

1. Prüfer: Prof. Dr. R. Krause
2. Prüfer: Prof. Dr. P. Weiland

Biogas production from forage and sugar beets - Process control and Optimization - Ecology and Economy

Doktorarbeit vorgelegt von: Elhoussein Abdien Hassan

Witzenhausen, 2003

Zusammenfassung

Sowohl die begrenzten Ressourcen an fossilen Energien als auch die durch Gewinnung und Nutzung fossiler Brennstoffe hervorgerufenen Umweltbelastungen geben in der letzten Zeit der Energieproduktion aus erneuerbaren Rohstoffen einen hohen Stellenwert. Eine der momentan verfügbaren und verwendbaren alternativen Energiequellen ist die anaerobe Vergärung (Biogasproduktion) von nachwachsenden Rohstoffen, die von der deutschen Bundesregierung gefördert wird. Futter und Zuckerrüben sind aufgrund ihres hohen organischen Trockenmassegehalts (oTS), der pro Hektar erzielt wird, sehr energieeffiziente Pflanzen, die daher für eine Biogasproduktion besonders geeignet erscheinen. Sie können einfach siliert und gelagert werden und stehen somit ganzjährig für die Biogasproduktion zur Verfügung. Bisher hegen aber keine abgesicherten Daten über die anaerobe Vergärung von Futter- und Zuckerrüben vor. Zudem stellt die Kombination von Silierung und Fermentation eine neuartige Verfahrenskette dar.

Das erste Ziel dieser Arbeit war die genaue Untersuchung der anaeroben Vergärung von Futter und Zuckerrübensilage (FRS & ZRS). Hierzu wurden Untersuchungen im Labor (17 diskontinuierliche Reaktoren und 16 quasi-kontinuierliche Reaktoren) durchgeführt, um den maximalen Abbaugrad von Futter- und Zuckerrübensilage, sowie den Biogasertrag, den Methan und HZS- Gehalt des Biogases unter verschiedenen Bedingungen zu bestimmen. Die Möglichkeit der Kofermentation von Rüben mit Rindergülle (RG) wurde ebenfalls in dieser Arbeit untersucht. Der Einfluss des Vergärungsprozesses auf verschiedene Eigenschaften des Gärrückstandes (chemischer Sauerstoffbedarf, Ammonium- Stickstoff-Gehalt, flüchtige organische Säuren, etc.) wurde bestimmt. Das zweite Ziel dieser Arbeit bestand in der Untersuchung der Energiebilanz, Ökobilanz und Ökonomie beim Wechsel von fossilen Energieträgern zur Energieproduktion auf Basis von Biogas. Dabei sollten möglichst optimierte Bilanzmethoden definiert werden, mit welchen alle beeinflussten und meßbaren Parameter berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass FRS und ZRS grundsätzlich für Mono- und Kofermentation geeignet sind. Durch Beimischung von Rindergülle sinkt der Abbaugrad und infolgedessen auch die Methanausbeute, jedoch wird gleichzeitig die Prozessstabilität erhöht.

Die Versuchsergebnisse zeigen eine Zunahme des $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalts um bis zu 55 %, wodurch die Effizienz bei der Verwendung der Gärrückstände als Wirtschaftsdünger verbessert wird. Die durch den Silierungsprozess hervorgerufene hohe Konzentration von organischen Säuren in den Gärsubstraten beeinflusste den pH-Wert des Vergärungsprozesses nicht, was auf eine hohe Pufferkapazität des Gärsubstrates hinweist. Die Arbeit gibt ebenfalls Informationen über den Einfluss von Denaturierungsmitteln auf den Vergärungsprozess. Von der energetischen Seite her betrachtet wurde festgestellt, dass bei alleiniger Betrachtung der elektrischen Energieproduktion aus Futterrüben (Zuckerrüben) ein Output/Input-Faktor von 1,36 gegenüber einem Output/Input Faktor von 0,32 bei fossilen Energieträgern erzielt werden kann. Mit Berücksichtigung der Wärmeproduktion erhöht sich der Output/Input Faktor der Biogasenergie auf 3,06. Ein Ersatz von fossilen Energieträgern kann durch den höheren Output/Input-Faktor und die positive Biogasenergie zu Einsparungen von 280 (264) GJ fossile Energie pro Hektar und Jahr führen. Von Vorteil ist weiterhin, dass die Verwendung der ganzen Pflanze und die Benutzung der Gärrückstände als Wirtschaftsdünger die Biogasgewinnung durch eine einfache und geschlossene Energiebilanz kennzeichnet.

Im Vergleich zu fossiler Energie ergibt sich bei der Verwendung von Biogas aus Rüben eine bessere Ökobilanz. Durch die Produktion von Biogas aus Futter- bzw. Zuckerrüben kann im Vergleich zur Verwendung von Fossilenergie pro Hektar die Freisetzung von 2,1 bzw. 20 Tonnen CO_2 -Äquivalenten vermieden werden. Generell hat die anaerobe Fermentation einen sehr geringen negativen Einfluss auf die globale Umwelt.

Aufgrund der ökonomischen Analyse ist die Biogasproduktion aus Futter- bzw. Zuckerrüben derzeit wirtschaftlich noch nicht empfehlenswert. Durch die Nutzung der Wärmeenergie sowie bei Erhöhung der derzeitigen Einspeisevergütung (> 0.1 Euro/kWh) kann die Biogasproduktion aus Futter- bzw. Zuckerrüben jedoch wirtschaftlich werden. Grundsätzlich ist die Energie- und Ökobilanz sowie die Ökonomie der Biogasproduktion aus Futterrüben vorteilhafter im Vergleich zu Zuckerrüben.