

Aus der Professur für Abfall- und Stoffstromwirtschaft
der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

Zusammenfassung der kumulativen Dissertation

**Optimization of ensiling fermentation of *Elodea* sp. for
biogas production**

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Rostock

vorgelegt von

M.Sc. Daniela Gallegos Ibáñez
aus Durango, Mexiko

Verteidigung am 13. Dezember 2024

Die invasiven aquatischen *Elodea*-Arten *E. nuttallii* und *E. canadensis* weisen ein bemerkenswertes Wachstumspotenzial auf, das in manchen Fällen zu Herausforderungen führen kann. Die mechanische Ernte von *Elodea*-Pflanzen stellt in Deutschland die gängigste Methode zur Bekämpfung des *Elodea*-Wildwuchses dar. Bedauerlicherweise bleibt die *Elodea*-Biomasse ungenutzt und muss aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften mit großem Aufwand in Kompostierungsanlagen behandelt werden. Dazu zählen ihre schlechte Struktur, ihr hoher Wassergehalt sowie ihr geringes Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis (C/N). Es war zu untersuchen, ob die anaerobe Vergärung (AD) zur Biogaserzeugung auf der Grundlage eines Bioraffineriekonzepts eine vielversprechende Lösung sein kann, um *Elodea*-Biomasse zu nutzen und aufzuwerten.

Nach der Ernte durchläuft die gewonnene *Elodea*-Biomasse aufgrund ihres hohen Feuchtigkeitsgehalts (ca. 95 %) einen relativ schnellen mikrobiellen Abbauprozess. Allerdings stellt die wirtschaftliche Biogaserzeugung aus kommerzieller AD, die in der Regel im kontinuierlichen Betrieb erfolgt, gewisse Anforderungen an die ganzjährige Versorgung mit hochwertiger Biomasse. Daher sollten Aspekte wie die Saisonabhängigkeit der Biomasse und die Konservierung der Biomasse in die Überlegungen mit einbezogen werden. Die vorliegende Arbeit, die in drei Beiträgen vorgestellt wird, zielt darauf ab, potenzielle Prozesskettenstrategien für die AD von Wasserpflanzen und landwirtschaftlichen Reststoffen zu untersuchen. Dabei wird besonderes Augenmerk auf die Entwicklung von Lagermethoden für die Langzeitkonservierung von Biomasse gelegt. Im Rahmen dieser Arbeit wurden zwei biologische Prozesse im Labormaßstab durchgeführt. Einerseits wurde Methan in der Biogasanlage erzeugt, andererseits wurde die Silierung als Konservierungsmethode untersucht. Dabei wurden die gemeinsame Silierung von *Elodea* und Weizenstroh mit und ohne Siliermittel sowie die Monosilierung von beiden als Kontrolle berücksichtigt. Die erzielten Ergebnisse zeigten, dass die Konservierung von *Elodea* eine Herausforderung darstellt, da sie einen hohen Feuchtigkeitsgehalt und eine geringe Menge an wasserlöslichen Kohlenhydraten (WSC) aufweist, die sich beide negativ auf die Silierung auswirken.

Die reine Silierung von *Elodea* ist grundsätzlich möglich, doch könnte die Option der gemeinsamen Silierung mit Weizenstroh für die Entwicklung einer Methode zur Langzeitlagerung in konventionellen Klemmsilos möglicherweise besser geeignet sein. In diesem Zusammenhang möchten wir darauf hinweisen, dass Weizenstroh geeignete Substrateigenschaften für die Co-Silierung bieten könnte. Dazu zählen beispielsweise eine ausreichende Gesamttrockenmasse (TS), zusätzliche Zucker und die daraus resultierende Produktion von organischen Säuren. Zur Bewertung der Methanausbeute der Monosilierung von *Elodea* sowie der Co-Silierung mit Weizenstroh wurde eine AD nach dem BMP-Test durchgeführt. Die Ergebnisse des AD-Ansatzes der Mono- und Co-Silierung von *Elodea* deuten darauf hin, dass *Elodea*-Biomasse ein vielversprechendes Substrat/Cosubstrat für Biogasanlagen sein könnte. Für praktische Anwendungen, beispielsweise die Konservierung in Klemmsilos für eine nachfolgende AD, könnte eine

Mischung von *Elodea* mit Weizenstroh von etwa 30 % TS jedoch eine vielversprechende Option sein. Aufgrund von Kapazitätsgründen konnten in dieser Arbeit leider nur Versuche mit Weizenstroh durchgeführt werden. Es wäre durchaus sinnvoll, weitere Untersuchungen zu Mischungen von *Elodea* mit verschiedenen trockeneren lignozellulosehaltigen Substraten durchzuführen.

Des Weiteren wurde die Silierung und anschließende AD von Weizenstroh untersucht. Dabei zeigte sich, dass aufgrund der widerspenstigen Struktur, die der Umwandlung von Polysacchariden entgegensteht, eine Vorbehandlung, beispielsweise in Form einer Reduzierung der Partikelgröße, erforderlich sein könnte. In einem ersten Schritt wurde die Silierung von Weizenstroh durchgeführt, wobei die Größe der Weizenstrohpartikel bewertet wurde. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine Verringerung der Partikelgröße die biologische Abbaubarkeit von Weizenstroh erhöhen und zur Produktion organischer Säuren führen könnte. Die Silierung von Weizenstroh offenbarte zudem, dass die Struktur dieser Lignozellulose aufgrund des hohen Ligningehalts von bemerkenswerter Komplexität ist, was eine beträchtliche Herausforderung darstellt. Diese Einschätzung wurde auch durch die Ergebnisse gestützt, die erzielt wurden, als Weizenstroh ohne Silierung, aber mit vorheriger Vorbehandlung durch Verringerung der Partikelgröße einer AD untersucht wurde. In diesem Zusammenhang hat sich gezeigt, dass eine Verringerung der Partikelgröße einen wichtigen Einfluss auf die Biozugänglichkeit und Bioverfügbarkeit von fermentierbaren Zuckern haben kann. Dadurch könnte sich auch die Verdaulichkeit des Weizenstrohs verbessern lassen, insbesondere durch eine Hydrolyse des gesamten Weizenstrohs. Dies führte zu einer erfreulichen Steigerung der Methanausbeute um bis zu 26 %. Andererseits konnten wir bei der Monosilierung von *Elodea*-Biomasse und Weizenstroh sowie beim Co-Silierungsprozess mit Siliermitteln keine Vorteile feststellen.

Die Silierung von *Elodea* und die gemeinsame Silierung mit Weizenstroh für Biogasanlagen könnten durchaus eine attraktive Option sein. Um diese jedoch kosteneffizient umzusetzen, wäre weitere Forschung erforderlich. Die Technologie entlang der Wertschöpfungsketten müsste erheblich verbessert werden (z. B. Schneiden, Sammeln, Erntezeit), und die Kostenschätzungen müssten zusammen mit dem daraus resultierenden endgültigen Biogasertrag ermittelt werden.