder- und Pumpelemente. Wie bei der Produktion von Rüben für die Zuckererzeugung sollte eine Reinigung nach mindestens einwöchiger Lagerung am Feldrand und Verladung mit einem Reinigungslader erfolgen. Dadurch kann der Erdanhang auf bis zu 5 % reduziert werden. Mobile Rübenwäschen verschiedener Anbieter vermindern die Resterde nochmals deutlich. Die Kosten betragen selbst bei hohem Durchsatz mindestens 3 €, oft aber etwa 5 € je t Rüben. Ein sorgsamer Umgang mit dem Restwasser ist wegen der organischen Belastung erforderlich. Insgesamt muss die Reinigung der Rüben auch aus logistischer Sicht betrachtet werden, denn bei einer Silierung, insbesondere in Mischsilagen mit Mais, müssen große Rübenmengen in kürzester Zeit gewaschen zur Verfügung stehen. Dazu sind dann zwei separate Logistikketten erforderlich. Bei zentraler Reinigung außerhalb des Betriebes müssen die höheren Transportkosten durch eine effizientere Reinigung aufgefangen werden. Die Nutzung von Reinigungsanlagen der Zuckerfabriken ist wegen des Verlustes des Nawaro-Bonus noch nicht möglich.

Betriebsindividuell gibt es eine Vielzahl von Aufbereitungsverfahren. Die Verfütterung ganzer Rüben setzt robuste Schnecken und Pumpen mit quetschenden oder zerkleinernden Aggregaten voraus. Für die Zerkleinerung werden verschiedene technische Lösungen in der Radlader- bzw. Frontladerschaufel oder Gehölzschredder angeboten (Abb. 9).



**Abb. 9:** Wäsche und Zerkleinerung von Rüben

Aus gärtechnologischer Sicht hat dabei, im Gegensatz zu anderen Substraten, die Größe der Rübenteile keine ausschlaggebende Bedeutung. Eine Zwischenlagerung zerkleinerter Rüben über mehrere Tage ist nicht möglich, da sie biologisch sehr aktiv sind und somit hohe Verluste zu erwarten sind. Wegen der dabei entstehenden Säuren ist bei einer kontinuierlichen Nutzung von Schneid- oder Förderaggregaten auch der höhere Verschleiß zu beachten.

Rüben können ab etwa Anfang September kontinuierlich geerntet und frisch verfüttert werden. Sie stellen dann eine ideale Ergänzung als Zufütterung zu Silagen oder anderer angefallener Frischsubstrate wie Grassilage dar. Eine Lagerung kann bei abnehmenden Temperaturen ab Ende Oktober erfolgen. Atmungsverluste durch die Umsetzung von Zucker sind in der Miete stark temperaturabhängig. Des Weiteren hat eine verlust- und beschädigungsarme Ernte einen entscheidenden Einfluss auf die Höhe der Zuckerverluste. Eine sorgfältige Abdeckung der Miete vermindert Atmungsverluste. So ist z. B. bereits bei einer kurzzeitigen Zwischenlagerung der Rüben am Feldrand im November mit Abdeckung von Verlusten bis zu 150 g Zucker je t Rüben und Tag auszugehen; ohne Abdeckung erhöhen sich die Verluste. Diese Lagerungsverluste müssen betriebsindividuell gegen Silierverluste abgewogen werden.

Gefrorene Rüben haben keinen wesentlichen Einfluss auf die Vergärung. Allerdings sollten angefaulte und alterierte Rüben nicht verfüttert werden. Gut gelagerte Rüben können bis ins Frühjahr verfüttert werden. Die kontinuierliche Ernte von Rüben im Winter und zeitigen Frühjahr ist, wenn überhaupt, nur auf wenigen Standorten (z. B. leichte Sande) technisch überhaupt möglich. Aspekte des vorsorgenden Bodenschutzes müssen dabei beachtet werden (siehe Kap. 3.2).

Zur ganzjährigen Verfütterung muss die Rübe konserviert werden. Sie verfügt aufgrund des hohen Zuckergehaltes über hervorragende Siliereigenschaften, selbst wenn sie vorher nicht zerkleinert wurde. Zerkleinerte Rüben haben eine stark fließende Konsistenz, so dass im Flachsilo, im Erdbecken (Abb. 10) oder im Hochsilo entsprechend stabile Außenwände erforderlich sind. Aufgrund der hohen biologischen Umsetzungsaktivität sollte der Anteil der Oberfläche des Silos möglichst gering bzw. die Oberfläche abgedeckt sein, um hohe Silierverluste durch Gärung und aeroben Abbau zu vermeiden. Diese können allein in der oberen Deckschicht insbesondere in Lagunen deutlich mehr als 10 % betragen, bisher sind sie aber wenig untersucht. Durch weitere Verluste bei Ein- und Auslagerung des Substrats können insgesamt bis zu 20 % des gewachsenen Ertrages nicht in den Fermenter gelangen.



**Abb. 10:** Erdbecken mit pumfähigem Rübensubstrat (links) und Zuckerrüben in Schlauchsilage (rechts)

Sickersaft ist auch ein Silierverlust und muss in jedem Fall aufgefangen werden, denn neben dem Verlust an Gärsubstrat führen selbst geringe Mengen zu einer sehr hohen, nicht akzeptablen organischen Belastung des Ab- oder Oberflächenwassers.

Die Silierung in luftdichten Folienschläuchen, auch ganzer Rüben, hat dagegen sehr geringe Silierverluste (höchstens 10 %), zudem existieren gute technische Lösungen zur Befüllung. Der Einsatz von Silierhilfsmitteln kann die ohnehin geringen Verluste weiter vermindern. Insgesamt ist aber die Silierung in Folienschläuchen mit etwa 5 € je t Zuckerrüben zu veranschlagen. Über die Einlagerung von gemusterten Rüben in Hochsilos liegen noch keine umfassenden Erfahrungen vor.

Rüben eignen sich aufgrund ihres hohen Zuckergehaltes auch hervorragend als Kosubstrat für die Silierung. Das Hauptsubstrat (z. B. Mais) sollte dann einen Trockenstoffgehalt von über 33 % aufweisen, um in konventionellen Fahrsilos den Anfall

---

an Sickersaft zu vermindern. Die Silierung in Folienschläuchen und als Kosubstrat setzt eine sehr schlagkräftige Anlieferungslogistik voraus.

#### **4. Vergärung (E. Hartung)**

Zuckerrüben haben einen besonders hohen Gehalt an leicht fermentierbaren Kohlenhydraten, so dass sie sehr schnell vollständig abgebaut werden und somit geringe hydraulische Verweilzeiten im Fermenter haben. In Laborversuchen mit Batch-Fermentern waren silierte Zuckerrüben nach bereits ca. 6 bis 8 Tagen zu über 90 % umgesetzt, was im Gegensatz dazu bei Mais ca. 12 bis 18 Tage und bei Schweineflüssigmist über 20 Tage benötigte. Eine ausreichende Zerkleinerung der Rüben fördert zusätzlich die zügige Fermentation. Die ermittelten hydraulischen Verweilzeiten können jedoch nur als Schätzung gelten, da sie von Batch-Fermenteruntersuchungen abgeleitet wurden. In der Praxis werden jedoch in der Regel Durchfluss-Fermentersysteme betrieben.

Grundsätzlich führt eine schnellere Vergärbarkeit zu einer erhöhten Auslastung einer Biogasanlage, die jedoch zurzeit noch nicht genau quantifiziert werden kann (siehe Kap. 5). Allerdings erhöht die schnellere Vergärbarkeit auch die Anforderungen an die Prozesstechnik und den Betrieb einer Biogasanlage. Dies gilt insbesondere dann, wenn es sich um eine sogenannte Monofermentation handelt. Bei der Vergärung von Energiepflanzen (z. B. Zuckerrüben, Silo- und/oder Körnermais, Sonnenblumen, Klee-gras oder Getreide) wird inzwischen davon ausgegangen, dass Mischungen (Kofermentation) fast immer einen Vorteil gegenüber einer Monofermentation haben.

Neben dem spezifischen Methanertrag ( $\text{m}^3$  Methan je t Frisch- oder Trockenmasse) ist natürlich vor allem der Methanhektarertrag ( $\text{m}^3$  Methan je ha Anbaufläche) interessant. Angaben in der Literatur zu Biogas-/Methanerträgen können grundsätzlich nur als Anhaltswerte verstanden werden. Bei den zu erwartenden spezifischen Methanerträgen handelt es sich lediglich um Schätzwerte aus theoretischen Berechnungen auf der Basis von Laboruntersuchungen (Tab. 1), wobei aus der Praxis zuweilen von höheren Werten berichtet wird. Vor allem aber die zu erwartenden Biomasseerträge je ha variieren abhängig von Rübentyp, Sorten, Standort, Anbauverfahren und Witterung teilweise sehr stark. Zusätzlich müssen die Verluste durch Ernte, Konservierung sowie Ein- und Auslagerung betriebsindividuell berücksichtigt werden.

**Tabelle 1:** Substrateigenschaften und Gasertrag verschiedener Rübentypen, berechnete Schätzwerte aus Laboruntersuchungen (nach LfL 2004)

Substrat	TM (%)	oTM (%)	spez. Gasertrag (NI/kg oTM)	spez. Gasertrag (Nm <sup>3</sup> /t FM)	CH <sub>4</sub> -Gehalt (%)
<b>Zuckerrübe</b>	23,0	91,9	696,0	147,1	50,8
<b>Gehaltsfutterrübe</b>	14,6	90,3	683,9	90,2	51,1
<b>Gehaltsrübe und Blatt, siliert</b>	17,9	77,6	565,8	78,6	51,9
<b>Massenfutterrübe</b>	11,0	88,2	696,7	67,6	51,6
<b>Rübenkleinteile, Rübenschwänze</b>	17,0	87,0	648,7	95,9	51,8

Gasausbeuten sind auf Basis durchschnittlicher Nährstoffgehalte (Fett, Eiweiß und Kohlenhydrate) und Verdauungsquotienten berechnet

## 5. Wirtschaftlichkeit (D. Augustin, F. Setzer)

Für eine Analyse der Wirtschaftlichkeit der Biogaserzeugung von Zuckerrüben muss die gesamte Verfahrenskette vom Anbau über die Lagerung bis zur Fermentation und Gärsubstratverwertung einbezogen werden. Tabelle 2 enthält einen Vergleich über die gesamte Produktionskette von der Aussaat bis zum Biogas für Zuckerrüben als Kosubstrat.

Zuckerrüben liegen in der Variante „frisch verfüttern“ (ohne Waschen und Steintrennung) mit 2,46 ct je kWh gleich auf mit Mais. Jeder zusätzlich nötige Verfahrensschritt verschlechtert die Wettbewerbsfähigkeit bis zu 3,75 ct je kWh. Hierbei wurden mit jeweils 5 € je t für das Waschen und die Schlauchsilage hohe Kosten für die noch nicht standardisierten Verfahren angesetzt. Ohne die Vorteile im Fermentationsprozess wäre damit der Zuckerrübenanbau nur in der Frischverfütterung wettbewerbsfähig.

Da Rüben jedoch gerade wegen der positiven Gäreigenschaften zum Einsatz kommen, berücksichtigt die Gesamtbetrachtung der Tabelle 2 auch bisher wissenschaftlich nicht abgesicherte, aber in der Praxis regelmäßig zu beobachtende Vorteile der Zuckerrübe im Fermentationsprozess in der vorletzten Spalte. So erhöht aufgrund eigener Erfahrungen im Versuchsgut Relliehausen die Einbeziehung der Zuckerrübe als Kosubstrat die Gasausbeute aus der organischen Substanz des gesamten vielseitigen Substratmix um etwa 2 %. Allein diese Erhöhung durch einen 20%igen Anteil Zuckerrüben bedeutet eine um 10 % höhere Gasausbeute bezogen auf die Zuckerrüben. Mit den eingesparten Kosten für Mais in Höhe von 2,46 ct je kWh verringern sich die Kos-

## DLG-Merkblatt 363: Biomasse-Rüben

ten um 139 € je ha. Zusätzlich wird 10 % weniger Anbaufläche benötigt, was bei Berücksichtigung der Nutzungskosten einen weiteren Vorteil von 50 € je ha ergibt.

**Tabelle 2:** Kostenvergleich von Mais und Zuckerrüben als Kosubstrat mit verschiedenen Aufbereitungsverfahren am Beispiel der Ertragsrelationen in Südniedersachsen, ohne Pachtansatz

		Mais	Zuckerrüben				
			frisch	frisch + waschen	waschen + zerkleinern	waschen + Folien-schlauch	waschen + ein-silieren
Ertrag <sup>1</sup>	t/ha	55	73				
Gas <sup>2</sup>	cbm/ha	9.856	10.636				
Energieausbeute <sup>2</sup>	kWh/ha	51.251	56.371				
Direkte + Arbeiterledigungskosten Anbau	€/ha	780	845				
Düngerwert des Gärsubstrates	€/ha	-140	-90				
Ernte- u. Transportkosten <sup>3</sup>	€/ha	428	629				
Wäsche/Walzen <sup>4</sup>	€/ha	60	-	365	365	365	365
Zerkleinern	€/ha	-	-	-	110	-	183
Folienschlauch	€/ha	-	-	-	-	365	-
Lagerkosten	€/ha	132	-	-	-	-	175
Gesamtkosten <sup>5</sup>	€/ha	1.260	1.384	1.749	1.859	2.114	2.107
Kosten frei Anlage	€/t	22,90	19,00	24,00	25,50	29,00	28,90
Kosten je kWh	ct/kWh	2,46	2,46	3,10	3,30	3,75	3,74
Rel. Vorzüglichkeit des Zuckerrübenanbaus im Vergleich zu Mais	€/ha	-	0	-363	-473	-728	-721
Fermentationsvorteile der Zuckerrübe <sup>6</sup>	€/ha	-	364				
Rel. Vorzüglichkeit des Zuckerrübenanbaus im Vergleich zu Mais mit Fermentationsvorteil	€/ha	-	364	1	-109	-364	-357

1 Zuckerrüben entblättert

2 Bruttoenergieertrag: Atmungs- und Siliverluste nicht berücksichtigt, weil bei Mais und Zuckerrübe ähnlich

3 enthält auch die Ausbringung der Gärreste (1,5 km)

4 unterstellt werden 5 €/t bei der Zuckerrübe

5 Gesamtkosten abzüglich Düngewert

6 u.a. verbesserte Gasausbeute und Rührbarkeit; bisher keine wissenschaftlich abgesicherten Ergebnisse

Die Verbesserung der Rührfähigkeit und die damit einhergehende Verringerung des Rühraufwandes stellen ebenfalls einen Vorteil dar. Die sich daraus ergebende Verringerung des Eigenstrombedarfs ist umso größer, je höher der TS-Gehalt des Substrates ist, und wird mit bis zu 25 % des Eigenstromanteils angegeben. Wie sich die Senkung des Eigenstromanteils um 1 % durch den Einsatz von 20 % Rüben in der Ration auswirkt, zeigt folgende Beispielrechnung:  $56.370 \text{ kWh je ha} \times 38,5 \% \text{ Wirkungsgrad}$  bedeuten  $21.702 \text{ kWh elektrisch}$ , davon 1 % vergütet mit  $16 \text{ ct je kWh}$  ergibt  $35 \text{ € je ha}$ . Da sich die Einsparung bei einem Anteil von 20 % Zuckerrüben auf die fünffache Menge bezieht, reduziert der Einsatz von Zuckerrüben die Kosten für den Eigenstrom um  $175 \text{ € je ha}$ .

Daraus ergeben sich kalkulatorisch in Tabelle 2 insgesamt Fermentationsvorteile der Zuckerrübe von  $364 (139 + 50 + 175) \text{ € je ha}$ . Für die Übertragbarkeit der Daten auf andere Standorte ist zu beachten, dass weniger die Höhe als vielmehr die Ertragsrelation von  $73 \text{ t je ha}$  bei entblätterten Zuckerrüben im Vergleich zu  $55 \text{ t je ha}$  Mais entscheidend ist. Weiterhin sind veränderte Vorfruchteffekte zu kalkulieren. Betriebsindividuell können sich noch Vorteile ergeben, da geringe Anteile Zuckerrüben keine Lagerkosten verursachen, wenn sie frisch verfüttert werden. Auch durch die Lagerung in Lagunen sinkt der Investitionsbedarf gegenüber einem Silo von  $30$  auf  $10 \text{ € je t}$  Lagerkapazität.

Zu den bisher nicht genannten Nachteilen zählen fehlende technische Einrichtungen, eine größere Wetterabhängigkeit der Verfahrenskette Zuckerrüben und die sowohl zeitlich als auch im Umfang erschwerte Gärrestverwertung. Hinzu kommt, dass durch den Einsatz gemuster, nicht stapelbarer Rüben in Trockenfermentationsanlagen der Trockenvergärungsbonus gefährdet ist. Für die meisten Biogasanlagen dürfte deshalb gelten, dass bei geringen Anteilen Zuckerrüben im Substratmix die Vorteile realisierbar sind, diese sich jedoch mit zunehmendem Anteil verringern.

Für den zukaufenden Anlagenbetreiber stellt sich die Frage, welcher Preis für Zuckerrüben dem Preis für Mais frei Hof entspricht. Kann Mais z. B. für  $28 \text{ € je t}$  erworben werden, beträgt der Substitutionspreis für unverarbeitet einsetzbare Zuckerrüben  $26,30 \text{ € je t}$ . Kostet das Waschen und Silieren wie in unserer Rechnung jeweils  $5 \text{ € je t}$ , so verringert sich der Substitutionspreis auf  $16,30 \text{ € je t}$ . Realisierbare Fermentationsvorteile erhöhen den Wert und den zahlbaren Preis der Rüben um  $5 \text{ € je t}$ . Verändern sich

die Kosten für den Zukauf von Mais, ergibt sich ein um den Faktor 8,30 € je t proportional veränderter Substitutionspreis für Zuckerrüben.

## **6. Ausblick (B. Märländer)**

Die Zuckerrübe ist für die Erzeugung von Biogas aufgrund ihrer stofflichen Zusammensetzung hervorragend geeignet. Insbesondere in Mischsilagen berichten Praktiker über eine höhere Gasausbeute, ein besseres Gärverhalten und einen schnelleren Abbau des Substrats. Exakte Untersuchungen dazu sowie zu verfahrenstechnischen Aspekten und den sich insgesamt ergebenden wirtschaftlichen Vorteilen liegen noch nicht detailliert vor. Zur Monovergärung liegen bisher weder genügend Praxiserfahrungen noch belastbare Ergebnisse aus Forschungsprojekten vor, die aber zurzeit durchgeführt werden. Die Produktionskosten einschließlich Lagerung/Silierung und Reinigung des Rohstoffs Zuckerrübe sind im Vergleich zu Mais höher. Allerdings kann der Anbau von Zuckerrüben aus Sicht der Umwelt zu einem verbesserten Image der Biogaserzeugung führen, da bei einem hohen Anbauanteil von Mais die Fruchtfolge aufgelockert wird. Für den Anbau von Biomasserüben ergeben sich zurzeit keine wesentlichen Veränderungen im Vergleich zum Anbau von Zuckerrüben. Ob zukünftig spezielle Rübentypen eine besondere Vorzüglichkeit für die Biogasgewinnung erlangen können, kann erst nach der Zulassung entsprechender Sorten und deren Testung im Vergleich zu den ertragreichsten Zuckerrübensorten beurteilt werden.