

KWS Energierüben: Die Rübe als Biogassubstrat

Handbuch für den erfolgreichen Anbau und die Verwertung

ZUKUNFT SÄEN
SEIT 1856





Inhalt

04	Einleitung
05	Die Rübe als ertragsstarkes und wertvolles Fruchtfolgeglied
06	Die Rübe in der Fruchtfolge
09	Ertragsstabilität und Nährstoffeffizienz
11	Saatbettbereitung, Aussaat und Düngung
14	Die Eignung der Rübe als Biogassubstrat
14	Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt
15	Zusammensetzung der Trockensubstanz
17	Stärken der Rübe in der Biogasproduktion
20	Besonderheiten beim Rübeneinsatz
22	Bericht aus der Forschung: Flexible Biogasproduktion mit der Zuckerrübe
26	Aufbereitung, Zerkleinerung und Lagerung von Rüben
26	Verfahren zur Aufbereitung und Zerkleinerung
30	Etablierte Verfahren zur Rübenlagerung
43	Fazit
44	Die Rübe, ein richtiges Multitalent
45	Faustzahlen
47	Literaturverzeichnis

Einleitung

Die Biogasproduktion hat sich auf vielen landwirtschaftlichen Betrieben zu einem etablierten Betriebszweig entwickelt und ist häufig eine feste Größe im individuellen Betriebskonzept. Neben der gezielten Steuerung und Optimierung des täglichen Anlagenbetriebes sind der Anbau und die Beschaffung von Substraten eine der zentralen Aufgaben jedes Biogasanlagenbetreibers. Dabei spielen die Sicherstellung der Substratversorgung, die Nutzung von Synergieeffekten im Fermenter sowie die Gestaltung von Fruchtfolgen eine große Rolle. Hinzu kommen spezielle Anforderungen an den Anlagenbetrieb, die im Rahmen der flexiblen Stromerzeugung entstehen können.

KWS Energierübensorten können in diesem Zusammenhang einen positiven Beitrag leisten. Seit vielen Jahren liefert KWS erfolgreich spezielle Zuckerrüben für die Biogasproduktion. Der Einsatz der Rübe führt zu einer Risikoverteilung bei der Substraterzeugung und durch die Erweiterung von Fruchtfolgen zu einer Erhöhung der Biodiversität in der Agrarlandschaft. Daneben sprechen der große züchterische Fortschritt, die Nährstoffeffizienz, der hohe Trockenmasse- und Methanertrag sowie die schnelle Umsetzbarkeit der Rübe im Fermenter für sich.

Auf den nächsten Seiten möchten wir Ihnen wertvolle Informationen zu den Stärken und positiven Effekten rund um die Nutzung der Rübe in der Fruchtfolge und in der Biogasanlage an die Hand geben.

Ihre Berater für KWS Energierüben / KWS Feedbeet

Ihre
Ulrike Stephan

Ihr
Nils Albrecht

Ihr
Sebastian

Die Rübe als ertragsstarkes und wertvolles Fruchtfolgeglied

Der Anbau von Rüben ist in Deutschland seit fast 200 Jahren erfolgreich etabliert. Seit 1856 arbeitet KWS an der Züchtung leistungsstarker Zuckerrübensorten. Durch intensive Forschung und Entwicklung liegt der Zuchtfortschritt bei ca. zwei Prozent jährlich – das heißt bis zu zwei Tonnen mehr Rübenenertrag pro Hektar und Jahr.

Die Züchtung arbeitet an Sorten, die an verschiedenste pflanzenbauliche Herausforderungen angepasst sind. Seit 1990 sind der Rüben- und Zuckrertrag und damit auch der für die Biogasproduktion bedeutsame Trockenmasseertrag (TME) stark angestiegen. So hat der TME sich bis heute fast verdoppelt und liegt im dreijährigen Mittel in Deutschland bei ca. 16 Tonnen pro Hektar (Abb. 1). Moderne Anbauverfahren wie Mulchsaat, ein effektives Herbizid- und Fungizidmanagement, optimierte Ernteverfahren sowie ein ausgeprägtes Beratungs- und Versuchswesen sind etabliert und tragen dazu bei, das genetische Ertragspotenzial nachhaltig umzusetzen.

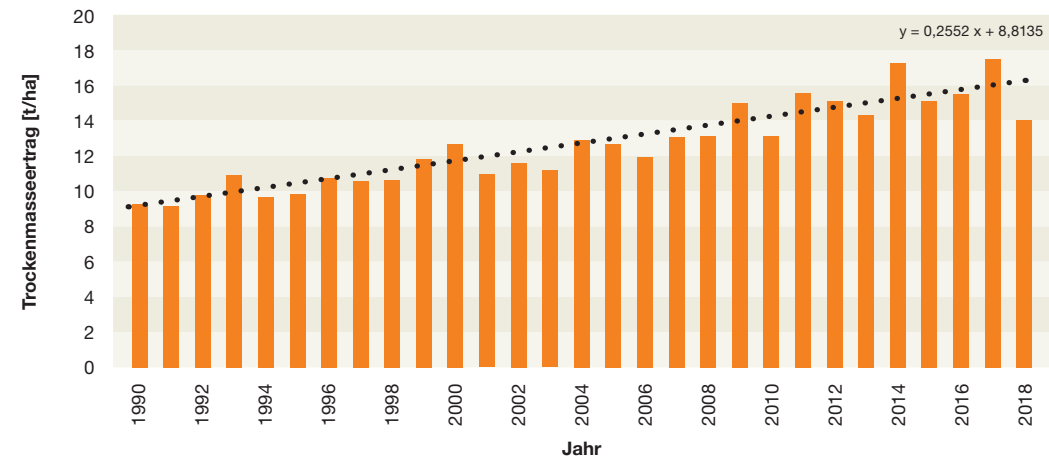


Abb. 1: Starker Anstieg des Trockenmasseertrages (t/ha) im Zeitraum von 1990 bis 2018; dargestellt ist der deutschlandweite Durchschnitt.
Quelle: Darstellung KWS nach WVZ 2019

Die Rübe in der Fruchtfolge

Die Gestaltung von individuellen Kulturpflanzenfruchtfolgen ist seit jeher die Kernaufgabe eines erfolgreichen Betriebsleiters. Neben dem Aspekt der nachhaltigen Bewirtschaftung des Bodens und den Standortbedingungen spielen die betriebliche Ausrichtung, politische Vorgaben und natürlich die Wirtschaftlichkeit eine große Rolle. Außerdem rückt die Nutzung von modernen Sortentypen mit vielfältigen Resistenz- und Toleranzeigenschaften stärker in den Fokus. Mit ihren zahlreichen positiven Eigenschaften in der Fruchtfolge trägt die Rübe zu einer nachhaltigen Substraterzeugung und -versorgung bei.

Die Rübe hat einen hohen Vorfruchtwert

Durch ihr tiefes Wurzelwerk hinterlässt sie in der Regel einen garen Boden und erschließt auch den Untergrund schwerer Böden. Weiterhin ist durch die Etablierung von Zwischenfrüchten und den Einsatz konservierender Bodenbearbeitungsverfahren, wie z. B. der Mulchsaat, ein Beitrag zum Bodenschutz möglich. Wichtig ist jedoch, dass die Rodung unter trockenen Bedingungen erfolgt, um Strukturschäden zu vermeiden. Das im Feld zurückbleibende Rübenblatt liefert Kalium und Stickstoff für die Folgekultur. Arbeitswirtschaftlich passt die Rübe gut in Energiefruchtfolgen und kann alle drei Jahre integriert werden (Abb. 2). Eine Reduktion der Anbaupause auf weniger als zwei Jahre ist aus phytosanitärer Sicht, beispielsweise aufgrund der Vermehrung von Rübenzystennematoden, nicht zu empfehlen.

Arbeitswirtschaftliche Vorteile der Rübe in Energiefruchtfolgen:

- Frühe Aussaat ab März/April
- Weites Ernte- und Transportfenster
- Haupternte- und Verladezeit von September bis Ende November
- Unter günstigen Witterungsbedingungen Lagerung am Feldrand bis Anfang März des Folgejahres

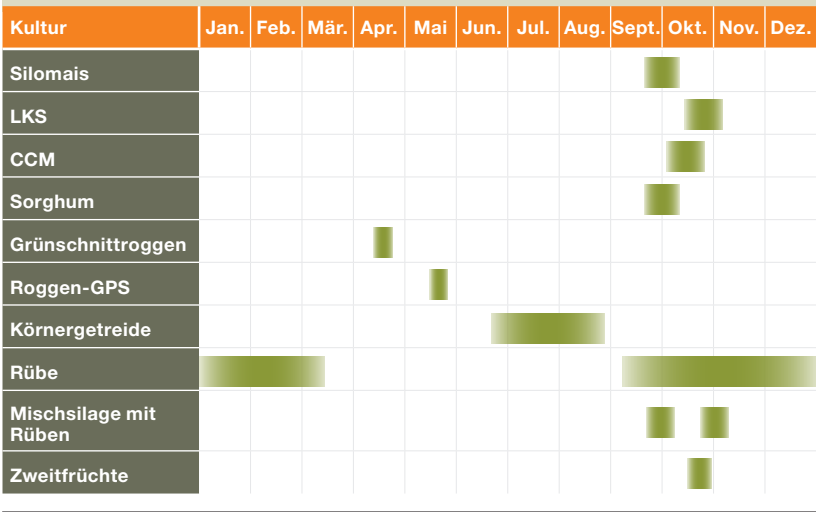


Abb. 2: Flexible Ernte und Verladezeitpunkte bei der Zuckerrübe



Worauf im Rübenanbau dringend zu achten ist, ist das **Unkrautmanagement**. Abhängig von den jeweiligen Umweltbedingungen werden in der Regel drei Herbizidmaßnahmen im Nachauflauf der Rüben durchgeführt, damit die jungen Rübenpflanzen nicht mit Unkräutern um Licht und Wasser konkurrieren müssen. Ein optimaler Herbizideinsatz ist essenziell für die Ertragsbildung und Erntefähigkeit. Ist der Bestand aber einmal etabliert und sind die Reihen geschlossen, werden die Unkräuter durch die lange Beschattung des Bodens unterdrückt. Zudem bietet die Rübe ab dem Reihenschluss vielen Wildtieren, wie dem Feldhasen oder bodenbrütenden Vögeln, bis in den Herbst hinein Deckung und einen Lebensraum.

Der Anbau von Rüben in engen Fruchtfolgen mit Mais bedarf besonderer Aufmerksamkeit

Zum einen ist die Nachwirkung von einigen Maisherbiziden auf Rüben zu beachten und zum anderen ist die Gefahr von Ertrags- einbußen durch den Befall mit *Rhizoctonia solani* – der späten Rübenfäule – nicht zu unterschätzen. *Rhizoctonia* wird von einem bodenbürtigen Pilz auf die Rübe übertragen, kann aber auch den Mais befallen. Vor allem auf Böden mit deutlichen Strukturschäden, Verdichtungen, Staunässe, mangelnder Durchlüftung und hoher Bodenfeuchte bei gleichzeitig warmen Temperaturen kann *Rhizoctonia* zu einem Problem werden. Bodenbearbeitung bei zu feuchtem Boden sowie die Einarbeitung von hohen Mengen schlecht zerkleinerten organischen Materials im Spätherbst/Winter (nach der Körnermaisernte) sind weitere Risikofaktoren. Eine Möglichkeit, um das Befallsrisiko zu reduzieren, ist der Anbau von resistenten Rübensorten, die speziell für enge Mais-Fruchtfolgen empfohlen werden. Resistente Sorten stellen allerdings nie die alleinige Lösung dar. Ein integrativer Ansatz, der die Sortenwahl mit ackerbaulichen Maßnahmen verknüpft, verspricht den größten Erfolg bei der Bekämpfung dieser bodenbürtigen Krankheit. Ziel ist es, durch geeignete Maßnahmen die Bodenstruktur und die Bodenfruchtbarkeit zu fördern, um das Befallsrisiko zu mindern. Eine mögliche Maßnahme ist zum Beispiel die regelmäßige Bodenkalkung.

Ertragsstabilität und Nährstoffeffizienz

Als heimische Kulturpflanze kommt die Rübe sehr gut in kühleren und auch trockeneren Lagen zurecht. Die Rübe befindet sich im Anbaujahr in der vegetativen Phase und ihre Ertragsbildung wird nicht durch einen vorzeitigen Beginn der Blüte beendet. Dies ist in Trockenphasen von Vorteil. Sobald wieder Wasser zur Verfügung steht, wächst die Rübe weiter und kann die lange Vegetationszeit bis in den Herbst hinein zur Ertragsbildung nutzen. Das in diesem Zusammenhang häufig vorzufindende Bild von „schlafenden“ Rübenbeständen (Abb. 3) ist damit kurzfristig tolerierbar und fungiert als eine Art „Schutzmechanismus“ der Rübe. Die Rübe ist in der Lage, den Boden bis zu 2 m und tiefer zu durchwurzeln. Dabei kann sie im Unterboden Wasser- und Nährstoffvorräte erschließen, welche für flach wurzelnde Kulturen nicht mehr zugänglich sind. Somit bietet die Rübe ein hohes Ertragspotenzial und Planbarkeit in der Fruchtfolge.



Abb. 3: „Schlafende“ Rüben während einer Trockenphase. Mit wiedereinsetzenden Niederschlägen wächst die Rübe weiter.

Auch bei der **Nährstoffeffizienz** zeigt die Rübe ihre Stärken. Die eingesetzte Menge Stickstoff pro Tonne Bereinigtem Zuckerertrag (BZE) und folglich auch pro Tonne Trockenmasseertrag (TME) sank in den letzten Jahrzehnten beachtlich von 30 kg Stickstoff auf aktuell etwa 10 kg (Märländer et al. 2018). Trotz dieser Entwicklung wurde der Ertrag pro Hektar mehr als verdoppelt. Dank der langen Vegetationszeit profitiert die Rübe von der sommerlichen Stickstoff-Mineralisation aus der organischen Bodensubstanz. Dies spiegelt sich in einer neutralen bis negativen Stickstoffbilanz wider (Abb. 4). Die im Herbst nach der Zuckerrübenenernte niedrigen $N_{\min}$ -Werte im Boden tragen außerdem zum Grundwasserschutz bei. Versuche und Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass eine rein organische Stickstoffdüngung durch Gärreste ausreichen kann, um den Stickstoffbedarf der Rübe zu decken und ein hohes Ertragsniveau zu erreichen.

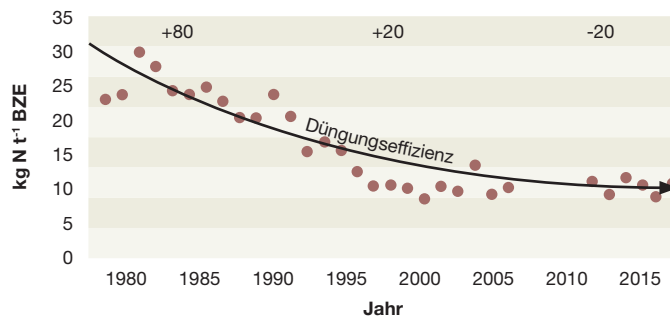


Abb. 4: Seit 1980 ist die eingesetzte Menge Stickstoff pro Tonne BZE und TME deutlich gesunken und führt zu einer ausgeglichenen bis negativen Stickstoffbilanz.
Quelle: Märländer et al. 2018

Gut aufgestellt für eine erfolgreiche Substratproduktion – Vorteile der Rübe auf einen Blick:

- Gute Vorfruchtwirkung
- Etablierte Anbausysteme und Anbau-/Erntetechnik
- Risikoverteilung und somit Absicherung der Substratversorgung
- Hohe Flächeneffizienz
- Entzerrung von Arbeitsspitzen und Nutzung freier Arbeitskapazitäten
- Hohe Stickstoff-Nutzungseffizienz dank langer Vegetationsperiode
- Hohes Ertragspotenzial auch auf kühleren Standorten

Saatbettbereitung, Aussaat und Düngung

Saatbettbereitung

Eine optimale Saatbettbereitung bietet die Grundvoraussetzung für hohe Feldaufgänge und maximale Erträge. Durch eine flache Bearbeitung wird ein feinkrümeliges Saatbett erzeugt. Dieses sollte gut rückverfestigt werden, damit eine gute Kapillarität für die Keimung gewährleistet ist. Die Pille sollte auf dem rückverfestigten Saathorizont in 2–3 cm Tiefe abgelegt werden und in der feinkrümeligen Deckschicht eingebettet werden (Abb. 5). Das Saatbett sollte mit möglichst wenigen Arbeitsgängen geschaffen werden, da jede zusätzliche Überfahrt die Bodenstruktur negativ beeinflussen kann. Unter Praktikern gilt für die Saatbettbereitung wie für die Aussaat: Lieber einen Tag länger warten, als die Bodenstruktur bei zu nasser Bearbeitung zu zerstören und so schon bei der Saat Ertrag zu verschenken. Darüber hinaus kann eine schlechte Bodenstruktur den Erdanhang bei der Rodung negativ beeinflussen. Das Saatbett sollte ausreichend Strukturreserve haben, um Verschlammungen infolge von starken Regenfällen vorzubeugen. Mulchsaaten tragen zu einer stabilen Bodenstruktur bei und leisten besonders bei Verschlammungsgefährdeten Böden einen großen Beitrag zum Erosionsschutz.

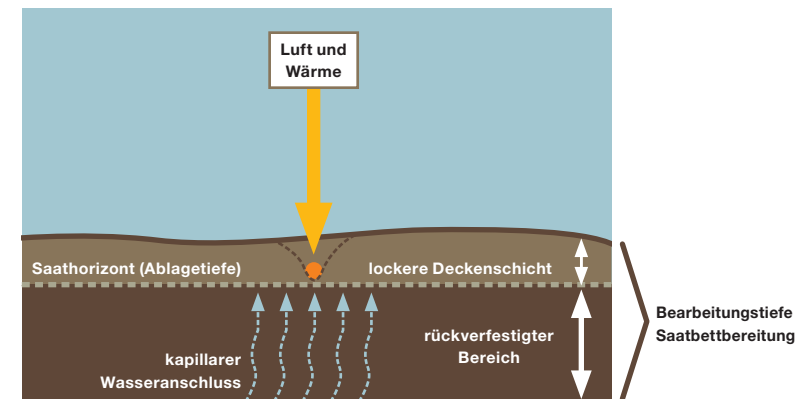


Abb. 5: Einfluss der Saatbettbereitung auf die Keimung und den Feldaufgang

Aussaat

Der optimale Aussaatzeitpunkt, um einen maximalen TME zu erzielen, liegt je nach Region, Bodenbeschaffenheit und Bodentemperaturen zwischen Mitte/Ende März bis Mitte April. Je später die Aussaat erfolgt, umso kürzer wird die zur Ertragsbildung verbleibende Vegetationszeit. Unter günstigen Boden- und Witterungsbedingungen sollte somit schon früh mit der Aussaat begonnen werden. Allerdings muss man bei frühen Saatterminen in Gebieten mit Spätfrostgefahr vorsichtig sein. Die Rüben sind besonders im Keimblattstadium empfindlich gegenüber Frosteinwirkung.

Die Rübenpille ist je nach angestrebter Bestandesdichte auf einen Endabstand von 18–22 cm abzulegen. Der Reihenabstand beträgt dabei entweder 45 oder 50 cm. Achtung!: Bei der Wahl der Reihenweite muss ebenfalls darauf geachtet werden, dass die entsprechende Rodetechnik bei der Ernte zur Verfügung steht. Um den maximalen TME zu erzielen, wird eine Bestandesdichte von 80.000 bis 100.000 Pflanzen pro Hektar angestrebt. Je nach Feldaufgang bedeutet dies eine Aussaatstärke von ca. 110.000 bis 120.000 Pillen/ha (Tab. 1).

Tab. 1: Pflanzen/ha in Abhängigkeit von Pillenabstand, Reihenentfernung und Feldaufgang

Pillen- abstand in der Reihe in cm	45 cm Reihenabstand							50 cm Reihenabstand						
	Aussaat Pillen in 1.000/ha	Feldaufgang [%]						Aussaat Pillen in 1.000/ha	Feldaufgang [%]					
		70	75	80	85	90	95		70	75	80	85	90	95
		Pflanzenzahl [1.000/ha]							Pflanzenzahl [1.000/ha]					
16	139	97	104	111	118	125	132	125	88	94	100	106	113	119
16,5	135	94	101	108	114	121	128	121	85	91	97	103	109	115
17	131	92	98	105	111	118	124	118	82	88	94	100	106	112
17,5	127	89	95	102	108	114	121	114	80	86	91	97	103	109
18	123	86	93	99	105	111	117	111	78	83	89	94	100	106
18,5	120	84	90	96	105	108	114	108	76	81	86	92	97	106
19	117	82	88	94	99	105	111	105	74	79	84	89	95	100
19,5	114	80	85	91	97	103	108	103	72	77	82	87	92	97
20	111	78	83	89	94	100	106	100	70	75	80	85	90	95
20,5	108	76	81	87	92	98	103	98	68	73	78	83	88	93
21	106	74	79	85	90	95	101	95	67	71	76	81	86	90
21,5	103	72	78	83	88	93	98	93	65	70	74	79	84	88
22	101	71	76	81	86	91	96	91	64	68	73	77	82	86
22,5	99	69	74	79	84	89	92	89	62	67	71	76	80	84
23	97	68	72	77	82	87	92	87	61	65	70	74	78	83

Quelle: eigene Darstellung

Rübensaatgut wird in Einheiten (Units) gehandelt, eine Einheit sind 100.000 Rübenpillen. Bei der Planung der Saatgutmenge muss immer auch ein technischer Rest im Sägerät berücksichtigt werden.

Düngung

Die Rübe stellt relativ geringe Ansprüche an die Versorgung mit Stickstoff und Phosphor, hat aber einen gehobenen Anspruch an die Kaliumversorgung. Die Ertragserwartung und das Nährstoffnachlieferungsvermögen des Bodens sollten bei der Düngeplanung daher berücksichtigt werden (Tab. 2).

Tab. 2: Nährstoffentzug der Zuckerrübe in Abhängigkeit vom Ertragsniveau in kg/dt (Erntegut-Ernterest-Verhältnis = 1 : 0,7)

Ertragserwartung (dt/ha)	Entzug Erntegut (Rübe) kg/dt			Entzug Ernterest (Blatt) kg/dt		
	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
600	60	150	45	46	250	42
700	70	175	56	54	294	49
800	80	200	64	62	336	56
900	90	225	72	69	378	63

Quelle: verändert nach Richtwerten LWK NRW

Der beste Zeitpunkt für die Grunddüngung ist grundsätzlich im Herbst des Vorjahres. Auf Böden mit guter Nährstoffversorgung wird Kalium in einer Fruchtfolgedüngung zur Rübe ausgebracht. Auf leichten Böden sollte die Grunddüngung mit Kalidüngern im Frühjahr durchgeführt werden, um Auswaschungen zu vermeiden. Bei der Kalidüngung im Frühjahr besteht allerdings die Gefahr eines zu hohen Salzgehalts im Keimhorizont der Rübe, sodass es zu Keimverzögerungen oder gar Totalausfällen kommen kann.

Der Zeitpunkt der Phosphordüngung spielt eher eine untergeordnete Rolle, wird aber aus arbeitswirtschaftlichen Gründen häufig im Herbst vorgenommen. Abhängig vom Standort müssen Rüben auch mit Spurennährstoffen versorgt werden. Die wichtigsten Spurennährstoffe sind Bor und Mangan. Meist werden diese Nährstoffe in Form einer Blattdüngung ausgebracht. Der Bedarf an Bor liegt bei ca. 400–550 g/ha.

Der Stickstoffbedarf der Rübe wird nach der Bedarfswert-Methode ermittelt. Die Bodenprobe zur N_{min}-Bestimmung wird erst kurz vor der Saat in den Monaten Februar/März gezogen. Der Stickstoffbedarfswert der Rübe liegt bei 170 kg N/ha. Je nach Ertragserwartung und mineralischem Stickstoffvorrat im Boden wird der Bedarfswert dann dem Standort angepasst. Meist ergibt sich daraus ein relativ niedriger Stickstoffbedarf zwischen 80 und 120 kg N/ha.

Die Eignung der Rübe als Biogassubstrat

Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt

Ein hoher Trockenmasseertrag (TME) pro Hektar ist die Voraussetzung für eine wirtschaftliche Substratproduktion. Mit einem hohen TME ist somit eine effiziente Flächennutzung gewährleistet. Für den Einsatz in der Biogasanlage werden Rübensorten verwendet, die sich durch einen hohen TME auszeichnen. TME und Zuckerertrag stehen in einem engen Zusammenhang zueinander. Höchste Trockenmasseerträge weisen daher Rübensorten mit den höchsten Zuckererträgen auf (Abb. 6).

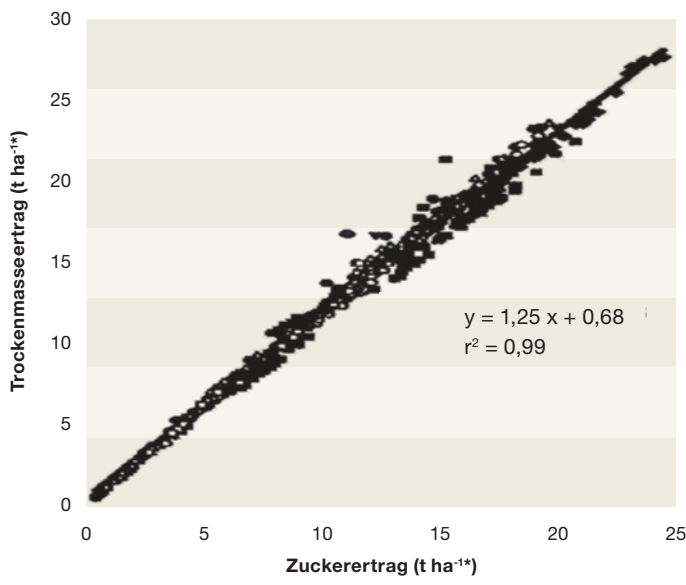


Abb. 6: Beziehung zwischen Zuckerertrag und Trockenmasseertrag
Quelle: Hoffmann et al. (2012)
*t ha⁻¹ = t/ha

Erfahrungen aus KWS Erntezeitenversuchen zeigen, dass die Rübe im Zeitraum von Anfang September bis Ende Oktober 10–20 % Frischmasseertrag zulegen kann – natürlich nur wenn ausreichend Wasser zur Verfügung steht. Der TME kann in diesem Zeitraum in manchen Jahren sogar um über 30 % steigen, wenn der Zucker-gehalt bzw. der Trockensubstanzgehalt mit dem Frischmasseertrag zulegt. Durch die Einlagerung von Zucker und die damit steigende Trockensubstanz (TS) besitzt die Rübe die Fähigkeit, witterungsbedingte niedrige Frischmasseerträge teilweise zu kompensieren. Neben dem Einfluss durch Witterung und Rodezeitpunkt wird der TS-Gehalt durch die Sortenwahl beeinflusst und kann zwischen 21 und 26 % schwanken.

Futterrüben liegen im TS-Gehalt deutlich unter 20 %. Der Einsatz von Futterrüben in der Biogasproduktion ist unter anderem wegen dieses geringen TS-Gehaltes unattraktiv. Trotz sehr hoher Frischmasseerträge bleibt der TME pro Hektar deutlich hinter den modernen KWS Energierüben zurück. Zuckerrübentypen mit hohen TS-Gehalten können hingegen je nach Witterungsbedingungen und Erntezeitpunkt auch Spitzenwerte deutlich über dem Durchschnittswert von 23 % erreichen.

Zusammensetzung der Trockensubstanz

Die Trockensubstanz der Rübe besteht zu ca. 70 % aus Saccharose. Der Rest besteht aus dem festen Zellgewebe, dem sogenannten Rübenmark und dem Saft (Melasse). Nicht nur die Saccharose ist schnell umsetzbar, sondern auch das Rübenmark (Hemicellulose, Pektine). Darüber hinaus enthält die TS der Rübe nur geringe Mengen an schwer umsetzbaren Substanzen wie Cellulose und Lignin (Abb. 7). Somit ist die Zuckerrübe ein schnell umsetzbares Substrat im Fermenter.

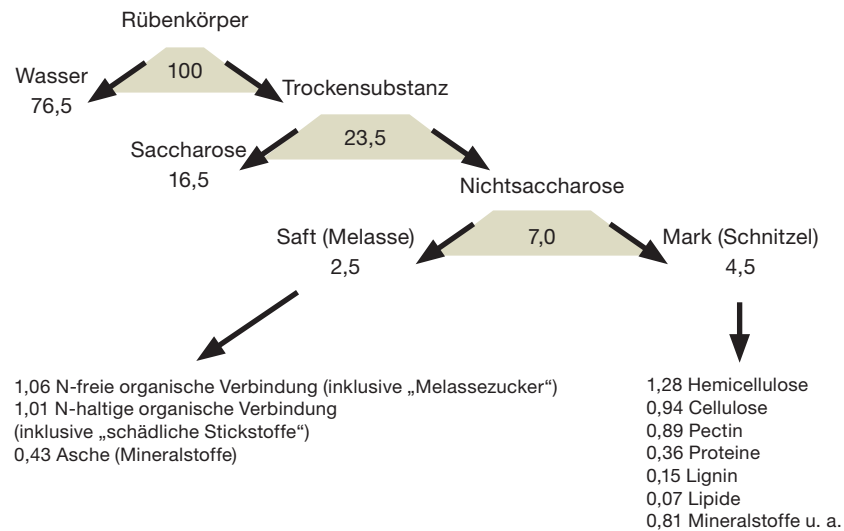


Abb. 7: Inhaltsstoffe der Zuckerrübe
Quelle: Relativwerte nach Schiweck et al. (1993)

Vorteile auf einen Blick:

- Hoher TME/ha
- Steigender TS-Gehalt kann witterungsbedingten niedrigen Frischmasseertrag teilweise kompensieren
- Höherer TS-Gehalt und damit höherer TME/ha als bei Futterrüben
- Hoher Gehalt an schnell umsetzbaren Substanzen
- Geringer Gehalt an schwer umsetzbaren Substanzen wie Cellulose und Lignin

Stärken der Rüben in der Biogasproduktion

Die Rübe hat sich in den letzten Jahren als Substrat für die Biogas-erzeugung etabliert. Sie überzeugt durch ein sehr hohes und sicheres Trockenmasse- bzw. Methanertragspotenzial und durch kurze Verweilzeiten im Fermenter. Neben Mais ist die Rübe eine der etablierten landwirtschaftlichen Kulturpflanzen mit sehr hohem TME pro Hektar.

Die Energierübe sorgt für schnelles Gas und einen flexiblen Anlagenbetrieb

Die Rübe kann mit einer Verweilzeit von unter 20 Tagen sehr schnell zu Biogas umgesetzt werden (Abb. 8). Diese Eigenschaft ermöglicht es z. B., aus vorhandenem Fermentervolumen mit **höheren Raumbelastungen (Trockenmasse/m³ Fermenter)** mehr Gas zu erzeugen und so die Kapazität der Anlage zu erhöhen. Für Anlagen mit gutem Wärmekonzept ist „**schnelles**“ Gas gerade im Winter interessant, wenn z. B. das Nahwärmenetz viel Energie abgeben muss oder ein zusätzliches BHKW gestartet wird. Für Spitzenlastzeiten kann die Rübe als **organischer Gasspeicher** genutzt werden oder einen schnellen Einstieg in die Gasproduktion, z. B. nach einer Fermenterwartung, ermöglichen. Voraussetzung hierfür ist eine gute Kenntnis der Anlage und ein entsprechendes Fingerspitzengefühl.

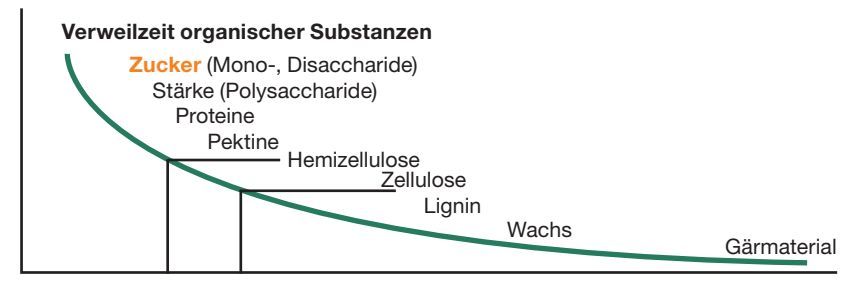


Abb. 8: Verweilzeit verschiedener organischer Substanzen im Fermenter
Quelle: Eder und Schulz (2006)

Die Rübe kann die Substratausbeute verbessern

Die Rübe enthält durch den hohen Zuckeranteil sehr leicht verdauliche und verfügbare Energie. Durch den Einsatz von Rüben verändert sich die Zusammensetzung der Bakterien im Fermenter und die Ausbeute der Substrate in der Gesamtmischung kann ansteigen. Der Gasertrag der reinen Rübe liegt nach eigenen Erfahrungen bei 170–180 m³ Biogas bei einem TS-Gehalt von 23 %. Praktiker berichten, dass eine Tonne Frischmasse Rüben eine Tonne Silomais ersetzen kann – obwohl es rechnerisch nicht möglich ist. Dieser Mehrertrag lässt auf einen höheren Gasertrag der Substrate in der Mischung schließen. Bei einer gefütterten Menge von 20–30 % Rüben in der Ration ist die Steuerung unkompliziert und einfach, der Prozess ist dabei stabil. In der Praxis kann durch den Einsatz von Rüben ein Anstieg der Methan- ausbeute um bis zu zwei Prozentpunkte beobachtet werden.

Die Rübe verbessert die Rührfähigkeit und senkt den Eigenstromverbrauch

Der Einsatz von Rüben führt zu einer Verflüssigung trockener Substrate, verbessert die Rührfähigkeit und führt zu einer Reduzierung des Eigenstromverbrauchs. Auch die Fließfähigkeit des Gärrestes lässt sich so verbessern und hat oftmals eine leichtere Ausbringung zur Folge. Dadurch ist die Rübe der ideale Mischungspartner zur besseren Umsetzung von schwer vergärbaren Substraten wie Festmist, Gras oder GPS. Der Vorrat an diesen Substraten wird durch die Rübe „versüßt“. Auch bei der Nutzung von Reststoffen wie Körnermaisstroh können die Eigenschaften der Rüben eine interessante Möglichkeit zur Aufwertung des Substrates sein.

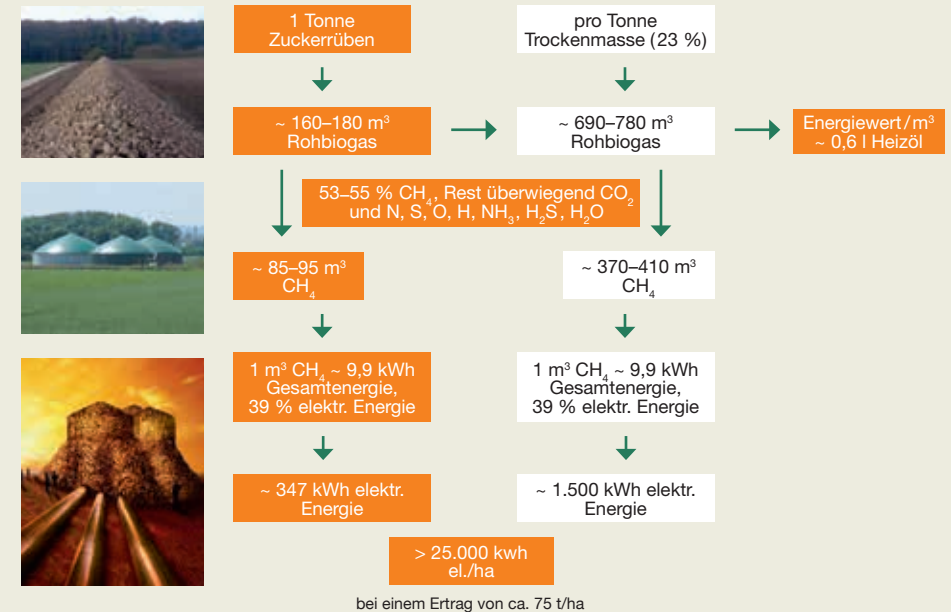


Abb. 9: Faustzahlen zum Biogas-, Methan- und Stromertrag aus einer Tonne Zuckerrüben
Quelle: nach eigenen Berechnungen



Die Rübe ist für uns gesetzt. Wir erzielen mit Energierüben rund 2 % mehr Methan und stellen unsere Rohstoffversorgung auf breitere Füße. Zudem konnten wir den Eigenstromverbrauch durch Rüben im Fermenter um 15–20 % senken. Insgesamt liefern bei uns geschnittelte Rüben mit 23 % TS rund 180 m³/t Gasertrag, in Mischsilage mit Mais sogar bis zu 220 m³/t.

Dirk Ernst | Algermissen in Niedersachsen

Besonderheiten beim Rübeneinsatz

Schaum – kann vermieden werden

Die schnelle Gasbildung beim Rübeneinsatz und eine Belegung der Biologie kann eine Schaumbildung begünstigen. Das Thema Schaumbildung im Zusammenhang mit dem Rübeneinsatz ist in der Praxis allerdings überbewertet und bei Auftreten gut beherrschbar. Schaum ist immer im Zusammenhang mit der Gesamtmischung in der Ration zu sehen und meist beim Einsatz von Rübenbrei ein Thema. Bei den gängigen Rübenanteilen von 20–30 % treten in der Regel keine Probleme auf. Sollte trotzdem Schaum auftreten, kann durch eine längere Verweildauer im Hydrolysebehälter und durch Rühren entstehendes CO₂ entweichen. Durch den Zusatz von Rapsöl, Entschäumern oder durch die leichte Senkung der Temperatur kann ebenfalls Abhilfe geschaffen werden. Professionelle Anlagenbetreiber kennen ihre Anlage sehr gut und wissen in den meisten Situationen, was zu tun ist, oder fragen den betreuenden Biologen.



Abb. 10: Schaumbildung in Zusammenhang mit Rübeneinsatz ist in der Praxis gut beherrschbar.

Gärreste – auch mit Rübe gut zu managen

Durch den Einsatz der Rübe in der Substratmischung kann der Gärrestanfall aufgrund des höheren Wassergehaltes ansteigen, was bei der Kalkulation des Lagerraums berücksichtigt werden muss. Dieser Effekt wird durch die bessere Substratausnutzung in der Mischung teilweise kompensiert. Der höhere Wasseranteil der Rübe wirkt sich andererseits positiv auf die Verflüssigung trockener Substrate im Fermenter und bei der Ausbringung aus.



Die Rübe in der Biogasanlage – Vorteile auf einen Blick:

- Hoher Trockenmasse- und Methanertrag je Hektar
- Zugabe von 20–30 % Rüben in die Ration:
 - „schnelles Gas“ – und schnelle Säuren
 - ermöglicht feinregulative Anpassungen (Stichwort flexible Biogasproduktion)
 - erhöhte Prozessstabilität
 - Steigerung des Methangehaltes um bis zu zwei Prozentpunkte möglich
 - Verbesserung der Fließfähigkeit des Fermenterinhalt
 - Verminderung des Eigenstromverbrauchs

Letztlich ist der Neueinsatz von Rüben in Ihrer Biogasanlage unbedingt mit der prozessbiologischen Betreuung bzw. Ihrem betreuenden Labor abzustimmen. Denn die Ergebnisse und Erfahrungen aus den Partneranlagen der KWS können nicht verallgemeinert werden.

Bericht aus der Forschung

Flexible Biogasproduktion mit der Zuckerrübe

Kerstin Maurus, M.Sc., Dr. Sharif Ahmed und Prof. Dr. Marian Kazda



Die flexible Biogasproduktion ist ein wichtiger Teil der Energiewende in Deutschland, um wetterunabhängig Strombedarfsspitzen auffangen zu können. Durch Flexibilisierung über das Fütterungsmanagement, zum Beispiel mit Zuckerrüben, können damit Investitionen in den Speicherausbau reduziert werden.

Die Zuckerrübe eignet sich wegen des hohen Anteils an Kohlenhydraten (Zucker) besonders gut für eine schnelle Umsetzung im Fermenter. Hierzu wurde an der Universität Ulm ein Forschungsvorhaben über das Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft gefördert (BMEL/FNR FKZ 224-021-15).

Verglichen wurden drei verschiedene Mischungen aus Mais und Zuckerrüben mit reiner Maissilage in einem kontinuierlichen System. Bei einer Raumbelastung von $2,0 \text{ kg oTS m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ für alle Fermenter wurden die Mais-Zuckerrübe-Mischungen eingesetzt, siehe Versuchsvorgaben. Maissilage wurde immer stündlich in die Fermenter gegeben, die tägliche Menge der Zuckerrübensilage wurde auf zwei Portionen im Abstand von 12 Stunden aufgeteilt.

Versuchsvorgaben:

4 kontinuierliche Fermenter

CF1: Maissilage

Mais-Zuckerrübe-Mischungen:

CF2: 6 : 1

CF3: 3 : 1

CF4: 1 : 3

Raumbelastung: $2,0 \text{ kg oTS m}^{-3} \text{ d}^{-1}$

Durch die stoßweise Gabe der Zuckerrübe konnte in den Fermentern innerhalb von nur 10 Minuten ein Anstieg der Biogas- und Methanproduktion beobachtet werden (siehe Abb. a). Positive Ergebnisse erzielte vor allem der Fermenter CF3 mit einem oTS-Anteil von 25 % Zuckerrübensilage (siehe Abb. b). Direkt nach deren Zugabe stieg die Biogas- und Methanproduktionsrate um bis zu 70 % an.

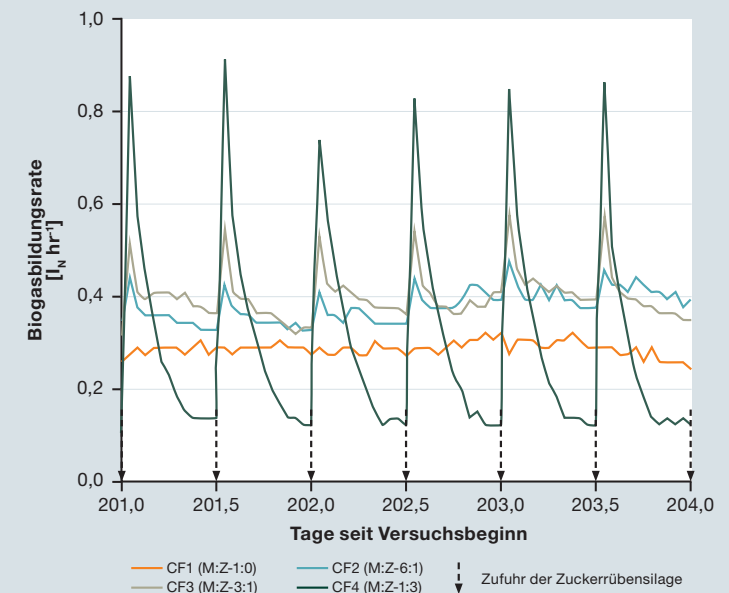


Abb. a: Die Abbildung zeigt die Ergebnisse aus einem kontinuierlichen Langzeitversuch. Abhängig vom Anteil der Zuckerrübensilage steigt die Biogasproduktion unmittelbar nach der Zuckerrübensilagezufuhr an.

Quelle: Maurus et al. 2020

Der Produktionspeak dauerte etwa vier Stunden. Während der gesamten Versuchszeit traten in diesem Fermenter keine Stabilitätsprobleme anhand des FOS/TAC-Kennwertes auf. Langfristige Probleme mit der Prozessstabilität (Abnahme der Erträge, steigende FOS/TAC-Werte) ergaben sich in der Mischung mit 75 % Rübenanteil. Der Anteil der stoßweise zugeführten Zuckerrübe im Verhältnis zum Co-Substrat darf also nicht zu hoch sein.

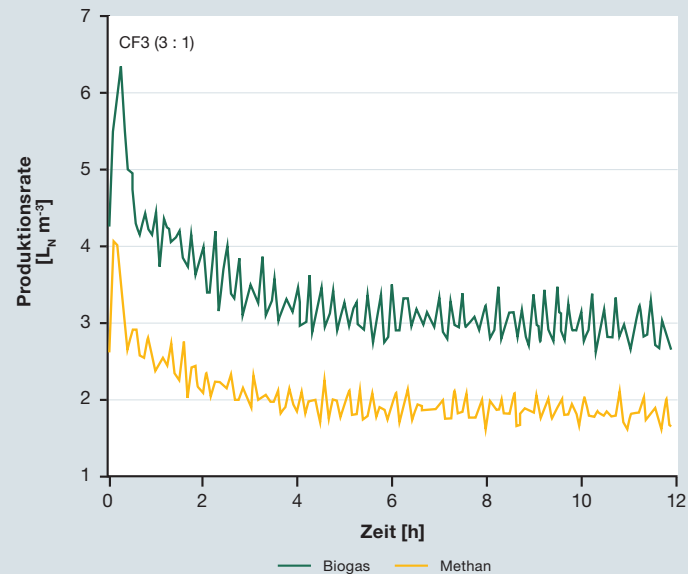


Abb. b: Anstieg der Biogas- und Methanproduktion direkt nach der stoßweisen Zugabe der Zuckerrübe im Laborfermenter CF3. Die Abbildung zeigt einen steilen Anstieg der Biogasbildung unmittelbar nach der Zuckerrübenzugabe. Die kleineren Ausschläge sind durch die Fermenterrührung bedingt.
Quelle: Maurus et al. 2020

Die Zuckerrübensilage ist nach unseren Ergebnissen ein ideales Substrat für eine Flexibilisierung der Biogasproduktion. Solange der Anteil an stoßweise zugeführter Zuckerrübe ein Viertel der Gesamt-oTS nicht überschreitet, sollte der Prozess langfristig stabil bleiben. Durch gezielte Gaben der Zuckerrübe lässt sich die Biogasproduktion auch kurzfristig steuern und somit auf den Bedarf des Strommarktes reagieren. Nichtsdestotrotz ist beim Einsatz von schnell verfügbaren Substraten eine intensive Prozesskontrolle wichtig, um gegebenenfalls frühzeitig eingreifen zu können.



Laborfermenter der Biogasforschungsgruppe an der Universität Ulm

Aufbereitung, Zerkleinerung und Lagerung von Rüben

Verfahren zur Aufbereitung und Zerkleinerung

Der Bereich der Technik zur Aufbereitung und Zerkleinerung von Rüben wurde in den vergangenen Jahren durch viele Innovationen geprägt. Bereiteten anhaftende Erde und vor allem Steine anfangs noch große Probleme, gibt es mittlerweile Maschinen mit guten Lösungsmöglichkeiten für diese Themen. Von leistungsfähigen Rübenwäschen über Rübenschnitzler bis hin zu Trockenentsteinern für den täglichen Gebrauch – all diese Geräte sind heute für die Rübe im Einsatz.

Erdanhang in der Biogasanlage – ein häufig überschätztes Problem

Viele BGA-Betreiber haben die Scheu vor dem Erdanhang verloren. Zum einen können die Rüben heute vor dem Abtransport standardmäßig mit Abreinigungsgeräten vorgereinigt werden. Zum anderen muss vorerst abgewogen werden, aus welchen Mineralien sich der anhängende Boden zusammensetzt. Ton- und Schluffpartikel bleiben durch Rühren, Pumpen und die Eigendynamik im Fermenter in der Schwebe, neigen zur Sorption an der Organik und werden zu großen Teilen wieder mit ausgetragen. Sand hingegen neigt zur Sedimentation. Praktiker bestätigen, dass aus Fermentern, die einmal entleert und von Sedimenten befreit wurden, im Wesentlichen Sand herausgeholt wurde.

Um den Erdanhang zu minimieren, ist es wichtig, die Rüben unter günstigen Rodebedingungen zu ernten. Die Rüben sollten im Anschluss nicht direkt verfüttert werden, sondern je nach Witterung ca. zwei Wochen in Mieten am Feldrand oder in der Nähe des Betriebes gelagert werden. Die Durchlüftung der Miete bewirkt in diesem Zeitraum, dass die anhaftende Erde antrocknen kann. Bei einer anschließenden Verladung durch eine Verlademaus (Abb. 11) oder aber auch mittels alten Verladebändern aus der Kartoffeltechnik (Abb. 12) wird der Anteil loser oder anhaftender Erde im Erntegut deutlich vermindert. Weitere Informationen zum Thema finden Sie im Abschnitt „Rüben in der Feldrandmiete lagern“.

Um einen möglichst großen Reinigungserfolg zu erzielen, können die Rüben auch mit Wasser gereinigt werden. Der Effekt der Nassreinigung wird hierbei von der Bodenart beeinflusst. Sandige Böden lassen sich besser abreinigen als tonige Böden. Eine Nassreinigung dient jedoch mehr der Entsteinung als der Reinigung. Die Steinabscheidung ist bei solchen Verfahren durch eine Dichtentrennung sehr effizient und verringert die Probleme durch Steine in der gesamten Prozesskette.

Auch die beim Erdanhang oft als vorteilhaft dargestellte Futterrübe ist nicht frei von Erde. Der Anteil der Pflanze, der mit dem Boden verwurzelt ist, ist oft stark mit Erde behaftet. Sorten mit hoher Scheitelhöhe und womöglich geringerem Bodenkontakt bringen wiederum häufig Probleme bei der Maschinenrodung mit sich. Moderne KWS Energierüben hingegen haben aufgrund ihrer glatteren Oberfläche und der flacheren Wurzelrinne einen geringen Erdanhang.



Abb. 11: Verladung mit der „Rübenmaus“
Quelle: ROPA



Abb. 12: Verladung mit einem Reinigungslader
Quelle: HOLMER



Abb. 13: Überbetriebliche Rübenwäsche

Steine – Gefahr erkannt, Gefahr gebannt!

Eine größere Herausforderung als die anhaftende Erde sind Steine im Erntegut. Besonders bei der anstehenden Zerkleinerung der Rüben können Steine einen erhöhten Materialverschleiß und Steinsplitter Schäden im weiteren Prozess verursachen. Sie müssen daher herausgereinigt werden. Wie auch beim Erdanhang sollte vom Standort her klar sein, ob und wie viele Steine im Erntegut sind. Zur Entsteinung stehen heute praktikable und sehr zuverlässige Lösungen zur Verfügung. Neben den bewährten Rübenwäschen gibt es auch bereits Waschröder sowie verschiedene Trockenentsteiner auf dem Markt.



Abb. 14: Rübenschnitzler

Bei einem mittleren bis hohen Besatz an Steinen im Erntegut eignen sich vor allem überbetriebliche Rübenwaschanlagen (Abb. 13), die die Steine über eine Dichtentrennung abscheiden. Da die gewaschenen Rüben jedoch nur eingeschränkt lagerfähig sind, ist darauf zu achten, dass diese Rüben möglichst zeitnah (max. 10 Tage nach dem Waschen) verarbeitet oder konserviert werden müssen.

Sind nur wenige Steine im Erntegut vorhanden, können die Rüben einfach mit Häckselschaufeln/ Rübenschnitzlern zerkleinert werden (Abb. 14 und 15). Vorteile hierbei sind der flexible Einsatzbereich und die Robustheit des Systems: Kommt ein größerer Stein in die Häckselwelle, blockiert diese und der Ölmotor bleibt stehen. Die Schaufel kann anschließend ausgekippt und der Stein entfernt werden. Je nach Einstellung erzeugt die Häckselwelle faust- bis streichholzschachtelgroße Schnitzel, die von der Größe her für die Fütterung auf den meisten Betrieben ausreichend klein sind. Bei geringem Steinbesatz stellt dieses Verfahren eine günstige Lösung zur Steintrennung dar.



Abb. 15: Häckselwelle

Zerkleinerung

Damit die Rübe in der Biogasproduktion eingesetzt werden kann, muss diese entweder in faustgroße Stücke gebrochen, grob zerkleinert oder gemustert werden. Zur Zerkleinerung gibt es heute praktikable und sehr zuverlässige Lösungen am Markt.

Abhängig vom Eintragungssystem der vorhandenen Biogasanlage müssen die Rüben vor oder während des Eintrags in den Fermenter zerkleinert werden. Sonst besteht die Gefahr, dass sich große Rübenstücke in Pumpen verklemmen oder Ab- und Überläufe verstopfen. Wie bereits im vorherigen Abschnitt erwähnt, ist eine einfache und günstige Möglichkeit zur Zerkleinerung von frischen und silierten Rüben der Einsatz von Häckselschaufeln bzw. „Rübenschnitzlern“ für den Traktor-, Teleskopklader- oder Radladeranbau. Eine weitere praktikable Alternative sind stationäre Trockenentsteiner (Abb. 16). Diese können auch direkt mit dem Eintragungssystem der Biogasanlage kombiniert werden. Für die Rübenbreierzugung sollte bei der Wahl der Zerkleinerungstechnik auf eine feine „Vermahlung“ des Substrates geachtet werden. Diese Vermahlung kann beispielsweise mit einem Holzschredder durchgeführt werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass bei wenig vorhandenen Steinen im Erntegut die erwähnten Schnitzelschaufeln eine sinnvolle Lösung darstellen. Auch sich auf dem Markt befindende stationäre Trockenentsteiner bieten heute die Möglichkeit, neben der Entsteinung die Rüben auf die gewünschte Partikelgröße zu zerkleinern.



Abb. 16: Der Biocracker – ein Trockenentsteiner und -zerkleinerer für Rüben
Quelle: indunorm

Etablierte Verfahren zur Rübenlagerung

Auf den folgenden Seiten wollen wir verschiedene Verfahren zur Rübenlagerung und -silierung ausführlicher vorstellen.

Übersicht der etablierten Verfahren der Rübenlagerung



Rübe frisch verfüttern und/oder Rübe konservieren

Rübe Solo



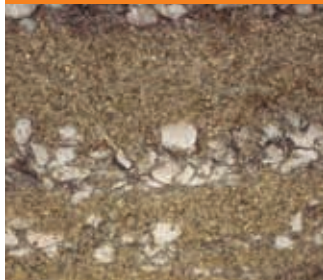
Breilagerung



Rübe und Partner



Mischsilagen



Rübe Solo



Silierung unzerkl. ZR



Alle Verfahren sind im Ablauf je nach Anforderung modulweise zusammenzustellen und durchführbar.

Einsatz frischer Rüben

Zwischen September und März des Folgejahres ist die Verwertung frischer Rüben in der Ration die einfachste und günstigste Möglichkeit und sichert die Versorgung über ein halbes Jahr. Wichtig ist es, die Rüben in dieser Zeit optimal zu lagern, um Lagerungs-/Atmungsverluste zu minimieren (Tab. 3).

Tab. 3: Lagerungsverluste von Zuckerrüben – Einflussfaktoren

			
Unsere Empfehlung zur optimalen Lagerung von Zuckerrüben	Anbau	Ernte	Lagerung
	■ gleichmäßiger Pflanzenbestand ■ gesunde Rüben ohne Stressbedingungen beim Anbau ■ standortangepasste Sortenwahl	■ gute Erntebedingungen (trocken, frostfrei) ■ Ernte vor Frostschädigung der Rüben ■ optimal köpfen (keine Blattreste, nicht zu tief) ■ saubere Rüben mit wenig Beschädigung, Spitzenbruch	■ gesunde Rüben einlagern ■ geringer Besatz (Erde, Unkräuter) in der Miete für optimale Durchlüftung ■ kurze Lagerungsperiode ■ optimale Mietenanlage (A-Form) ■ Abdecken mit Vlies und Windschutzmaterial zum Schutz vor Niederschlägen und Frost

Rüben in der Feldrandmiete lagern

Zuckerrüben veratmen während der Lagerzeit Zucker zur Energiegewinnung. Um beim Zwischenlagern der Zuckerrüben am Feldrand die Verluste möglichst gering zu halten, sollten einige Punkte beachtet werden. Die Rüben sollten schon beim Roden möglichst wenig verletzt werden, denn in den ersten Tagen nach der Ernte wird zusätzlich Zucker für die Wundheilung abgebaut. Je größer die Verletzungsfläche ist, desto größer sind folglich auch die Verluste in der Miete.

Ein weiterer wichtiger Punkt bei der Rübenlagerung ist die Temperatur. Die optimale Lagerungstemperatur liegt zwischen 2 und 8 °C. Im frühen Herbst ist es meist noch relativ warm. Daher sollte möglichst spät gerodet werden, um die Lagerungsverluste in Abhängigkeit von der Lagerungstemperatur und der Lagerungszeit zu vermindern. Um die Temperaturen in der Miete zu regulieren, ist eine gute Luftzirkulation besonders wichtig. Die optimale Mietenanlage ist dabei entscheidend: Die A-Form, ca. drei Meter hoch, sowie eine geringe Menge an Blattresten, Unkräutern und Erde in der Miete können die Durchlüftung in der Miete verbessern.

Neben zu hohen Lagerungstemperaturen können ebenso Frostschäden an den Rüben die Qualität reduzieren. Vor allem, wenn die Rüben wieder auftauen und im Anschluss für einen längeren Zeitraum bei hohen Temperaturen gelagert werden. Um die Rüben vor Frost zu schützen, sollte unbedingt auf eine optimale Mietenanlage und eine rechtzeitige Abdeckung mit Vlies und Windschutzmaterialien Wert gelegt werden. Hierbei sollte darauf geachtet werden, dass die Breitseite der Miete möglichst nicht in Richtung Norden ausgerichtet wird. Denn durch die fehlende Sonneneinstrahlung ist die Nordseite immer die kältere Seite der Miete und damit die für Frost anfälligere Seite. Eine Ausrichtung in Nord-Süd-Richtung ist demnach optimal. Eine Abdeckung der Rübenmieten mit Vlies ab Mitte November ist zu empfehlen. Frostgeschädigte Rüben gilt es möglichst schnell zu verwerten. Sobald die Temperaturen im Frühjahr zunehmen, sollten die Rüben verfüttert sein.

Rübensilierung für eine Ganzjahresversorgung

Um die Rübe über das ganze Jahr als Futtermittel bereitzustellen, sollte zumindest ein gewisser Anteil an Rüben einsiliert werden. Die Rübe lässt sich in Form von Silagen stabil und sicher lagern. Bedingt durch die mehrjährigen Erfahrungen, haben sich in diesem Bereich verschiedenste Verfahren etabliert. Grundsätzlich gilt, dass es keine einheitliche Standardlösung für alle Betriebe gibt. Abhängig von den örtlichen Bedingungen und Möglichkeiten, muss für jeden Betrieb die optimale Lagerungsvariante herausgefunden werden. Im Folgenden werden wir Ihnen einige Beispiele vorstellen.

Rüben können in unterschiedlichen Varianten einsiliert werden: solo als ganze Rübe im Fahrsilo oder im Schlauch, als Brei in Hochbehältern oder Lagunen oder zerkleinert mit unterschiedlichen Mischungspartnern als Mischsilage.

Beim Einsilieren der Rüben sollte beachtet werden, dass Rüben neben Zucker auch zu einem großen Teil aus Wasser bestehen. Dieses Wasser bildet bei der Konservierung 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. 17). Der größte Saftanfall erfolgt während der Silierphase und einige Wochen danach. Er nimmt dann kontinuierlich mit der Entnahme ab. In der Praxis zeigt sich, dass gewaschene Rüben deutlich mehr Sickersaft abgeben als ungewaschene. Der Sickersaft besteht aus gelösten organischen Bestandteilen von ca. 14 bis 16 % TS. Diese ist werthaltig und liefert eine Gasproduktion von 120 bis 140 m³ je m³ Frischmasse. Der Saft muss also aufgefangen und kontrolliert dem Fermentationsablauf zugeführt werden. Hierbei ist besonders interessant, dass der Sickersaft vollständig verwertet und ohne weitere Aufbereitung als direktes Substrat der Anlage zugeführt werden kann. Somit ist nicht nur die Rübe, sondern auch der Saft eine hochverdauliche Substratquelle für Biogas. Eine weitere Möglichkeit, den Sickersaft aufzufangen, ist das Anlegen von Mischsilagen.

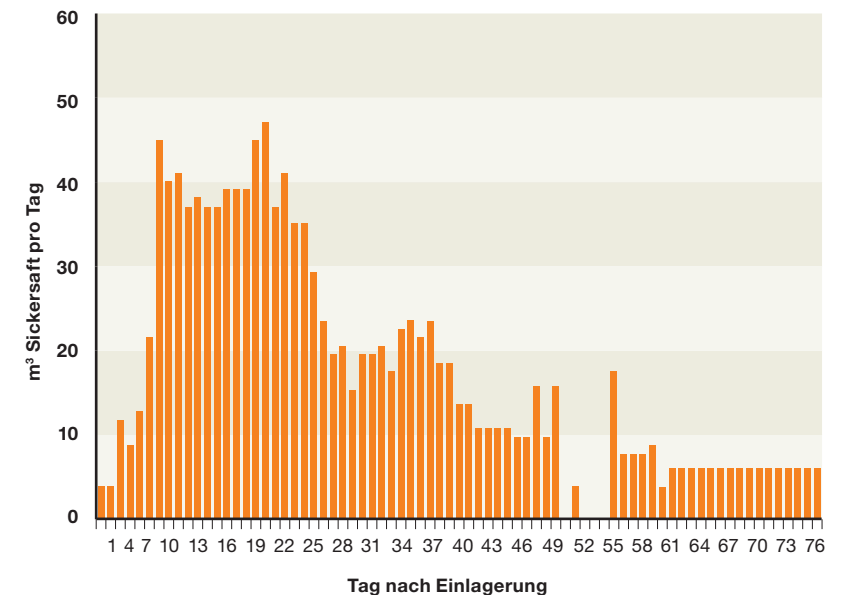


Abb. 17: Sickersaftmengen seit Einlagerung von 5.000 t gewaschener Rüben, 7 m hoch gestapelt
Quelle: Praxiserhebung

Mischsilagen

Gängige Praxis ist das gemeinsame Einsilieren von ganzen oder zerkleinerten Rüben mit einem anderen Futtermittel. In Mischsilagen kann zum einen der austretende Saft gebunden und zum anderen begrenzter Siloraum optimal genutzt werden. Bei der Anlage der Mischsilage sollte eine Unterlage von saugfähigem Material von ca. 0,5 bis 1 m Höhe ohne Rübenanteil ins Silo gelegt werden (Abb. 19). Dies ermöglicht eine Bindung des Sickersaftes, der bei der Rübensilierung anfällt. Für die Gesamtmischung sollte ein TS-Gehalt von 30 % angestrebt werden, dann ist die Mischung gut befahrbar und rückverdichtbar. Je trockener die Maissilage ist, umso höher kann die Rübenmenge kalkuliert werden. Und je intensiver die Rübe zerkleinert wird, umso schneller fällt der Sickersaft an.

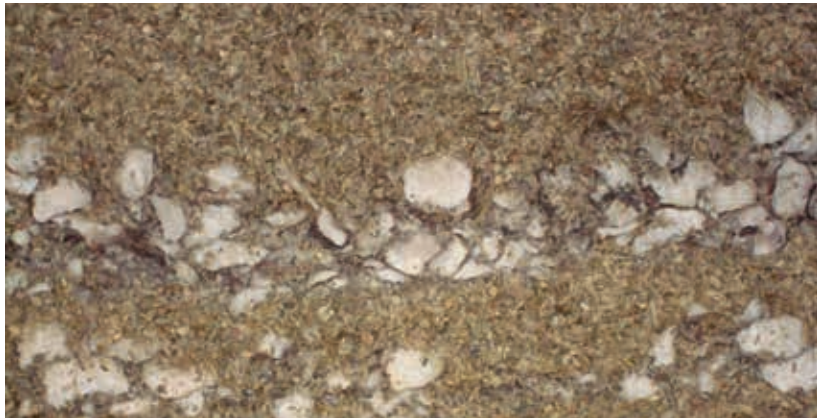


Abb. 18: Ganze Rüben siliert in Maissilage



Abb. 19: Anlage einer Mischsilage aus Maissilage und zerkleinerten Rüben

Mischungen mit Silomais, CCM oder LKS

Mit Mischsilagen aus Rüben und Silomais in bestehenden Fahrtilos werden schon seit Jahren sehr gute Erfahrungen gemacht (Abb. 18). Mischsilagen bedingen zudem immer einen Kompromiss für den einen oder anderen Mischungspartner und stellen hohe Ansprüche an die Logistik und Kombination der Ernteketten.

Werden Silomais und Rüben gemeinsam siliert, muss man sich für den optimalen Erntetermin einer Kultur entscheiden. Da meist der Mais den Termin der Ernte im September und Oktober vorgibt, werden der Rübe 6–8 Wochen Vegetationszeit 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, LKS oder Körnermaisstroh bieten aber aufgrund der hohen TS des Materials die Möglichkeit, mit „wenig Mais viel Rüben“ zu siliieren. Rechnerisch ist bei einem TS-Gehalt des LKS von 60 % ein Anteil von bis zu 70 % Rübe in der Mischung denkbar.

Silierung mit Körnermaisstroh

Eine weitere Möglichkeit für den Einsatz von Mischsilagen für die Biogasproduktion ist die Silierung mit Reststoffen wie **Körnermaisstroh** (Abb. 25). Die Gasausbeute (in l/kg oTM) einer Maisstrohsilage (50 % TS) kann mit bis zu 90 % der Gasausbeute einer Maissilage (33 % TS) angesetzt werden. Trotz ihres hohen Gasbildungspotenzials sind solche Stoffe durch die schwierige Bergung und Konservierung häufig noch ungenutzt. Obwohl Maisstroh unter guten Bedingungen sehr gut allein silierbar ist, erweisen sich die schwer planbaren und stark schwankenden TS-Gehalte und die geringe Dichte des Maisstrohs für eine Silierung nicht immer als vorteilhaft. Um einen schnellen und konservierenden Milchsäuregärverlauf zu gewährleisten, ist ein hoher Stärke- oder Zuckergehalt erforderlich. Hier bietet sich die Rübe mit relativ geringen TS-Gehalten von rund 25 % und einem hohen Zuckergehalt als idealer Mischungspartner an. Die Rüben können als Ganzes, gebröckelt oder als Rübenmus in der Mischsilage verwendet werden. Ein Vorteil ist der zusammenpassende Erntezeitpunkt der einzelnen Kulturen. Ein weiterer positiver Effekt ist, dass der anfallende Sickersaft der Rübe durch trockene Substrate wie Körnermaisstroh aufgenommen werden kann. Nicht zu unterschätzen sind jedoch die hohen Anforderungen an die Erntelogistik und das hohe Witterungsrisiko durch die späten Erntezeitpunkte dieser beiden Kulturen.

Trockenere Grasschnitte (ab 3. Schnitt) können durch die Einmischung von Rüben energetisch aufgewertet werden (Abb. 20 und 21). Dazu können Grassilagen zusammen mit Rüben als Gemisch umsiliert oder Rüben als Schicht auf die Grassilage aufgebracht werden (Abb. 22). Die Kombination mit Grassilage bietet vor allem in Hinblick auf die getrennte Ertekette und Entzerrung von Arbeitspitzen Vorteile. Zum optimalen Zeitpunkt der Rübenenernte liegt die Futterwertanalyse der Grassilage bereits vor und Mengen können konkret kalkuliert werden. Die Gesamtmischung sollte auch hier bei ca. 30 % TS liegen.



Abb. 20: Umsilieren von Grassilage (3. Schnitt, 55 % TS) mit Rüben (22 % TS)



Abb. 21: Anlage einer Mischsilage: Grassilage mit zerkleinerten Rüben, Verhältnis 43 : 57 %



Abb. 22: Silierung gebröckelter Rüben als Schichtsilage auf Grassilage (52 % TS)

Bei der Wahl des richtigen Mischungspartners kommt es neben der Verfügbarkeit und Preiswürdigkeit auch auf die Praktikabilität und die Anteile in der Ration an. Das Wasserbindungsvermögen ist ein wichtiger Parameter, um maximale Rübenanteile in der Mischung zu generieren. Aufgrund des geringen TS-Gehalts von Maissilagen ist dieses jedoch begrenzt und steigt mit zunehmender TS und kleinerer Partikellänge des eingesetzten Mischungspartners an.

Auch **kurz gehäckselt Stroh, Heu (2–3 cm), Getreidespreu** oder **Sojabohnenschalen** sind bei einigen Landwirten als Mischungspartner von Rüben oder Rübenblatt beliebt. In diesen Mischungen kann der Rübenanteil bis zu 90 % betragen, abhängig vom TS-Gehalt der eingesetzten Futtermittel (Abb. 23).

Das Anlegen von Mischsilagen ist neben dem Fahrsilo auch auf der Siloplatte oder im Folienschlauch möglich (Abb. 24).

Schlauchsilierung

Eine flexible Möglichkeit der Silierung unzerkleinerter Rüben bietet der Folienschlauch. Die Rübe sollte bei der Einbringung nicht beschädigt werden. Schlauchpressen mit Rotor sind daher nur bedingt geeignet. Die Einlagerung von ganzen Rüben in den PE-Schlauch erfolgt durch einen Schiebeschild. Je nach Schlauchdurchmesser und -länge können verschiedenste Mengen pro Schlauch gelagert werden. Austretendes Sickerwasser wird sich an der tiefsten Stelle sammeln und muss abgepumpt werden.



Abb. 23: Zerkleinerte Rübe (88 %) mit Weizenstroh (12 %)



Abb. 24: Mischsilage im Folienschlauch



Abb. 25: Silierung von Körnermaisstroh und Rüben

Eine Lagerung auf befestigtem Untergrund ist vorteilhaft, da dies die Entnahme besonders über die Wintermonate deutlich erleichtert. Während der Silierphase ist jedoch auf eine intensive Kontrolle zu achten. Denn durch die CO₂-Bildung neigt der Schlauch zum Aufblähen. Um hier rechtzeitig „Druck“ abzulassen, werden Ventile eingebaut, die bis zum Ende des Silierprozesses genutzt werden müssen.

Zerkleinerte Rüben können solo nicht im Schlauch gelagert werden, da der auftretende Sickersaft den Schlauch zum Platzen bringen würde. Sollen zerkleinerte Rüben im Schlauch silieren, so ist hier genau wie bei der Silierung im Fahrsilo ein Mischungspartner wie Mais, Gras oder beispielsweise Stroh zur Aufnahme des austretenden Sickersaftes notwendig.

Silierung ganzer Rüben

Eine weitere Variante, Rüben kostengünstig sowie verlustarm einzulagern, bietet die Einsilierung unzerkleinerter Rüben im Fahrsilo (Abb. 28). 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. Denn die Rübenmiete kann nicht mit Traktoren oder anderen Geräten rückverdichtet werden! Das Befahren würde die Rüben zudem stark beschädigen und so die anfallende Sicker-saftmenge deutlich erhöhen. Neben dem luftdichten Abschluss ist eine „Eigen-Verdichtung“ der Rüben durch eine Lagerhöhe von mindestens 5 m eine weitere Voraussetzung. Das Verfahren eignet sich daher für Rübenmengen ab ca. 1.500 t. Schon bei der Einlagerung der Rüben sollte darauf geachtet werden, dass eine Silo- oder Unterziehfolie nach Abschluss der Einlagerung unter den Rüben vom Rand her ca. 1 m weit rein geht. 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_2 nicht durch den „Luftpumpeneffekt“ (Abb. 26) 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 z. B. 5 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 (Abb. 27). Die Abdeckfolien müssen deshalb regelmäßig kontrolliert und nachgespannt werden.

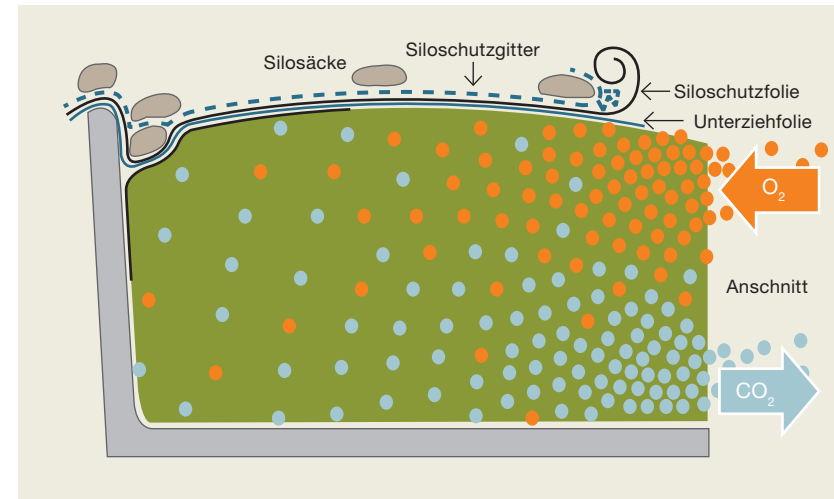


Abb. 26: Gasaustausch am geöffneten Silo
Quelle: PD Dr. A. Milimonka



Abb. 27: Anschnittwand ganzer silierter Rüben



Abb. 28: Dicht gelagerte und silierte Rüben



Abb. 29: Hochsilos



Abb. 30: Zerkleinerung der Rüben mit einem WILLIBALD-Schredder

Silierung von Rübenbrei

Bei der Silierung von Rübenbrei besteht die Möglichkeit, das Dosierverfahren fast vollständig zu automatisieren. Ist die Rübe homogen zerkleinert, so ist der Rübenbrei pumpfähig und einfach zu dosieren. Bei der Wahl der richtigen Pumpe ist viel Erfahrungsaustausch mit Praktikern notwendig. Betreiber berichten, dass die Standfestigkeit und die Lebensdauer der Entnahmepumpen spezielle Technik und Qualität erfordern, um eine sichere tägliche Beschickung der Biogasanlage zu gewährleisten. Nicht jede Pumpe ist bedingungslos geeignet und kommt mit der oft wechselnden Zusammensetzung (Spreizung: 17–24 % TS) des Materials zurecht.

Brei im Hochbehälter

Vollständig und homogen zerkleinert lassen sich Rüben als Brei entweder im Hochsilo, in beschichteten Betonbehältern oder in emaillierten Behältern gut silieren (Abb. 29). Dabei ist unbedingt auf die Materialzulassung und die Säurebeständigkeit der eingesetzten Baumaterialien zu achten. Betonbehälter können beispielsweise durch Säureschutzplanen oder Epoxidharz-Beschichtungen geschützt werden. 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 (Abb. 30). Je nach Steinbesatz im Erntegut lassen sich Holzschredder gut einsetzen, die bei geringem Fremdkörperanteil auch Steine kleinmahlen können. Die oft scharfkantigen Bruchstücke führen aber z. B. bei den Pumpen zu höherem Verschleiß. Andere Techniken bedingen eine vorherige Steintrennung. Restmengen an Rübenbrei bleiben möglicherweise in den Behältern zurück.

Brei im Folienerdbecken

Eine viel diskutierte Variante in der Praxis ist die Lagerung von Rübenbrei in Folienerdbecken („Lagunen“) (Abb. 31). Das Verfahren ist zwar kostengünstiger als die Hochsilovariante, doch kaum bekannt ist bislang, wie hoch die tatsächlichen Energieverluste durch die meist fehlende Abdeckung sind. Und auch die regionalen Gegebenheiten zur Genehmigungsfähigkeit müssen stets beachtet werden.

Zur Abdeckung der Lagunen existieren jedoch bereits Lösungen. Beispielsweise können Abdeckfolien direkt mit der Lagunenwand verschweißt werden. Die Lagune wird dann wie eine „Wärmflasche“ gefüllt und die Abdeckfolie hebt sich mit der Füllung an (Abb. 32).

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. In der Praxis haben sich Exzenterpumpen bewährt, die direkt in die Lagune eingetaucht werden. Restmengen an Rübenbrei bleiben möglicherweise in den Folienbecken zurück.



Abb. 31: Einfache Befüllung des Folienbeckens direkt mit dem Schredder



Abb. 32: Abdeckung des Folienbeckens, um Verluste zu reduzieren

Tab. 4: Übersicht der etablierten Verfahren zur Ganzjahresversorgung mit Rüben

Silierung von Rübenbrei			Mischsilagen		Silierung ganzer Rüben	
Kurz- beschrei- bung	Silierung von homogenem, pumpfähigem Rübenbrei		Mischungen mit Silomais, CCM oder LKS		unzerkleinerte Rüben im Fahrsilo oder im Folienschlauch	
	Edelstahl-/ Betonbehälter	Folien- becken			Fahrsilo	Folienschlauch
Empfohlener Anwendungsbereich	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
Umgang mit Steinen	keine/wenige	viele	keine/wenige	viele	keine/wenige	viele
	„steintolerante“ Häckseltechnik	Stein- trennung durch Nass- wäsche	Einsatz „stein- toleranter“ Häcksel- schaufeln	Steintrennung durch Nass- wäsche vor der Einbringung	Einsatz „stein- toleranter“ Häcksel- schaufeln	Entsteinug durch Nass- wäsche vor Silierung oder Trockenent- steinung nach Silierung

Fazit

Die Zuckerrübe gehört zu den etablierten landwirtschaftlichen Kulturpflanzen mit einem sehr hohen Trockenmasseertrag. Der große züchterische Fortschritt führt bei der Zuckerrübe zu einem stetigen Anstieg des Ertragspotenzials.

Als tiefwurzelnde und nährstoffeffiziente Kulturart lockert die Zuckerrübe Fruchtfolgen auf, schafft durch die lange vegetative Wachstumsphase einen Risikoausgleich bei der Substratversorgung und führt durch ihre hohe Nährstoffeffizienz zu einer ausgeglichenen bis negativen Stickstoffbilanz. Dazu erhöht die Zuckerrübe die Diversität im Landschaftsbild und bietet darüber hinaus vielen Wildtieren über den Sommer Schutz und einen Lebensraum.

Durch den engen Zusammenhang zwischen Zucker- und Trockenmasseertrag weisen Sorten mit sehr hohen Zuckererträgen auch sehr hohe Trockenmasseerträge auf. Die Kombination aus hohem Trockenmasse- und Methanertrag und dem hohen Gehalt an schnell umsetzbaren Substanzen kann einen Beitrag zur Bewältigung der Herausforderungen im Bereich der Biogasproduktion leisten.

Wir hoffen, dass wir Ihnen mit der Broschüre hilfreiche Tipps und Anregungen für den bestehenden Einsatz von Rüben in Ihrem Betrieb liefern konnten oder Ihr Interesse für den Neueinsatz in der Biogasproduktion geweckt haben.

Sprechen Sie uns bei Fragen oder für weitere Informationen rund um das Thema Rüben in der Biogasanlage gerne an!

Das passende KWS Energierüben-Saatgut finden Sie unter: www.kws-ruebensaatgut.de



Die Rübe, ein richtiges Multitalent als ...

- **... Sauerstoffproduzent:** Ein Hektar Zuckerrüben produziert rund drei Mal so viel Sauerstoff wie ein Hektar Wald. (Bürcky 2009).
- **... CO₂-Bindungsquelle:** Ein Hektar Zuckerrüben bindet den CO₂-Ausstoß von 10.000 Litern Benzin, dies entspricht einer gefahrenen Strecke von ca. 147.000 Kilometern.
- **... Energiequelle:** Ein Hektar Zuckerrüben liefert bis zu 30.000 Kilowattstunden elektrische Leistung, wodurch sechs Familien ein Jahr lang mit Strom versorgt werden können – und eine Großfamilie mit Wärme.
- **... Milchleistungsfutter:** Ein Hektar Zuckerrüben liefert die Energie für die Laktation von drei Kühen, dies entspricht einer Milchmenge von ca. 35.000 Litern.

Faustzahlen

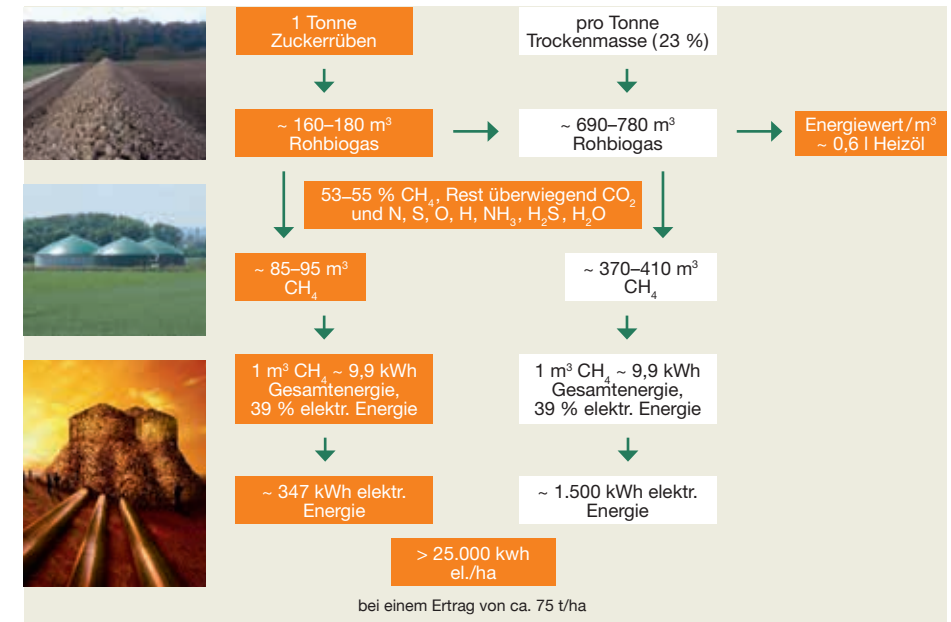


Abb. 33: Faustzahlen zum Biogas-, Methan- und Stromertrag aus einer Tonne Zuckerrüben
Quelle: nach eigenen Berechnungen

Gärreste

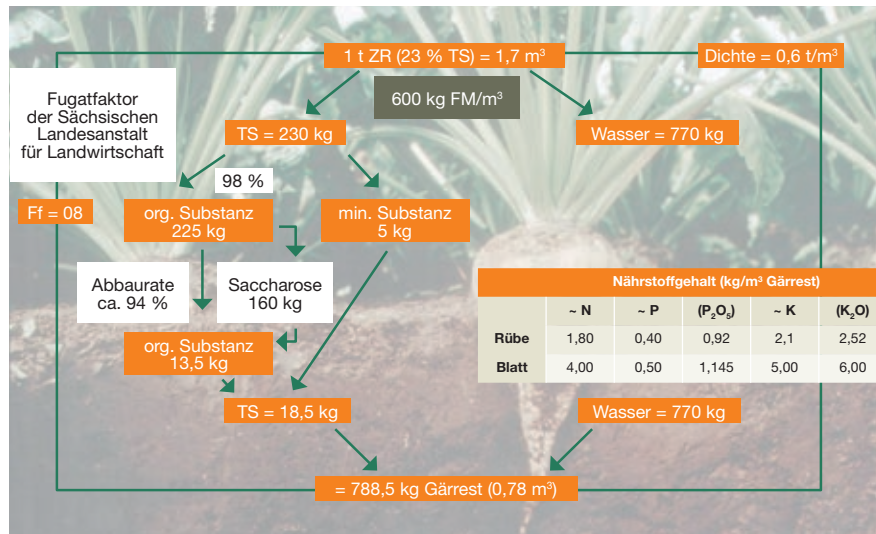


Abb. 34: LWK Niedersachsen, Daten berechnet nach: KWS, Zuckerindustrie 118 (1993)

Nährstoffgehalt Zuckerrübe

Nährstoff	kg/dt FM
Stickstoff (N)	0,18
Phosphor (P ₂ O ₅)	0,10
Kalium (K ₂ O)	0,25

Abb. 35: Nährstoffgehalt der Zuckerrübe
Quelle: LWK NRW

Literaturverzeichnis

BÜRCZY, K.: Die Zuckerrübe und ihre Leistungen für die Umwelt. Südzucker AG (BISZ online) 2009. https://bisz.suedzucker.de/wp-content/uploads/2016/05/2009_02_16_Thema_Umweltleistungen_der_Zuckerruebe.pdf

EDER, B.; SCHULZ, H. (2006): Biogas Praxis — Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele, Wirtschaftlichkeit. Ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg (3., vollst. überarb. u. erw. Aufl.).

HOFFMANN, C.; STARKE, P.; MÄRLÄNDER, B. (2012): Trockenmasse- und damit Zuckerertrag als Kriterium für den Biogasertrag von Zuckerrüben. Zuckerindustrie 137, S. 530–538.

MÄRLÄNDER, B. (2006): Beta-Rüben – ein nachwachsender Rohstoff für die Ernährung, Industrie und Energie. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwiss. 18, S. 90–91.

MÄRLÄNDER, B.; MAHLEIN A.-K.; FENNER, J.; BLECKWENN, H. (2018): DLG Merkblatt 435 – Die Rübe startet durch. DLG e. V. (Hrsg.).

SCHIWECK, H.; SCHWARZ, T.; VAN DER POEL, P. W. (1993): Zuckertechnologie. – Rüben- und Rohrzuckerherstellung. Verlag A. Bartens KG, Berlin.

Wirtschaftliche Vereinigung Zucker e. V. (WVZ), Verein der Zuckerindustrie e. V. (VdZ): Rübenverarbeitung und Zuckerherzeugung in Deutschland. <https://www.zuckerverbaende.de/zuckermarkt/zahlen-und-fakten/zuckermarkt-deutschland/ruebenanbau-zuckerherzeugung.html>