

BMBF - Verbundprojekt

BiogasCropsNetwork

Teilprojekt: Untersuchungen zur Entwicklung eines optimalen Verfahrens der Vergärung von Biogas Crops (Maissilage) durch zweistufige Prozessführung mit Bioleaching

Projektlaufzeit: 09/2005 – 12/2008 (abgeschlossen)

Zielstellung

In dem Verbundprojekt Biogas-Crops-Network, der Förderinitiative „Netzwerke Grundlagenforschung erneuerbare Energien und rationelle Energieanwendung“, wird Forschung in dem Bereich der Energietechnologie unter Nutzung regenerativer Quellen betrieben. Die natur- und ingenieurwissenschaftliche Grundlagenforschung im Netzwerk hatte im speziellen die Entwicklung von Technologien zur effizienten Nutzung von Energiepflanzen in der Biogaserzeugung zum Ziel. Es sollte hierbei eine Betrachtung der Substratvorbehandlung, der Prozesstechnik und der Mikrobiologie erfolgen, unter Entwicklung eines mathematischen Modells zur Beschreibung von Teilprozessen und des Gesamtprozesses. Die Forschungen zur zielgerichteten, effizienten Nutzung pflanzlicher Biomassen leisten einen Beitrag zu der Erhöhung des Anteils regenerativer Energien an der Energieerzeugung sowie zur Reduktion klimarelevanter Gase.

Mit der Auflage, durch die EEG-Novelle 2004 bis zum Jahre 2020 den Anteil an erneuerbaren Energien an der Gesamtstromversorgung auf mindestens 20 % zu erhöhen, gewann die energetische Verwertung von pflanzlicher Biomasse zunehmend an Bedeutung. Die Gesetzesvorgabe garantierte für die Erzeugung elektrischer Energie aus Biogas höhere Mindestvergütungen und gewährt einen Bonus bei der Verwendung von Energiepflanzen. Die Novelle leistete somit einen maßgeblichen Beitrag zur verstärkten Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in der Biogasproduktion. Die Nutzung der Potenziale von Biomassen in der Energieerzeugung erforderte die Entwicklung und Anwendung von effizienten Technologien, die sich durch einen hohen Stoffumsatz und einer entsprechend hohen energetisch nutzbaren Produktbildung auszeichnen. Zum Zeitpunkt der Antragstellung bestand enormer Forschungsbedarf in dem Bereich der Monofermentation fester pflanzlicher Biomassen, insbesondere vor dem Hintergrund der durch die Gesetzesnovellierung bedingten steigenden Nachfrage nach Biogasverfahren zur monofermentativen NaWaRo-Umsetzung. Zuvor war der Einsatz von Pflanzen als Monosubstrate in der Biogaserzeugung im wesentlichen auf die Kofermentation beschränkt. Forschungsarbeiten zu Festsubstraten waren hauptsächlich auf die Gasbildungspotentiale der Pflanzen sowie auf die Biogasqualität gerichtet. Eine komplexe Betrachtung des Biogasprozesses unter Berücksichtigung der Prozesstechnik, der Substratcharakteristik und Substratvorbehandlung sowie der Mikrobiologie in den einzelnen Teilprozessen wurde in vorangegangenen Arbeiten in diesem Umfang nicht durchgeführt.

Ziel des Verbundprojekts „Biogas-Crops-Network“ war es, mit effizienter, komplexer Grundlagenforschung die Biogasgewinnung aus pflanzlicher Biomasse durch systematische Analyse der physikalischen, chemischen und mikrobiellen Prozesse transparent zu gestalten. In dem Netzwerk-Vorhaben sollten Verfahren ermittelt werden, die eine technische und wirtschaftliche Anwendung ermöglichen. Die Ermittlung und Untersuchung relevanter Prozessparameter in diversen Versuchsdurchführungen sollten die Beschreibung von Vorgängen und Teilprozessen ermöglichen und entsprechend der Entwicklung mathematischer Modelle dienen.

Der Lehrstuhl Abfallwirtschaft der BTU Cottbus beschäftigte sich in diesem Verbund-Vorhaben mit der Optimierung der Prozessführung und –steuerung. Die Untersuchungen bezogen sich auf die zweistufige Fest-Flüssig-Vergärung unter Anwendung eines am Lehrstuhl Abfallwirtschaft entwickelten Verfahrens. Die Arbeitsaufgabe bestand in der Ermittlung und Untersuchung wesentlicher prozesstechnischer Parameter, welche insbesondere eine Optimierung der Hydrolyse hinsichtlich des einzusetzenden Substrats Maissilage ermöglichten. Für die Entwicklung eines optimalen Verfahrens, das eine standardisierte Monofermentation von Biogas-Crops zulässt, wurden in einem weiteren Schritt Untersuchungen zur Prozessstabilität erforderlich. Die Einstellung von Belastungszuständen ermöglicht die Ermittlung von Grenzwerten und Grenzkonzentrationen, bei denen die Toleranzbereiche der wirksamen Mikroorganismen überschritten werden. Die Folge sind irreversible Zellschädigungen sowie der Ausfall sämtlicher Zellfunktionen, wodurch ein Abbruch des Biogasprozesses bedingt wird.

Ergebnisse

Das Erreichen des Vorhabensziels erforderte eine detaillierte analytische Betrachtung des Biogasprozesses. Die Trennung der Teilprozesse durch die zweistufige Verfahrensführung erlaubt die separierte Betrachtung beider Prozesse, so dass die Untersuchungen zur verfahrenstechnischen Optimierung ausschließlich auf die Hydrolyse gerichtet werden konnten.

Die Untersuchungsschwerpunkte in der Prozessoptimierung für den Einsatz pflanzlicher Biomasse lagen in der Prozesswasserführung (= Perkolation) im „kleinen Kreislauf“, substratspezifischen Betrachtungen zur Verweilzeit und Permeabilität, in der Betrachtung von Schaltungsvarianten der Perkolatoren und der Hydrolysetemperatur. Abschließend wurde eine Versuchsreihe über einen Zeitraum von 6 Monaten zur Ermittlung von eventuell auftretenden Langzeiteffekten durchgeführt.

Die Gewährung optimaler Bedingungen für die hydrolytisch wirksamen Bakterien erfordert die Einstellung eines optimalen Wassergehaltes, günstiger pH-Verhältnisse und die ausreichende Abführung der Hydrolyseprodukte aus dem Substratkörper. Folglich stellt sich die Prozesswasserführung in der Feststofffermentation unter Nutzung eines Perkulationsverfahrens relevant dar und entsprechend die Bestimmung günstiger Verhältnisse im Prozesswasserkreislauf. In den Untersuchungen zur Optimierung der Wasserführung fanden die Perkulationsrate sowie die Intervalle und Frequenzen in der Zirkulation des Hydrolysats Betrachtung. Die Durchführung der Versuche erfolgte unter einer konstanten und als Optimum ermittelten Rücklaufrate, wobei ausgewählte Perkulationsraten ergänzend für höhere Rücklaufraten überprüft wurden. Der Untersuchungsschwerpunkt beinhaltete weiterhin die Ermittlung des Einflusses einer prozessvorgelagerten entnahmefreien Hydrolyse.

Zusammenfassend konnte in den Versuchsdurchführungen ein erheblicher Einfluss der Prozesswasserführung auf den Verlauf und die Intensität der Feststoffhydrolyse ermittelt werden. Die Untersuchungsergebnisse ließen ein deutliches Optimierungspotenzial in der Perkulationsrate („kleiner Kreislauf“) sowie mit der Anwendung einer Vorhydrolyse erkennen.

Zur Festlegung eines Wasserregimes für die zweistufige Fest-Flüssig-Fermentation von Maissilage wurde die Substratspezifität bezüglich des Wasserbinde- und Transportvermögens näher betrachtet. Für den Einsatz von pflanzlichen Monosubstraten im zweiphasigen Prozess der Biogaserzeugung ist eine Ermittlung prozessrelevanter Substrateigenschaften zweckmäßig, da i.d.R. eine weitgehend homogene Substratzusammensetzung vorliegt und somit relevante Parameter für einen optimalen Prozessverlauf als auch ökonomische Einflussfaktoren als Voraussetzung angenommen werden können. Die Untersuchungen zur

Substratcharakteristik der Maissilage waren auf die Bestimmung der Wasseraufnahmekapazität und Wasserfreisetzung im Prozessverlauf sowie auf die Ermittlung der hydraulischen Verweilzeit gerichtet.

Eine hohe Bedeutung der Kenntnis über diese Parameter kommt großtechnischen Anwendungen zu. Aus diesem Grund wurden die Untersuchungen unter praxisnahen Bedingungen durchgeführt, die durch den Aufbau einer Versuchsanlage, mit einem als Säule ausgeführten Hydrolysereaktor einer Höhe von 3,2 m simuliert wurden. Die so erzielte Schütthöhe entsprach etwa den Bedingungen in der Praxis.

Die Wasseraufnahmekapazität der Maissilage und die Wasserfreisetzung im Verlauf des Prozesses wurden unter realen Versuchsbedingungen ermittelt. Kumulativ absorbierte die eingesetzte Maissilage ca. 14 l/kg oTS an Prozesswasser. Die Desorption von gebundenem Wasser in der zweiten Versuchsphase entsprach nicht dem absorbierten Volumen, so dass kumulativ nach 25 d Versuchsdauer eine Wasserabsorption von ca. 3 l/kg oTS ermittelt wurde. Mit Gewährung einer Abtropfphase konnte die negative Wasserbilanz nicht vollständig ausgeglichen werden. Es bleibt zu berücksichtigen, dass wechselnde Silagequalitäten und entsprechend variierende Anteile einzelner Substratkomponenten abweichende Kapazitäten in der Wasseraufnahme erwarten lassen, und somit nicht zwangsläufig der Prozess unter dem Einsatz von Maissilage mit einer negativen Wasserbilanz einhergeht.

Eine Optimierung des Hydrolyseprozesses wurde des Weiteren durch eine Konfiguration der Perkolatoren in Reihe erzielt. Die Reihenschaltung der Perkolatoren im Gleichstrom ermöglicht eine Steigerung des Abbaus an organischer Substanz um bis zu 15 %. Neben der Erhöhung der mikrobiellen Vielfalt, lässt sich der positive Effekt auf eine Erhöhung der Bakterienaktivität aufgrund der Bereitstellung eines günstigen pH-Milieus zurückführen.

Für den Einsatz von Maissilage im zweistufigen Vergärungsverfahren wurde das Optimum in der mesophilen Hydrolyse bei einer Temperatur von 37°C ermittelt. Unter dieser Temperatur im betrachteten mesophilen Bereich wurden die Prozessintensität und der Abbau an organischem Material deutlich erhöht. Aufgrund der hier ermittelten positiven Effekte mit Einstellung günstiger Temperaturbedingungen wird die Prozesstemperatur in der Hydrolyse, insbesondere im thermophilen Bereich, auch Gegenstand zukünftiger Untersuchungen sein.

Die Entwicklungen der Produktausbeuten während der Projektlaufzeit ließen eine unzureichende Nähr- und Spurenstoffversorgung der Bakterien und einen zunehmenden Mangel an bestimmten essentiellen Elementen vermuten. Um einer Verarmung des Systems an bestimmten Spurenstoffen entgegenzuwirken, erfordert insbesondere der langfristige Einsatz von Monosubstraten in der Vergärung eine Supplementierung essentieller Elemente. Ein verfahrensspezifischer Langzeiteffekt wurde in der stetigen Erhöhung der CSB-Konzentration im Methanisierungsablauf infolge der Akkumulation schwer bzw. nicht abbaubare Stoffe ermittelt. Die Analyse der Zusammensetzung des inerten CSB sowie die Entwicklung von Methoden zur Erhöhung der Verfügbarkeit dieser Komponenten werden Gegenstand zukünftiger Untersuchungen sein.