



Philipp Starke (Autor)

**Nutzung von Zuckerrüben für die Biogaserzeugung -
Definition der Qualität sowie ertragsrelevante
Parameter von Rübe, Blatt und Schossern**

Aus dem
Institut für Zuckerrübenforschung
Göttingen

Philipp Starke

**Nutzung von Zuckerrüben für die
Biogaserzeugung**
–
**Definition der Qualität sowie
ertragsrelevante Parameter
von Rübe, Blatt und Schossern**

42/2014



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/6846>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentzsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>



Prolog

Einleitung

Die Produktion von Strom und Wärme aus Biogas hat sich in den letzten Jahren zu einer bedeutenden regenerativen Energiequelle in Deutschland entwickelt. Derzeit trägt Biogas mit 6 % zur gesamten Stromproduktion bei (FNR, 2012). Die Biogasnutzung spielt auch im Rahmen der im Jahr 2011 eingeleiteten Energiewende, die auf eine Abkehr von fossilen hin zu regenerativen Energiequellen abzielt, eine zentrale Rolle. Bis zum Jahr 2020 sollen 35 % des Stroms aus regenerativen Quellen stammen, im Jahr 2050 sogar 80 % (EEG, 2011).

Zu diesen regenerativen Quellen zählen neben der Biogasproduktion im Wesentlichen die Windenergie, Wasserkraft sowie Photovoltaik. Allerdings ist gerade die Stromerzeugung aus Wind- und Solarenergie witterungsbedingten Schwankungen unterworfen, sodass eine Regelung der Stromproduktion nur bedingt möglich ist. Demgegenüber hat die Biogasnutzung den Vorteil, dass eine ständige, grundlastfähige Energieproduktion bis hin zur Bereitstellung von Regelenergie möglich ist. Stehen Reststoffe oder Exkremate wie Gülle und Mist zur Verfügung, kann bis dahin ungenutztes energetisches Potenzial verwertet werden. Beim Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen wird bei der energetischen Verwertung lediglich die Menge an Kohlenstoff freigesetzt, die während des Wachstums der Pflanzen gespeichert wurde. Es liegt demnach ein Kreislauf und keine zusätzliche Belastung des Kohlenstoffdioxidhaushalts vor.

In der Biogasanlage findet ein natürlicher Prozess unter anaeroben Bedingungen statt. Dabei zersetzen Bakterien organische Bestandteile im Wesentlichen zu Kohlenstoffdioxid und Methan (Kaltschmitt et al., 2009). Dieser Prozess verläuft in vier Stufen (Eder & Schulz, 2007). Während der ersten Phase, der Hydrolyse, werden langkettige Moleküle (Fette, Kohlenhydrate, Proteine) in kurzkettige Bestandteile zerlegt. Im Folgenden werden aus diesen Substanzen zuerst organische Säuren (Phase der Säurebildung) und dann Essigsäure gebildet (Phase der Essigsäurebildung). Methanbildende Bakterien bilden abschließend aus Essigsäure das Biogas (Methanbildungsphase). Der Verlauf und die Geschwindigkeit der Methanbildung hängen im Wesentlichen von der Zusammensetzung der zu vergärenden Substrate ab (Amon et al., 2007). Bei schwer abbaubaren Substraten ist die Hydrolyse der geschwindigkeitslimitierende Faktor. Liegt allerdings ein hoher Anteil leicht umsetzbarer Bestandteile vor, wird der Prozess eher von der Methanbildung begrenzt (Kaltschmitt et al., 2009). Dabei besteht die Gefahr, dass durch eine schnelle Substratumsetzung in den ersten drei Stufen der Biogasbildung eine Anreicherung von Säuren stattfindet, die die Methanbildung hemmen oder gar zum Erliegen bringen.



Den natürlichen Prozess der Methanbildung versucht man sich in Biogasanlagen zunutze zu machen. Unter konstanten Bedingungen und durch eine ständige Zugabe von Substrat soll eine kontinuierliche Biogasproduktion stattfinden. Dieses Biogas, das zu einem Anteil von 50-70 % aus Methan besteht (Weißbach, 2009), kann energetisch genutzt werden.

Zur Etablierung regenerativer Energien wie Biogas wurde in Deutschland im Jahr 2000 das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) eingeführt. Im Rahmen des EEG wird eine Vergütung für die erzeugte elektrische Energie aus regenerativen Quellen für 20 Jahre festgelegt (EEG, 2011). Dadurch besteht für Anlagenbetreiber Planungssicherheit für diesen Zeitraum. Seit der Einführung des EEG erfolgten mehrere Novellierungen, wobei für die Produktion von Strom aus Biogas eine wesentliche Neuerung ab 2004 von besonderer Bedeutung war. Durch die Einführung eines Bonus bei der Vergärung nachwachsender Rohstoffe (Nawaro-Bonus) (EEG, 2004) ist seither ein Anstieg der Anbaufläche von Energiepflanzen auf aktuell 1,1 Mio. ha zu verzeichnen (FNR, 2013). Gleichzeitig stieg die Anzahl an Biogasanlagen auf ca. 7.700 im Jahr 2013 an (Abb. 1).

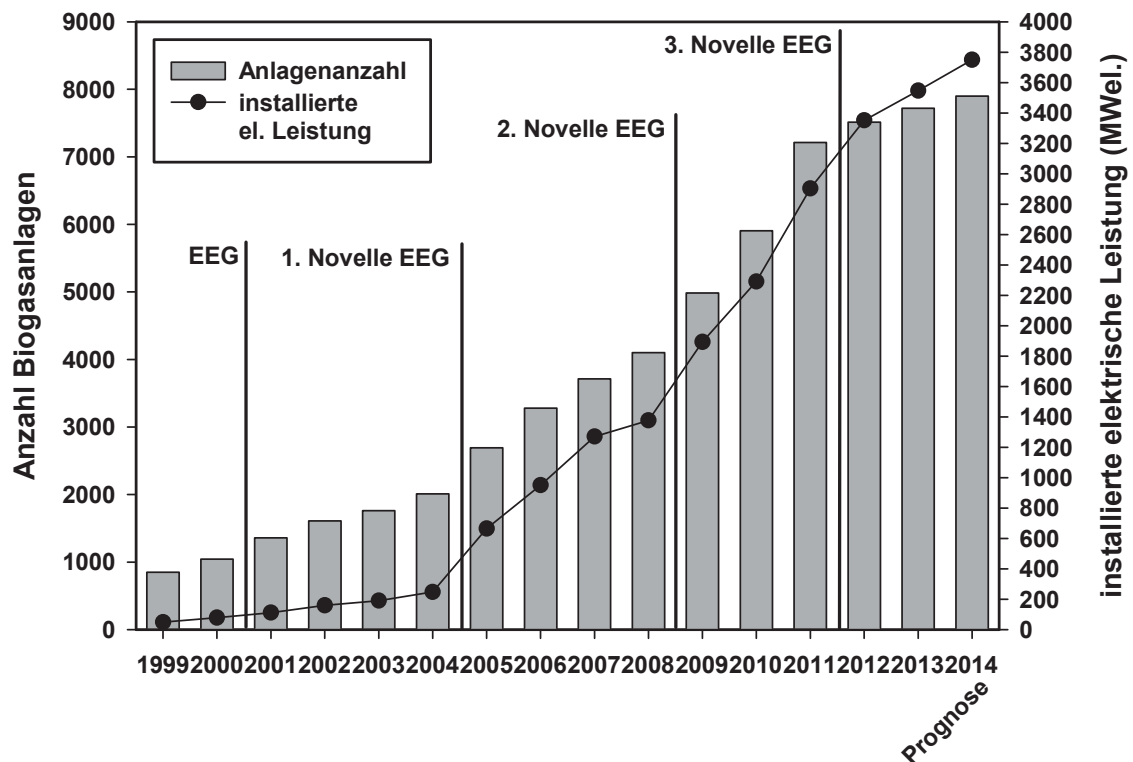


Abb. 1: Anzahl Biogasanlagen sowie installierte elektrische Leistung in Deutschland (Fachverband Biogas, 2013)

Eine besondere Bedeutung als Energiepflanze hat Mais, da einerseits hohe Erträge möglich sind, andererseits bekanntes Wissen zu Anbau und Lagerung aus der Silomaisproduktion für die Tierfütterung genutzt werden kann. Der durchschnittliche Trockenmasseertrag liegt bei Mais bei ca. $17,5 \text{ t ha}^{-1}$, woraus sich ein Biogasertrag von $8900 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ergibt (Becker et al.,



2007). Damit wird häufig ein Niveau über dem anderer nachwachsender Rohstoffe erzielt. Eine weitere Studie beschreibt sogar einen Trockenmasseertrag bei Silomais von 30 t ha^{-1} mit Biogaserträgen von $18.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Amon et al., 2007a). Andere Energiepflanzen wie Zuckerrüben, Sonnenblumen oder Grünroggen erreichten in dieser Studie maximal 15 t TM ha^{-1} bzw. $7500 \text{ m}^3 \text{ Biogas ha}^{-1}$. Erträge für Roggenganzpflanzen auf einem ähnlichen Niveau (15 t TM ha^{-1} , $8300 \text{ m}^3 \text{ Biogas ha}^{-1}$) beschreiben Hübner et al. (2011).

Allerdings ist der Biogasertrag nicht nur vom Trockenmasseertrag, sondern auch von der Trockenmassezusammensetzung abhängig, da die Rohnährstoffe (Rohasche, Rohfaser, Rohfett, Rohprotein und N-freie Extraktstoffe) unterschiedliche spezifische Biogaserträge (Normliter kg^{-1} oTS) bilden (Baserga, 1998).

Untersuchungen hinsichtlich der Trockenmassezusammensetzung und deren Einfluss auf die Biogasbildung von Mais führten Schittenhelm (2008) sowie Kruse et al. (2008) durch. Dabei wird deutlich, dass im Zeitverlauf der Trockenmassegehalt und der Gehalt an Stärke in der Gesamtpflanze ansteigt, wodurch sich höhere spezifische Biogaserträge erklären lassen. Allerdings nimmt gleichzeitig der Gehalt an Lignin in der Restpflanze zu, sodass sich die Verdaulichkeit des Materials und damit der spezifische Biogasertrag verringert. Daher muss die Ernte so terminiert werden, dass ein Optimum aus spezifischem Biogasertrag und Biogasertrag pro Hektar erreicht wird. Es wird somit deutlich, dass bei Mais bereits wesentliche Untersuchungen hinsichtlich der Eignung als Biogassubstrat durchgeführt sind. Für verschiedene Zuckerrübensorten und -qualitäten liegen jedoch bisher keine Untersuchungen hinsichtlich der Trockenmassezusammensetzung und des daraus resultierenden spezifischen Biogasertrages vor. Daher sind solche Untersuchungen an Zuckerrüben von Bedeutung, um eine exakte Beschreibung des Substrates Zuckerrübe zu erlangen und sie als Bestandteil des Substratmix von Biogasanlagen zu etablieren.

Zu einer Änderung des Substratmix, d.h. einer Abnahme des Maiseinsatzes und Zunahme alternativer Kulturen soll die Novellierung des EEG im Jahr 2012 führen. Darin wurde der Einsatz von Mais sowie Getreidekorn als Biogassubstrat für Anlagen, die ab dem Jahr 2012 in Betrieb gehen, auf 60 % eingeschränkt (EEG, 2011). Die somit auftretende Lücke in der Substratversorgung ist daher mit anderen Substraten zu schließen.

Aufgrund hoher Rübenerträge stehen Zuckerrüben dabei im Fokus. Der Einsatz von Zuckerrüben als Biogassubstrat war allerdings lange von untergeordneter Bedeutung und betrug im Jahr 2012 nur 3 % der eingesetzten Frischmasse der nachwachsenden Rohstoffe (FNR, 2013a). Für Zuckerrüben war jedoch auch bis zum Jahr 2009 keine Bonuszahlung (Nawarobonus) im EEG festgeschrieben, zudem ging beim Einsatz von Zuckerrüben der Nawarobonus für die gesamte Anlage verloren. Daher war der Einsatz von Zuckerrüben als Substrat



häufig nicht wirtschaftlich. Ab 2009 erfolgte die Aufnahme von Zucker- und Futterrüben als bonusberechtigtes Substrat im EEG (EEG, 2009). Daher ist die Zuckerrübe für die Biogasproduktion ein relativ neues Substrat, weshalb bislang nur wenige wissenschaftliche Untersuchungen hinsichtlich der Zusammensetzung und Gasbildung vorliegen.

Bei Untersuchungen von Zuckerrüben als Biogassubstrat gilt allerdings zu beachten, dass es Unterschiede zwischen frischem und siliertem Material gibt (Weißbach, 2009a). Während des Prozesses der Silierung werden leicht verfügbare Substanzen wie Zucker in Säuren und Alkohole umgewandelt (Weißbach, 2009b). Diese haben zwar einen höheren spezifischen Biogasertrag als das Ausgangssubstrat (Kohlenhydrate), jedoch entstehen bei der Umwandlung auch Verluste in Form von Sickersaft und Veratmung (Müller und Bauer, 2006, Weißbach et al., 2013), sodass der Biogasertrag insgesamt sinkt. Zusätzlich können mögliche Unterschiede zwischen Zuckerrübensorten und -qualitäten durch die Silierung überdeckt werden. Daher ist für die Analyse des spezifischen Biogasertrages verschiedener Qualitäten frisches Material zu bevorzugen.

Untersuchungen von Zuckerrüben und weiteren nachwachsenden Rohstoffen führten Amon et al. (2007) durch. Die Trockenmassezusammensetzung wurde analysiert, jedoch lediglich für silierte Zuckerrüben. Mit 84 % hatten die N-freien Extraktstoffe den höchsten Anteil an der Trockenmasse. Die leichte Umsetzung der Zuckerrübetrockenmasse führte zu einer schnellen Gasbildung im Vergleich zu anderen nachwachsenden Rohstoffen. Bei diesen Untersuchungen wurden allerdings keine unterschiedlichen Zuckerrübensorten und -qualitäten analysiert, sondern es fand lediglich ein Vergleich von Zuckerrüben und anderen Substraten statt. Ein möglicher positiver Einfluss des Zuckergehaltes auf den spezifischen Biogasertrag wurde nicht untersucht.

Zusätzlich zu Zuckerrüben können auch Futterrüben als Substrat genutzt werden. Aufgrund ihrer hohen Frischmasseerträge wurde häufig sogar von höheren Biogaserträgen als bei Zuckerrüben ausgegangen. Bisher wurde in wissenschaftlichen Untersuchungen lediglich auf die spezifischen Biogaserträge von (silierten) Zucker- und Futterrüben eingegangen (Hasan, 2003), nicht aber auf die Biogaserträge pro Hektar. Für die optimale Nutzung der vorhandenen Flächen sind aber Pflanzen mit den höchsten Biogaserträgen zu bevorzugen.

Um einen möglichst hohen Biogasertrag pro Hektar zu erreichen, kann zudem nicht nur die Rübe, sondern auch das Rübenblatt genutzt werden, sodass nahezu die gesamte gewachsene Biomasse als Substrat zur Verfügung steht. Amon et al. (2007b) fanden für Zuckerrübenblatt einen Ertrag von $7,2 \text{ t oTS ha}^{-1}$. Die die Trockenmasse des Blattes insbesondere durch geringe Gehalte an leicht umsetzbaren Substanzen wie Zucker gekennzeichnet ist



(Hoffmann et al., 2008, Beiß, 1986), ist allerdings von einer langsameren Gasbildung auszugehen.

Zusätzlich zum Ertrag muss aber auch die Substratbereitstellung kontinuierlich sichergestellt sein, um den Substratbedarf von Biogasanlagen im Jahresverlauf zu decken. Daher muss die geerntete Biomasse konserviert werden. Bei der Nutzung von Zuckerrüben für die Zuckerproduktion findet eine Lagerung in Feldmieten lediglich für einige Monate während des Winters (November bis Januar) statt. Für den Bereich der Biogasproduktion müssen daher neue Lagerungsmöglichkeiten untersucht werden, die eine Substratbereitstellung über das ganze Jahr ermöglichen. Eine zusätzliche Bereitstellung von Zuckerrüben kann sich durch die Überwinterung im Feld und anschließender Ernte im Frühjahr ergeben. In diesem Fall kann die Lagerung in Feldrandmieten ausreichend sein.

Eine andere Möglichkeit zur ganzjährigen Substratbereitstellung kann sich durch den Anbau von Winterrüben ergeben, die im Herbst gesät und im Frühsommer geerntet werden. Durch den Übergang von der vegetativen in die generative Phase werden große Mengen an Blatt bzw. Schossern gebildet. Daraus können sich bereits im Frühsommer Gesamttrockenmasseerträge von über 10 t ha^{-1} ergeben (Hoffmann & Kluge-Severin, 2010). Vergleichende Untersuchungen verschiedener Zuckerrübensorten hinsichtlich des Trockenmasseertrages von Rübe und Schosser sowie der Einfluss der Stickstoffdüngung wurden jedoch bisher nicht durchgeführt.

Bei Zuckerrüben, die im Frühjahr gesät werden, kann durch die Stickstoffdüngung der Ertrag und die Qualität beeinflussen werden. Steigende N-Düngung führt besonders zu einem steigenden Blattertrag, aber gleichzeitig zu sinkenden Zuckergehalten (Malnou et al., 2008). Zusätzlich ist ein erhöhter Amino-N-Gehalt festzustellen, der zu einer geringeren Zuckerausbeute und höheren Zuckerverlusten in der Melasse führt (Märländer, 1990). Bei einer Nutzung von Rübe und Blatt, aber auch bei ausschließlicher Nutzung der Rübe, könnte zum Erreichen des maximalen Biogasertrages daher eine höhere Düngung als bei der Produktion von Rüben für die Zuckererzeugung sinnvoll sein. Demzufolge ist der Einfluss der N-Düngung auf Ertrag und Qualität von Zuckerrüben für die Nutzung als Biogassubstrat zu ermitteln.

Diese wesentlichen Fragen, die bei der Nutzung von Zuckerrüben, Zuckerrübenblatt und Futterrüben als Biogassubstrat auftreten, sollen daher in diesem Projekt näher erörtert werden, um Aussagen hinsichtlich der optimalen Qualität für die Vergärung zu treffen.



Ziele des Projektes

Die Ansprüche an den Rohstoff Zuckerrübe für die Zuckerproduktion hinsichtlich der inneren und äußeren Qualität sind hinreichend bekannt (Hoffmann, 2006). Die Qualität für Zuckerrüben beim Einsatz als Biogassubstrat ist jedoch noch nicht definiert worden. Bisherige Untersuchungen (Amon et al., 2007) verglichen lediglich Zuckerrüben mit anderen Substraten. Ein Vergleich von verschiedenen Zuckerrübensorten und -qualitäten fand bisher jedoch nicht statt. Da Zuckerrübensorten insbesondere durch unterschiedliche Zuckergehalte beschrieben werden können, soll in dieser Studie geklärt werden, wie sich diese unterschiedlichen Gehalte auf die Biogasbildung auswirken. Ziel dieses Projektes war es daher, die Anforderungen an die Qualität für die Vergärung zu analysieren. Daher wurde versucht, mit einer großen Anzahl von Sorten, Stickstoffdüngungsstufen, Ernte- und Aussaatterminen eine möglichst breite Variation von Qualitäten, insbesondere von verschiedenen Zuckergehalten, zu erreichen.

Um jedoch die genutzte Ackerfläche optimal zu verwerten, ist nicht nur entscheidend, mit welchen Sorten und Qualitäten die höchsten spezifischen Biogaserträge, sondern auch, wie die höchsten Biogaserträge pro Hektar erreicht werden können. Mithilfe von Korrelationen zwischen dem Biogasertrag pro Hektar und bekannten Ertragsparametern sollte ein Zusammenhang ermittelt werden, sodass ohne aufwändige Batchverfahren der Biogasertrag pro Hektar schnell und einfach abgeschätzt werden kann.

Durch Rechenmodelle (Baserga, 1998; Weißbach, 2009a) besteht weiterhin die Möglichkeit, den spezifischen Biogasertrag von Substraten zu bestimmen. Dabei wird von einem vergleichbaren Substratabbau in der Biogasanlage und im Verdauungstrakt der Wiederkäuer ausgegangen (Baserga, 1998). Es ist jedoch bisher nicht untersucht worden, ob diese Modelle auch den potenziellen Einfluss verschiedener Zuckerrübenqualitäten widerspiegeln. Daher wurden die bekannten Rechenmodelle mit eigenen Berechnungsansätzen verglichen.

Zusätzlich zur Nutzung des Rübenkörpers kann das Rübenblatt als Biogassubstrat verwendet werden. Da allerdings bisher noch keine Untersuchungen hinsichtlich der Trockenmasseszusammensetzung sowie der Gasbildung vorlagen, war es ein Ziel dieser Arbeit, dies zu analysieren.

Weiterhin wurde darauf abgezielt, den Rohstoff Zuckerrübe durch Veränderung der Erntetermine über einen längeren Zeitraum zur Verfügung zu stellen. Anstatt einer Rübenernte im Herbst, sollten die Rüben den Winter im Feld überstehen, um dann im darauffolgenden Frühjahr geerntet zu werden. Da während der Überwinterung der Vernalisationsreiz ausgelöst wird, gehen Zuckerrüben im zweiten Jahr in die generative Phase über (Elliot & Weston, 1993) und können mit den Schossen große Mengen an Biomasse bilden. Die Erträge sowie



die Zusammensetzung von überwinternden Zuckerrüben und Schossern wurden bisher noch nicht analysiert.

Eine weitere Möglichkeit kann sich durch den Anbau von Winterrüben, die im Sommer ausgesät und im darauffolgenden Frühsommer geerntet werden, ergeben. Die Zusammensetzung sowie der Verlauf der Biogasbildung von Winterrüben sind jedoch auch noch nicht untersucht.

Da eine unterschiedliche Zusammensetzung der untersuchten Substrate erwartet wurde, war es das Ziel, den Einfluss dieser Zusammensetzung auf die Biogasbildung darzustellen.

Gliederung der Arbeit

Die Ergebnisse des Projektes sind anhand von drei Artikeln, die veröffentlicht sind, gegliedert.

Artikel I (Starke & Hoffmann, 2011): Zuckerrüben als Substrat für die Biogaserzeugung):

Dieser erste Artikel befasst sich mit der Fragestellung, welcher Trockenmasseertrag mit verschiedenen Zuckerrübensorten erreicht werden kann. Da Futterrüben höhere Frischmasseerträge als Zuckerrüben bilden, soll geklärt werden, ob dies auch für den Trockenmasseertrag zutrifft. Zusätzlich zur Rübe kann das Blatt zur Biogasbildung beitragen. Bisher lagen keine Analysen bezüglich des Trockenmasseertrages von Zuckerrübenblatt sowie des Gesamtertrages von Rübe und Blatt verschiedener Zucker- und Futterrübensorten vor, sodass es ein Ziel war, dies zu klären.

Die Roh Nährstoffzusammensetzung von Zuckerrüben und Blatt wurde anhand der Weender Futtermittelanalyse analysiert, um zu erörtern, ob anhand dieser Ergebnisse eine Berechnung des spezifischen Biogasertrages möglich ist. Weiterhin soll analysiert werden, wie sich die verschiedenen Zuckerrübensorten sowie das Blatt im Gärverlauf darstellen.

Artikel II (Starke & Hoffmann, 2014): Yield parameters of Beta beets as a basis to estimate the biogas yield) befasst sich mit der Fragestellung, welche bekannten Ertragsparameter zur Abschätzung des Biogasertrages von Zuckerrüben und Zuckerrübenblatt genutzt werden können.

Zusätzlich wurden Zuckerrüben als Winterrüben angebaut, um festzustellen, ob die Sorten hinsichtlich ihres Trockenmasseertrages zu den verschiedenen Ernteterminen differenzieren.



Artikel III (Starke & Hoffmann 2014): Dry matter and sugar content as parameters to assess the quality of sugar beet varieties for anaerobic digestion):

Der Zucker- und Trockensubstanzgehalt stellen einfach zu ermittelnde bzw. bekannte Parameter von Zuckerrübensorten dar. Um die Qualität von verschiedenem Zuckerrübenmaterial für die Nutzung als Biogassubstrat zu bewerten, stellt sich die Frage, ob diese Parameter dafür genutzt werden können oder ob anhand bekannter Rechenmodelle (Baserga, Weißbach) exaktere Vorhersagen für die Biogasbildung möglich sind.



Zuckerrüben als Substrat für die Biogaserzeugung

Philipp Starke und Christa Hoffmann

Kurzfassung

Zuckerrüben bilden neben einem hohen Frisch- auch einen hohen Trockenmasseertrag und sind daher ein interessantes Substrat für Biogasanlagen. Um den Einfluss verschiedener Qualitäten von Zucker- und Futterrüben auf die Biogasbildung zu untersuchen, wurden Feldversuche mit 3 bzw. 4 Sorten und N-Düngungsstufen von 0 bis 300 kg N ha⁻¹ 2008 in Göttingen und 2009 in Regensburg und Göttingen angelegt. In Futtermitteluntersuchungen wurden die Roh Nährstoffe sowie in Gärversuchen das Gasbildungsvermögen ermittelt.

Futterrüben bildeten zwar einen deutlich höheren Frischmasseertrag als Zuckerrüben, erreichten aber nur den gleichen Trockenmasseertrag. Der Rüben trockenmasseertrag variierte standortbedingt von 17 bis 27 t ha⁻¹ und der Gesamt trockenmasseertrag von 24 bis 36 t ha⁻¹. Die Futtermitteluntersuchungen und Gärversuche ergaben signifikante Unterschiede bezüglich der Zusammensetzung von Rübe und Blatt, nicht aber zwischen den Sorten und N-Stufen. Das lässt darauf schließen, dass bei Zuckerrüben hauptsächlich der Gehalt an organischer Trockensubstanz entscheidend für die Gasausbeute ist. Die Rüben bildeten 735 bis 760 Normliter (NI) Biogas pro Kilogramm organische Trockensubstanz (oTS), das Blatt 665 bis 700 NI Gas kg⁻¹ oTS. Daraus resultierte ein Biogasertrag von 18.000 Normkubikmetern (Nm³) pro Hektar (Rübe) bzw. 20.000 bis 22.800 Nm³ ha⁻¹ (Rübe + Blatt). Zuckerrüben stellen somit ein konkurrenzfähiges Substrat im Vergleich zu anderen Energiepflanzen dar.

Abstract

Sugar beet reaches a high fresh and dry matter yield and are therefore an interesting substrate for biogas plants. To show the impact of various qualities of sugar and fodder beet on fermentation, field trials with 3, respectively 4, varieties and N application rates from 0 to 300 kg N ha⁻¹ were conducted in 2008 (Göttingen) and in 2009 (Göttingen and Regensburg). The composition of the beets was determined in feedstuff analysis, the biogas formation in batch trials.

Fodder beets reached a higher fresh matter yield, but the same dry matter yield as sugar beets. The dry matter yield of the roots varied from 17 to 27 t ha⁻¹ and the total dry matter yield from 24 to 36 t ha⁻¹. Significant differences in the composition and in the formation of biogas between roots and leaves occurred, but no differences due to variety and N treat-



ment. That leads to the conclusion that for sugar beet the content of organic dry matter mainly determines the formation of biogas. The roots achieved 735 to 760 norm liter (NI) gas kg^{-1} organic dry matter (oDM) and the leaves 665 to 700 NI kg^{-1} oDM. In total a biogas yield of 18.000 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ (roots) and 20.000 to 22.800 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ for roots and leaves was found. Sugar beets are thus competitive to other energy crops.

Schlagwörter: Biogas, Futterrübe, Qualität, Zuckerrübe

Keywords: biogas, fodder beet, quality, sugar beet

Einleitung

International und national wird eine Vielzahl von Maßnahmen zum Klimaschutz angestrebt. Bis zum Jahr 2020 beabsichtigt die Bundesregierung, 20 % der benötigten Energie aus regenerativen Energieträgern bereitzustellen (Europäisches Parlament, 2008). Ein Teil dieser Energie soll durch den Anbau von Biomasse, die in Biogasanlagen energetisch genutzt wird, erzeugt werden. Dies wird durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) gefördert. Seit der Novellierung des EEG 2004 stieg die Anzahl an Biogasanlagen in Deutschland von 2000 auf aktuell über 5000 (FNR, 2010). Damit verbunden ist auch ein Anstieg der benötigten Fläche für die Energiepflanzenproduktion, die 2009 530.000 ha erreicht hat (FNR, 2010). Das Ziel ist es, einen möglichst hohen Biogas- bzw. Methanertrag pro Flächeneinheit zu erzielen, daher stehen Pflanzen mit einem hohen Biomasseertrag wie Mais im Vordergrund. Dem alleinigen Anbau von Mais sind allerdings Grenzen gesetzt, da Krankheiten in der Fruchtfolge auftreten können (Eder, 2006). Auch schwindet die Akzeptanz von Biogasanlagen bei intensiven Maismonokulturen.

Daher rückt die Zuckerrübe in den Fokus des Interesses von Anlagenbetreibern. Gerade die beiden Erntejahre 2008 und 2009 haben gezeigt, welches Ertragspotential in der Zuckerrübe steckt. So wurden im bundesweiten Durchschnitt im Jahr 2009 69,8 t Zuckerrüben geerntet (WVZ, 2010). Es wird daher davon ausgegangen, dass mit der Zuckerrübe auch ein hoher Biogas- und Methanertrag erzielt werden kann. Futterrüben zeichnen sich durch noch höheren Rübenenertrag als Zuckerrüben aus und werden deshalb oftmals als optimales Biogassubstrat angesehen. Es gibt jedoch nur wenige wissenschaftliche Untersuchungen, in die Futterrüben und Zuckerrüben vergleichend einbezogen waren.

Der biologische Abbau in der Biogasanlage verläuft in vier Stufen (Abb. 1). Da die Speicherform in der Rübe bereits Zucker ist, ist die erste Stufe, die Hydrolyse, nicht geschwindigkeitslimitierend (Eder und Schulz, 2007). Daher wird angenommen, dass Zuckerrüben aufgrund