Van Gras naar Gas

Interreg

(Ko-)finanziert von der Europäischen Union
(Mede) gefinancierd door de Europese Unie

Deutschland – Nederland

Vom Gras Zum Gas

Vom Gras Zum Gas

Abschlussbericht

Machbarkeit, Technologien und wirtschaftliche Chancen der Biogasproduktion aus Grasrestströmen in den Niederlanden und Deutschland

Projektpartner

Hanze

WIRTSCHAFTSFÖRDERUNG Landkreis Aurich GmbH

OLEC Energie bewegt den Nordwesten

Kompetenzzentrum Niedersachsen • Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe und Bioökonomie e.V. 3N

New Energy Coalition

Thomßen Lohnbetriebe

Boerderij Ten Kate

provincie Drenthe

Inhalt

Einleitung	3
Projektziel und Aktivitäten	4
Ergebnisse	5
1. Verfügbarkeit und Qualität der Grasrestströme	5
2. Installationsvoraussetzungen und technische Möglichkeiten	10
2.1 Aufbereitung des Grases/Vorbehandlung	11
2.2 Fermentationstechnologien	14
2.3 Innovationen zur optimalen Nutzung von (Gras-)Abfallströmen	16
3. Rechtliche Aspekte	21
3.1 Rechtslage in den Niederlanden	22
3.2 Situation in Deutschland	24
4. Techno-ökonomische Analyse	25
4.1 Beschreibung und Grundsätze der Installation	26
4.2 Investitions- und Betriebskosten	27
Ergebnisse des Netzwerkaufbaus	30
Schlüsse	32
Nächste Schritte	35

Van Gras naar Gas

Interreg Deutschland – Nederland

Vom Gras Zum Gas

Dieses Projekt wird von der Europäischen Union und den Interreg-Partnern im Rahmen des Interreg-Programms Deutschland-Nederland finanziell unterstützt.

Einleitung

Der Agrarsektor in der deutsch-niederländischen Grenzregion steht vor einer doppelten Herausforderung: Stickstoff- und Treibhausgasemissionen müssen gleichzeitig reduziert werden, jedoch fehlt es an praktikablen und nachhaltigen Lösungen.

Ställe, Güllelagerung und Düngung verursachen hohe Methan- und Stickstoffemissionen. Gleichzeitig führt die sukzessive Abschaffung der Derogation in den Niederlanden zu einer Stickstoffknappheit auf landwirtschaftlichen Flächen, die die Landwirte dazu zwingt, teuren Dünger zu verwenden, während der Gülleüberschuss ein wachsendes Problem darstellt.

Hinzu kommt, dass die Biogasbranche stagniert. In Deutschland wurden wertvolle Restströme wie Mist und Gras aufgrund politischer Entscheidungen nicht ausreichend genutzt. Die Niederlande wollen die Produktion ausweiten, aber technische und finanzielle Hindernisse stehen einer großflächigen Umsetzung im Wege.

Erzeugung von Strom könnte eine mögliche Lösung bieten, aber überlastete Stromnetze machen dies für viele Landwirte schlecht umsetzbar. Um die Branche zukunftssicher zu machen, sind eine effizientere Aufbereitung von Restströmen eine bessere Nutzung von Biogas und technologische Innovationen unerlässlich. Ohne diese Anpassungen werden die Landwirte zwischen strengeren Umweltauflagen und einem Mangel an praktikablen Nachhaltigkeitsoptionen stecken bleiben.

Tisch 1. Beteiligte Projektpartner und Beschreibung/Rolle

Partner	Omschrijving/rol
New Energy Coalition	Projektkoordination, Veranstaltungsorganisation, Entwicklung von Nachbereitungsaktivitäten
Provinz Drenthe	Teilnahme und Unterstützung bei der Forschung, Verbreitung von Ergebnissen, Organisation von Workshops
Stichting Hanze University of Applied Sciences	Betreuung und Durchführung von Biogaspotenzialuntersuchungen, Netzwerkaufbau
Oldenburger Energiecluster e.V. (OLEC)	Projektkommunikation, Netzwerkintegration, Workshop-Organisation
Kompetenzzentrum 3N e.V.	Technische und rechtliche Forschung, Durchführung von Fallstudien, Netzwerkintegration
Thomßen Lohnbetriebe	Interviewpartner, praktische Anleitung, Organisation einer Veranstaltung
Wirtschaftsförderung Landkreis Aurich GmbH	Associate Partner, Support- und Networking-Aktivitäten
Ten Kate Farm	Associate Partner, praktische Erfahrungen und Inputs aus dem Agrarsektor

Projektziel und Aktivitäten

Ziel dieses Projektes war es, eine erste Analyse der Machbarkeit und Effizienz der Grasfermentation zu Biogas durchzuführen. Zwei Elemente spielten dabei eine zentrale Rolle;

Erstens:
Der **Aufbau eines grenzüberschreitenden Netzwerks landwirtschaftlicher Betriebe**, das den Austausch über verschiedene Strategien und Konzepte zur Erreichung von Null-Emissionen ermöglicht. So können Wissen und Lösungen gesammelt und weiterentwickelt werden, um eine effektive Zusammenarbeit im Agrarsektor zu fördern.

Zweitens:
Die Durchführung **von vorbereitenden Machbarkeitsstudien**, die es ermöglichen, den richtigen Weg für die weitere Entwicklung zu identifizieren. Ziel war es, technische Optionen und Verfahren zu bestimmen, die es landwirtschaftlichen Betrieben ermöglichen:

- CO_2-Emissionen aus der Biogasproduktion in zusätzliches grünes Gas umzuwandeln
- Autarkie durch saubere Kraftstoffe zu erreichen
- Schadstoffemissionen zu reduzieren
- Grasartige Rohstoffe effizient für die Fermentation zu nutzen
- Rohstoffe für die zirkuläre Chemie und Industrie zu produzieren

Um dies zu erreichen, wurden im Rahmen dieses Projekts zwei Teilaktivitäten durchgeführt, nämlich die Durchführung von deutsch-niederländischen Recherchen und die Organisation von Netzwerkveranstaltungen mit Stakeholdern und anderen interessierten Parteien.

Wie bereits angedeutet, besteht das Ziel letztendlich darin, ein (neues) Geschäftsmodell für die optimale Verarbeitung von überschüssigem Gras zu grünem Gas und anderen nützlichen Substanzen auf dem Hof zu entwickeln. Um diese Analyse vorzubereiten, wurden folgende zentrale Fragen untersucht und beantwortet:

- **Logistische Herausforderungen:** Wie viel grasartige Biomasse ist in den nördlichen Niederlanden und Norddeutschland verfügbar und in welcher Qualität ist sie?
- **Technische Herausforderungen:** Wie vergären wir Gras effizient unter Berücksichtigung seiner komplexen lignozellulosen Struktur?
- **Technische Innovationen:** Welche technischen Innovationen können genutzt werden, um den Fermentationsprozess zu verbessern und zusätzliche Verwertungsströme zu realisieren?
- **Regulatorische Herausforderungen:** Welche niederländischen und deutschen Genehmigungen und gesetzlichen Anforderungen spielen eine Rolle bei der Vergärung von Grasabfallströmen und den gewünschten Endanwendungen?
- **Wirtschaftliche Herausforderungen:** Was sind die Kosten und der Nutzen der Vergärung von Grasabfallströmen?

Ausbau des Netzwerks:
Parallel zu den Recherchen wurden Vernetzungsaktivitäten durchgeführt, um die richtigen Partner für ein Folgeprojekt zu identifizieren.

Ergebnisse

1. Verfügbarkeit und Qualität der Grasrestströme

Verfügbarkeit in Norddeutschland
Die Nutzung von Grasrestströmen zur Vergärung wird in Deutschland bisher nicht in großem Maßstab durchgeführt. Im Bereich der angebauten Biomasse sind Maissilage und Silage aus anderen Getreidearten häufiger anzutreffen, gefolgt von Zuckerrüben und neueren Entwicklungen wie der Silphie. In der Fachliteratur liegen jedoch fundierte Angaben zu den Vergärungseigenschaften vor[1].

In einem Umkreis von 40 km um den Standort Idafehn kann eine Fläche von ca. 5.000 Hektar genutzt werden. Ein Erntevolumen von 1 - 2 Tonnen/ha pro Schnitt führt zu einem Substratvolumen von insgesamt 19.500 Tonnen/ Jahr bei 1 - 2 Ernten pro Jahr, je nach Witterung. Unabhängig von den Transportwegen, den Lieferantenbeziehungen und der technischen Eignung der Anlagen, die im Einzelfall den Einsatz bestimmen, verdeutlicht dies die regionale Bedeutung von Grassilage als Gärsubstrat.

Soll Biogas aus Grassilage zu Biomethan aufbereitet und in das öffentliche Gasnetz eingespeist werden, kann es als Kraftstoff für Bilanzierungszwecke eingesetzt werden. Ob es sich dabei um eine Mono-Fermentation oder eine Co-Fermentation mit anderen Substraten handelt, bei der der Grasanteil im Sinne der Bilanzeinteilung gesondert herangezogen wird, hängt von der Situation der Biogasanlagen und den Bedingungen in der Energiewirtschaft ab. Das oben genannte Substratvolumen entspricht einer Energieausbeute von 19,8 Mio. kWh/a. Zum Vergleich: Der Kraftstoffverbrauch des Projektpartners Thomßen lag im Jahr 2023 bei 828.000 Litern Diesel, also dem 2,4-fachen der potenziellen Kraftstoffproduktion aus Biogas.

Im Landkreis Leer sind 14 landwirtschaftliche Biogasanlagen mit 3,8 MWel (Bemessungsleistung) in Betrieb, in denen Energiepflanzen und Wirtschaftsdünger eingesetzt werden. Ihre Situation kann als typisch für die Region gelten. In den Landkreisen Leer, Aurich, Emden und Ammerland befinden sich 93 Anlagen mit einer Bemessungsleistung von 38 MWel, 73 % davon im Leistungssegment von 200 - 800 kWel.

Abbildung 1 zeigt die Inbetriebnahmejahre und Leistungsklassen der Anlagen im Landkreis Leer. Die meisten von ihnen sind unter den Bedingungen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) in den Fassungen von 2004, 2009 und 2012 errichtet. Die gesetzlich garantierte Stromvergütung endet nach 20 Jahren, so dass kurz- bis mittelfristig eine Anschlussregelung benötigt wird, um den Anlagen eine Perspektive für den Weiterbetrieb zu geben. Die aktuellen Bestimmungen sehen neben verschiedenen Vorgaben zur Betriebsweise eine Reduzierung des Maisanteils auf 30 % vor. Als alternative Substrate kommen vor allem Gülle, Mist und landwirtschaftliche Reststoffe in Frage. Neben anderer Anbaubiomasse wäre also auch Grassilage ein Standbein zum Weiterbetrieb.

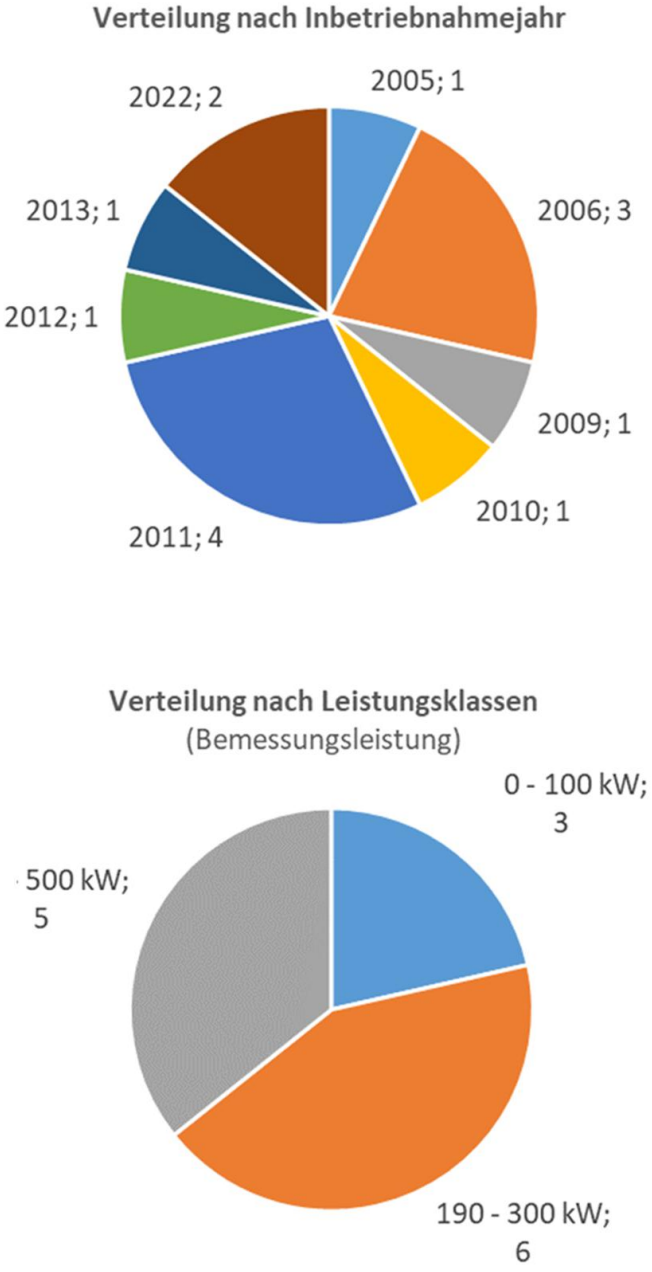


Abbildung 1: Alter- und Leistungsklassenverteilung der Biogasanlagen im Landkreis Leer

[1] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.: „Handreichung Biogas". Gülzow 2004 | Forschungszentrum Karlsruhe GmbH „Potenziale der Biogasgewinnung aus Gras von Überschussgrünland in Baden-Württemberg". Stuttgart 2006 | Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: „Biogasausbeuten-Datenbank". www.lfl.bayern.de | Institut für Energie- und Umweltforschung: „GHG emission factors for renewable energy in the transport sector and reduction potential". Heidelberg 2017

Abbildung 2 zeigt die Substratmengen der Leistungsklassen. Mit Ausnahme der Kleinanlagen, die nach den Vorgaben des EEG überwiegend mit Gülle und Mist betrieben werden, wird mit rd. 60.000 t/a ein hoher Anteil von Anbaubiomasse (Nawaro) deutlich.

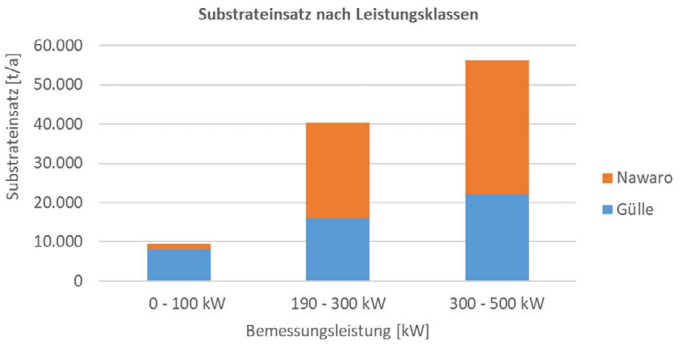


Abbildung 2: Substrateinsatz der Biogasanlagen im Landkreis Leer nach Leistungsklassenverteilung

Ihnen sei das Erzeugungspotenzial gegenübergestellt, das vom Lohnbetrieb Thomßen in seinem Einflussbereich ermittelt wurde. Es kann als beispielhaft für die Region gelten.

Im Umkreis von 40 km zum Betriebsstandort Idafehn kann eine Fläche von rd. 5.000 ha erschlossen werden. Eine Erntemenge von 1 - 2 t/ha je Schnitt führt bei witterungsabhängig 1 - 2 Ernten p.a. zu einer Gesamtmenge von 19.500 t/a. Bezogen auf den Landkreis Leer könnten 32 % des Nawaro-Einsatzes ersetzt werden. Unabhängig von den Transportentfernungen, den Lieferantenbeziehungen und der technischen Eignung der Anlagen, die die Verwendung im Einzelfall bestimmen, verdeutlicht dies die regionale Bedeutung von Grassilage als Gärsubstrat.

Wenn Biogas aus Grassilage zu Biomethan aufbereitet und in das öffentliche Gasnetz eingespeist werden soll, kann es bilanziell als Kraftstoff genutzt werden. Ob es sich dabei um eine Monovergärung oder um eine Covergärung mit anderen Substraten handelt, bei der der Grasanteil i.S. der bilanziellen Teilung separat verwertet wird, ist von der Situation der Biogasanlagen und den energiewirtschaftlichen Bedingungen abhängig. Das o.g. Substrataufkommen entspricht einem Energieertrag von 19,8 Mio. kWh/a. Zum Vergleich: Der Kraftstoffverbrauch des Lohnbetrieb Thomßen betrug 2023 828.000 l Dieselkraftstoff, also das 2,4-fache der potenziellen Kraftstofferzeugung aus Biogas.

Verfügbarkeit in Nord-Niederlande

In den Niederlanden stehen Grasrestströme in begrenztem Umfang für die Biogaserzeugung zur Verfügung, und nicht alle Grasarten sind geeignet. Darüber hinaus werden in den Niederlanden die letzten Schnitte von Produktionsgras in der Regel als Tierfutter verwendet, was bedeutet, dass sie nicht für die Fermentation zur Verfügung stehen. Verfügbare Bäche sind Naturrasen, Straßenrandgras und Grabenschnitt.

Stroh wird in den Niederlanden nie direkt in einem Fermenter verwendet, dafür ist es zu teuer. Landet es in einem Fermenter, wurde es oft zuerst als Einstreu im Stall verwendet, zum Beispiel für Jungvieh oder in der Pferdehaltung.

In den Niederlanden gibt es mehrere Studien über die Verfügbarkeit von Gras, die jeweils von unterschiedlichen Zahlen ausgehen. Der maßgeblichste Bericht; "Eine Studie über die Möglichkeiten der Grasfermentation" von Brinkman Consultancy ist bereits 10 Jahre alt[2]. Die darin enthaltenen Zahlen geben ein nationales Bild wieder, aber auf der Grundlage der flächendeckenden Verteilung auf die Provinzen wurde eine Übersetzung in die nördliche Region der Niederlande vorgenommen. Dadurch entsteht folgendes Bild:

Type	d.s. (kton)
Straßenbegleitgrün (Niederlande)	1.000
Straßenbegleitgrün (Nördliche Niederlande)	274
Naturgras & Grabenmähgut (Niederlande)	500
Naturgras & Grabenmähgut (Nord-Niederlande)	137
Gras-silage (Nordniederlande inkl. Overijssel)	1.267
Stro (Noord Nederland)	95

Tabelle 2. Verfügbarkeit von Gras in den Niederlanden

[2] Een studie naar kansen voor grasvergisting (RVO 2014)

Qualität der Rohstoffe

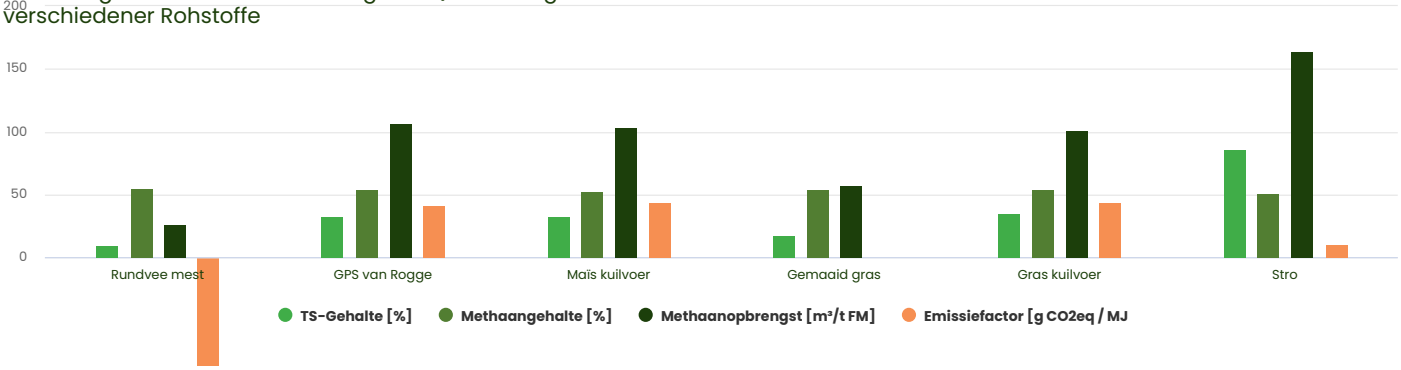
Obwohl diese Gras-ströme ein potenzielles Substrat bilden, sind sie in ihrer Zusammensetzung heterogen und in ihrer Qualität unterschiedlich. Die Eignung für die Biogaserzeugung ist abhängig vom Trockensubstanzgehalt und der Aufbereitungsmethode. Darüber hinaus können logistische und wirtschaftliche Faktoren, wie Ernte, Lagerung und Vorverarbeitung, den praktischen Einsatz beeinflussen.

Viele Qualitätsparameter sind in verschiedenen Literaturstudien zu finden, aber für die Biogaserzeugung sind der Gehalt an Trockenmasse (TM) und der Gehalt an organischer Trockenmasse (oTM) besonders wichtig. Tabelle 3 zeigt die wichtigsten Variablen, die landwirtschaftliche Fermentationssubstrate beschreiben.

Tabelle 3. Qualitätseigenschaften verschiedener Rohstoffe

	TS	Ots	Biogas-Ausbeute	Methange-halt	Methan-Ausbeute	Methan-Ausbeute	Emissionsfaktor
	%	% DS	m³/t FM	%	m³/t FM	m³/t oTS	g CO_2eq / MJ
Rindergülle	9	80	47	55	26	358	- 86
Roggen-GPS	33	95	201	54	107	348	41
Maissilage	33	93	195	53	103	341	44
Grasschnitt	18	90	95	54	57	351	N.b..
Grassilage	35	83	188	54	101	351	44
Stroh	86	91	322	51	164	210	10

Abbildung 3. Grafische Darstellung der Qualitätseigenschaften verschiedener Rohstoffe



Dies zeigt, dass sich Grasschnitt aufgrund des geringen Trockensubstanzgehalts und der geringen Gasausbeute weniger gut für die Fermentation ohne weitere Behandlung eignet. Grassilage weist ähnliche Eigenschaften auf wie Mais- oder Roggensilage, während Stroh aufgrund seines geringeren Wassergehalts eine höhere Gasausbeute aufweist.

Der prozentuale Anteil an organischer Trockenmasse pro Grasart auf der niederländischen Seite, wie in Tabelle 4 dargestellt, ist in Abbildung 4 dargestellt. Dies zeigt, wie sich der Anteil der Trockenmasse auf den gesamten Gehalt an organischer Trockenmasse auswirkt.

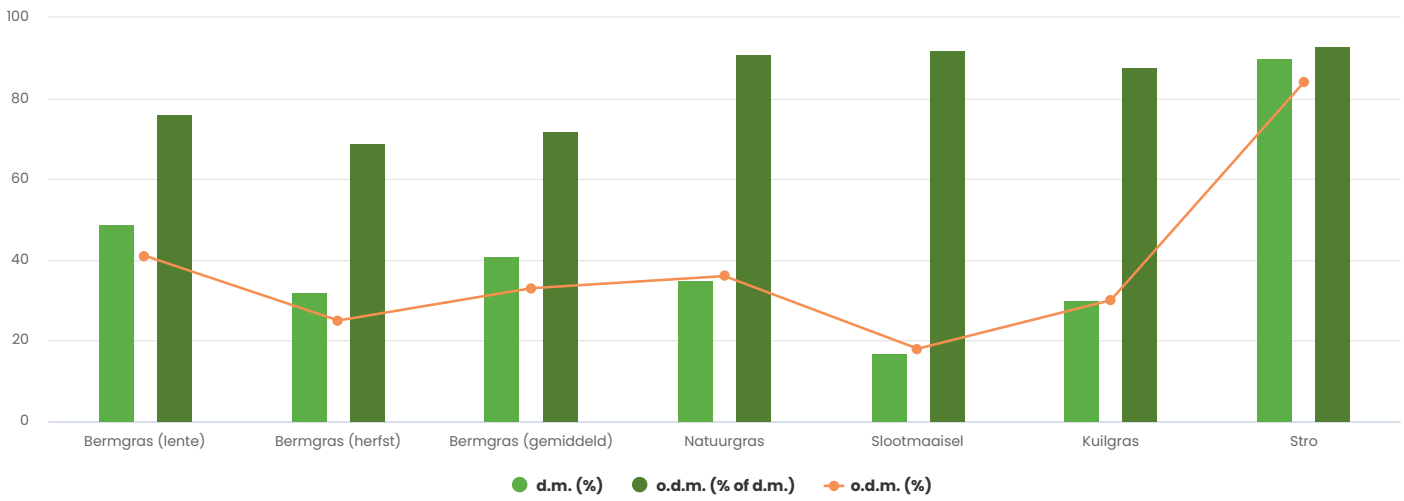


Abbildung 4. Qualität der verfügbaren niederländischen Grasabfallströme

Die tatsächliche Menge der in den Niederlanden verfügbaren Grasabfallströme, die für die Fermentation verwendet werden können, setzt sich aus der Gesamtmenge an organischer Trockenmasse zusammen. Gehen wir dann von einem theoretischen Methanpotential von 580 mN^3 CH_4 pro Tonne organischer Trockenmasse aus, ergibt sich folgendes Bild:

Tabel 4. Totale groengas potentieel voor verschillende grasreststromen

Type	d.m. (kton)	o.d.m. (kton)	MNm³ green gas
Bermgras	274	197	67
Natuurgras en slootmaaisel	137	126	43
Ingekuild gras	1,267	1,098	375
Stro	95	89	31

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Wunsch, Grasabfälle in den Niederlanden in Biogas umzuwandeln, realistisch ist, aber Verfügbarkeit und Qualität limitierende Faktoren sind, die eine gründliche Bewertung für jede spezifische Situation erfordern.

Ergebnisse

2. Installations-voraussetzungen und technische Möglichkeiten

2.1 Aufbereitung des Grases/ Vorbehandlung

Wenn wir Gras oder Stroh bei der Fermentation verwenden, haben wir es mit lignocellulosehaltiger Biomasse zu tun. Kurz gesagt bedeutet dies, dass die "fermentierbaren" Teile in den Zellwänden der Grasfasern eingeschlossen sind. Um eine effiziente und wirtschaftliche Vergärung zu erreichen, ist es erforderlich, die Biomasse vorzubehandeln.

Es gibt grob vier Kategorien, die viele Prinzipien der Vorbehandlung umfassen (siehe Abbildung 5).

Diese vier Kategorien sind: physikalisch, chemisch, physikalisch-chemisch und biologisch. In jeder Kategorie gibt es dann verschiedene Technologien zur Vorbehandlung von Biomasse mit einem jeweils unterschiedlichen technologischen Reifegrad. Jede Technologie hat Vor- und Nachteile.

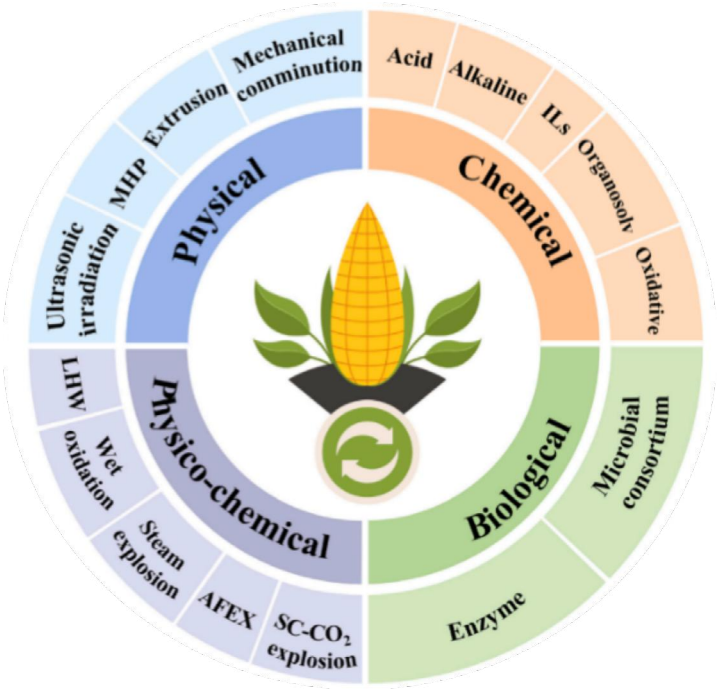


Abbildung 5. Schematische Darstellung der Vorbehandlungskategorien

Wie treffen Sie die richtige Wahl?
Die richtige Wahl für die Vorbehandlung hängt deshalb sehr stark von der Situation und den Wünschen des Endverbrauchers ab. Es gibt eine Reihe von Parametern, anhand derer man die Leistung der Vorbehandlungstechnologie testen kann und die daher bei der Auswahl der geeigneten Technologie herangezogen werden können:

1. Einfluss auf die Biogasertrag
Dieser Parameter beschreibt, wie sich die Vorbehandlung auf den Biogasertrag auswirkt. Methoden, die die Oberfläche von Biomasse vergrößern oder den Zugang zu verdaulichen Teilen verbessern, erhöhen die Erträge. Chemische und physikalisch-chemische Verfahren sind in der Regel wirksamer als physikalische und biologische Methoden.

2. Einfluss auf die hydraulische Verweilzeit
Die Vorbehandlung kann die Gärung beschleunigen, indem sie komplexe Strukturen schneller abbaut, und so die Verweilzeit verkürzt. Besonders thermochemische und chemische Verfahren beschleunigen den Abbau von Lignocellulose effektiver als mechanische oder biologische Verfahren.

3. Investitions- und Betriebskosten
Mechanische und biologische Verfahren benötigen geringere Investitionskosten, können aber aufgrund des Energieverbrauchs oder langer Prozesszeiten operationell teurer sein. Chemische und thermochemische Verfahren erfordern mehr Investitionen, können aber in Bezug auf Verarbeitungszeit und Ertrag effizienter sein.

4. Betriebliche Komplexität
Mechanische Vorbehandlungen sind einfach zu handhaben, während chemische und thermochemische Methoden eine präzise Prozesssteuerung und Sicherheitsanforderungen erfordern. Biologische Methoden können ein langfristiges Management der mikrobiellen Bedingungen erfordern.

5. Technologische Reife
Dieser Parameter gibt an, wie weit eine Technologie entwickelt und angewendet wurde. Mechanische und einige chemische Methoden sind schon breit anwendbar, während enzymatische und mikrobielle Methoden sich oft noch in der Konzeptphase befinden.

6. Umweltauswirkungen
Die Umweltauswirkungen werden durch den Energieverbrauch, den Chemikalienverbrauch und die Abfallproduktion bestimmt. Mechanische Verfahren sind umweltfreundlicher aber energieintensiver, während chemische Verfahren effektiver sein können, jedoch mehr Abfall und Emissionen erzeugen. Biologische Methoden sind in der Regel nachhaltiger, aber langsamer.

Punkteprofil der vier Hauptkategorien
Basierend auf der vorhandenen Literatur auf dem Gebiet der Vorbehandlungstechnologien wurde jeder der vier Hauptkategorien eine Punktzahl zugewiesen. Daraus ergibt sich eine Übersicht, wie in Abbildung 6 dargestellt.

Diese Übersicht hat gezeigt, dass die mechanische Vorbehandlung (blau in der Grafik) derzeit am besten zum Vom Gras zum Gas-Projekt passt, da sie einfach zu bedienen ist, eine durchschnittliche Leistung erbringt, skalierbar und relativ kostengünstig mit minimalen Auswirkungen auf die Umwelt ist. Nichtsdestotrotz könnten auch andere Kategorien interessant sein. Eine mögliche Alternative wird in Abschnitt 2.3 näher erläutert.

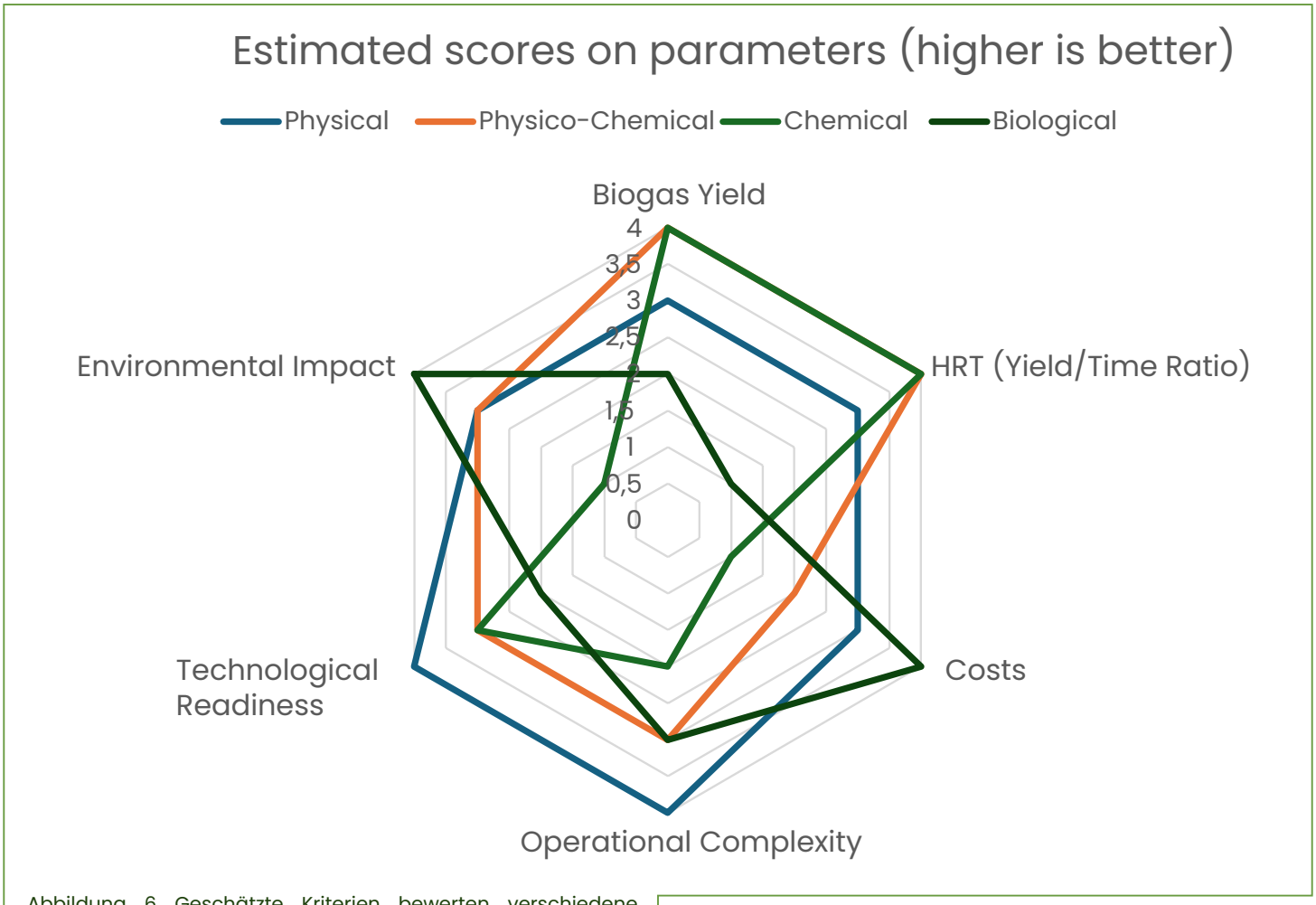


Abbildung 6 Geschätzte Kriterien bewerten verschiedene Vorbehandlungsmethoden

Vergleich Mechanische Vorbehandlungen

Im zweiten Schritt wurden vier Vorbehandlungsmethoden gegenübergestellt: der Cross-Flow-Grinder (CFG), die Kugelmühle (BM), der Amazon Grasshopper und die Technologie von Methaplanet (MP) (Abbildung 7). Dabei wurden Energieverbrauch, Methanertrag und geschätzte Investitionskosten analysiert und verglichen[3].

Abbildung 7. Methoden der Bildvorbehandlung

Vergleich der Methanausbeute

Der Vergleich der Methanausbeute hat gezeigt, dass durch die Vorbehandlung mit Methaplanet ca. 30% mehr Methan entsteht. Darüber hinaus erreicht Methaplanet den maximalen Methanertrag nach 41 Tagen, im Gegensatz zu 50 Tagen, die bei den anderen Vorbehandlungen (CFG, BM, AG) notwendig ist.

Der große Unterschied in der Methanausbeute ist jedoch nicht allein auf die Vorbehandlung zurückzuführen. Das liegt unter anderem an unbekannten Testmustern im Fall Methaplanet. Möglicherweise unterscheiden sich der Gras-Typ und die Substratzusammensetzung zwischen der Methaplanet-Technologie und anderen Methoden. Dies zeigt sich auch in einem Methan-Unterschied von etwa 5 %.

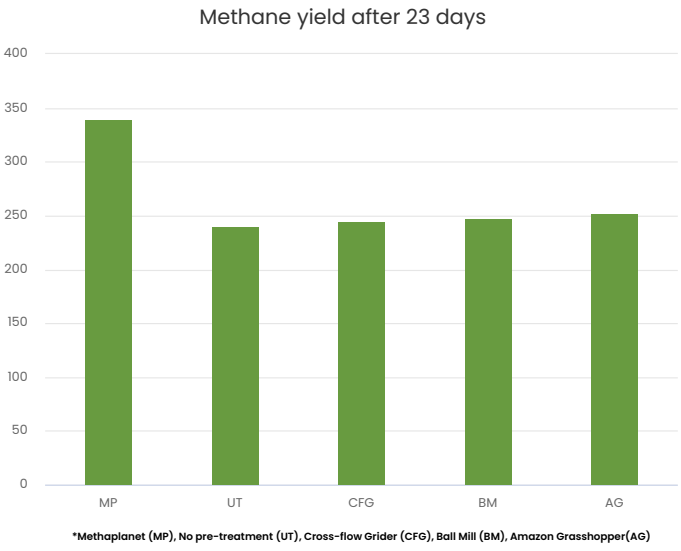


Abbildung 8. Methanausbeute nach 23 Tagen

Vergleich des Energieverbrauchs

Bei einer Vergleichsanalyse des Energieverbrauchs wurde eine Normalisierung auf kWh pro mN_3 zusätzlicher Methanausbeute vorgenommen (Abbildung 9). Daraus geht hervor, dass die Technologie von Methaplanet im Vergleich zu den anderen Methoden deutlich besser abschneidet.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Technologie von Methaplanet im Vergleich zu anderen mechanischen Vorbehandlungen eine höhere Methanausbeute und eine bessere umgewandelte Energieleistung (geringerer Energieverbrauch pro zusätzlichem m^3 Methan) aufweist. Die Investitionskosten und die Betriebskosten wurden nicht miteinander verglichen.

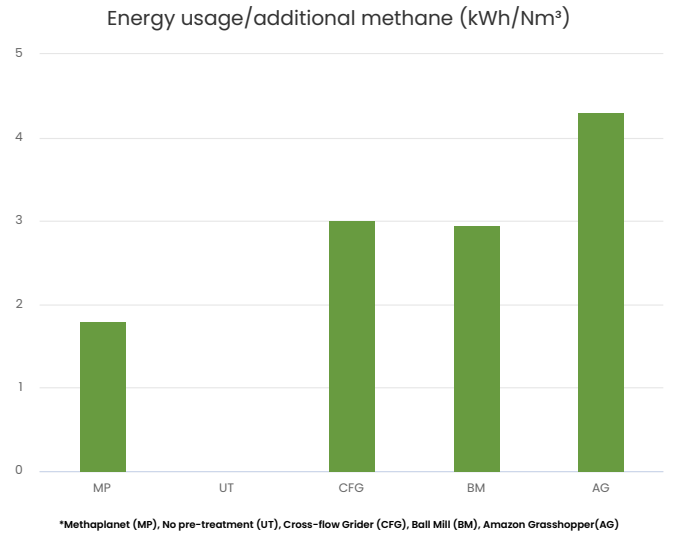


Abbildung 9 Energieverbrauch pro Nm_3 zusätzlichem Methanertrag

[3] Comparison of Different Mechanical Pretreatment Methods for the Anaerobic Digestion of Landscape Management Grass (State Institute of Agricultural Engineering and Bioenergy, University of Hohenheim, 2023)

2.2 Fermentationstechnologien

In dieser Teilstudie ging es um die Identifizierung der am besten geeigneten und wirtschaftlich vorteilhaftesten Fermentationstechnologie für die Vergärung von Stroh und Gras und die damit verbundenen technischen Anforderungen an den Fermenter.

Anforderungen an den Fermenter bei Verwendung von Stroh/Gras

Neben der Notwendigkeit, die Biomasse vorzubehandeln, bringt die Vergärung mit hauptsächlich Stroh und Gras als Ausgangsstoff zusätzliche Herausforderungen mit sich. Die größten Schwierigkeiten ergeben sich aus den großen Unterschieden in der molekularen Zusammensetzung der Biomasse im Vergleich zu beispielsweise der Güllevergärung. Der Fermenter muss daher über folgende Optionen verfügen:

- **Co-Fermentation mit Mist (oder anderem stickstoffreichen Substrat)** Gras und Stroh haben einen hohen Kohlenstoffgehalt. Um das Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis (C/N) auszugleichen, muss daher ein stickstoffreiches Substrat hinzugefügt werden[4]. Dies hilft, den pH-Wert zu stabilisieren und den Fermentationsprozess zu fördern.
- • **Trockenere Gärung (bis zu 20 % Trockenmassegehalt)** Unter anderem aufgrund der erforderlichen Vorbehandlung, insbesondere beim Einsatz der Methaplanet-Technologie, entsteht ein relativ trockener Untergrund. Das Substrat könnte durch Zugabe von Wasser verdünnt werden, was jedoch mit Kosten verbunden wäre. Darüber hinaus führt der Trockenaufschluss zu einer höheren “Organic Loading Rate”.

Die optimale Fermenterkonfiguration für die Gras-/Strohfaulung

Die Wahl der Fermenterkonfiguration bedeutet, eine Auswahl aus den richtigen Betriebsbedingungen und dem gewünschten Reaktor zu treffen. Abbildung 10 gibt einen Überblick über eine Reihe von Betriebs- und Reaktoroptionen.

Da viele Variablen eine entscheidende Rolle spielen, ist es schwierig, in der vorgegebenen Zeit eine quantitative Analyse durchzuführen, um die optimale Fermentationstechnologie zu identifizieren. Die Reaktorkonfiguration wurde daher auf der Grundlage einer Einschätzung mehrerer Kriterien (Tabelle 5) ausgewählt, die in der Literatur häufig verwendet werden, um die Leistungsfähigkeit der Vergärungstechnologien verwendet werden[5]:

Tabelle 5. Leistungsparameter des Fermenters

Leistungskriterien	Beschreibung
Methan-Ausbeute	Die Menge der Methanproduktion pro Substrateinheit
Organische Belastung Rate	Die Menge an organischer Substanz, die pro Tag und Kubikmeter Faulvolumen hinzugefügt wird, und gibt an, wie stark der Fermenter belastet ist
Investition	Die Kosten für den Bau und Kauf der Anlage
Betriebskosten	Kosten u.a. für Energie-, Arbeits- und Wartungskosten
Wasser	Die für den Prozess erforderliche Wassermenge
Verträglichkeit des Untergrunds	Die Menge der Rohstoffe, die verarbeitet werden können
Skalierbarkeit	Die Möglichkeit, zu größeren oder kleineren Operationen zu wechseln

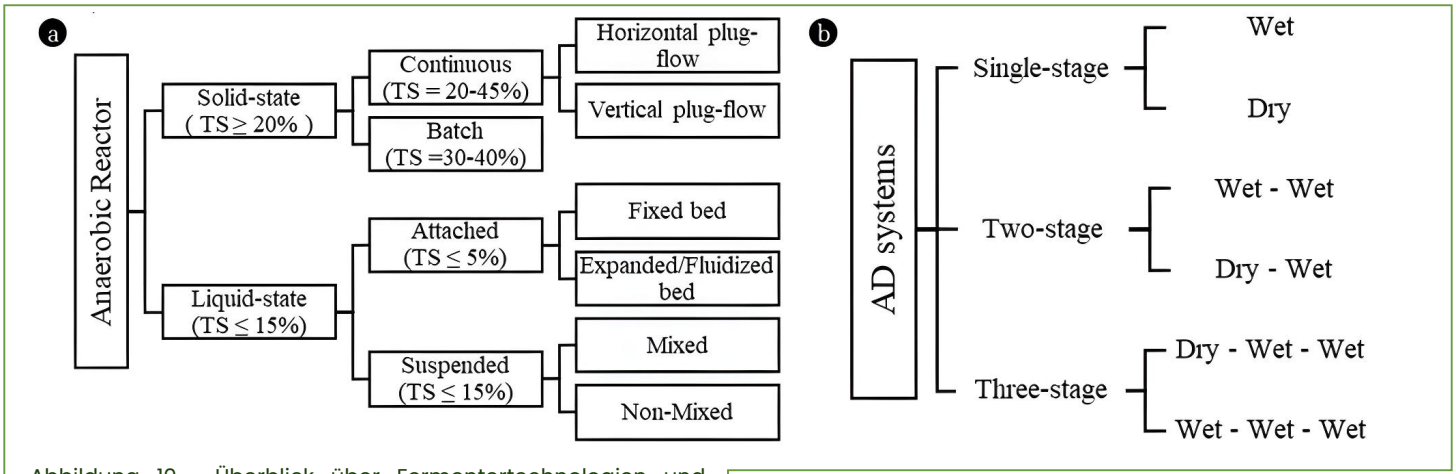


Abbildung 10. Überblick über Fermentertechnologien und Betriebskonfigurationen

[5] Anaerobic Digestion - Fundamentals, Modelling, and Applications (2024)

Unsere Analyse zeigt, dass ein einzelner, mesophiler, kontinuierlicher halbtrockener Pfropfenflussreaktor (PFR) für die Co-Vergärung von Gras zu Gas in der anaeroben Vergärung (AD) empfohlen wird. Dies stützt sich auf folgende Argumente:

1. Durchschnittliche Methanausbeuten: Die Pfropfenströmung sorgt für eine ausreichende Kontaktzeit, was vorteilhaft ist für Substrat mit langsamer Hydrolyse, wie z. B. bei der Fermentation von Gras/Stroh.

2. Relativ niedrigere CAPEX & OPEX: einfaches Design, geringerer Rührwerksbedarf im Vergleich zu anderen Reaktorkonfigurationen, dadurch niedrigere Betriebskosten.

3. Möglichkeit der Co-Fermentation: Diese Konfiguration kann (kleinere) Co-Fermentationsströme verarbeiten

Möglicherweise würden mehrere Stufen und thermophil eine höhere Ausbeute generieren . Dies bringt jedoch auch eine höhere Komplexität und erhöhte CAPEX & OPEX mit sich.

2.3 Innovationen zur optimalen Nutzung von (Gras-)Abfallströmen

Der Wunsch innerhalb des Projekts ist es, die Grasabfallströme bestmöglich zu nutzen. Aus diesem Grund wurden drei technische Innovationen im Projekt untersucht. Um einen Einblick in den Prozess der Biogaserzeugung und der Aufbereitung zu grünem Gas zu geben, hat die Abbildung 11 präsentierte eine schematische Darstellung der innovativen "Fermolyse-Prozess". Dieser Prozess beginnt mit Biomasse, die durch eine Künstlicher Pansenreaktor (ARR) wird untergliedert in flüchtige Fettsäuren (VFA). Diese VFAs dienen dann als Substrat für die anaerobe Vergärung, Es wird Biogas erzeugt, bestehend aus Methan (CH_4) und Kohlendioxid (CO_2).

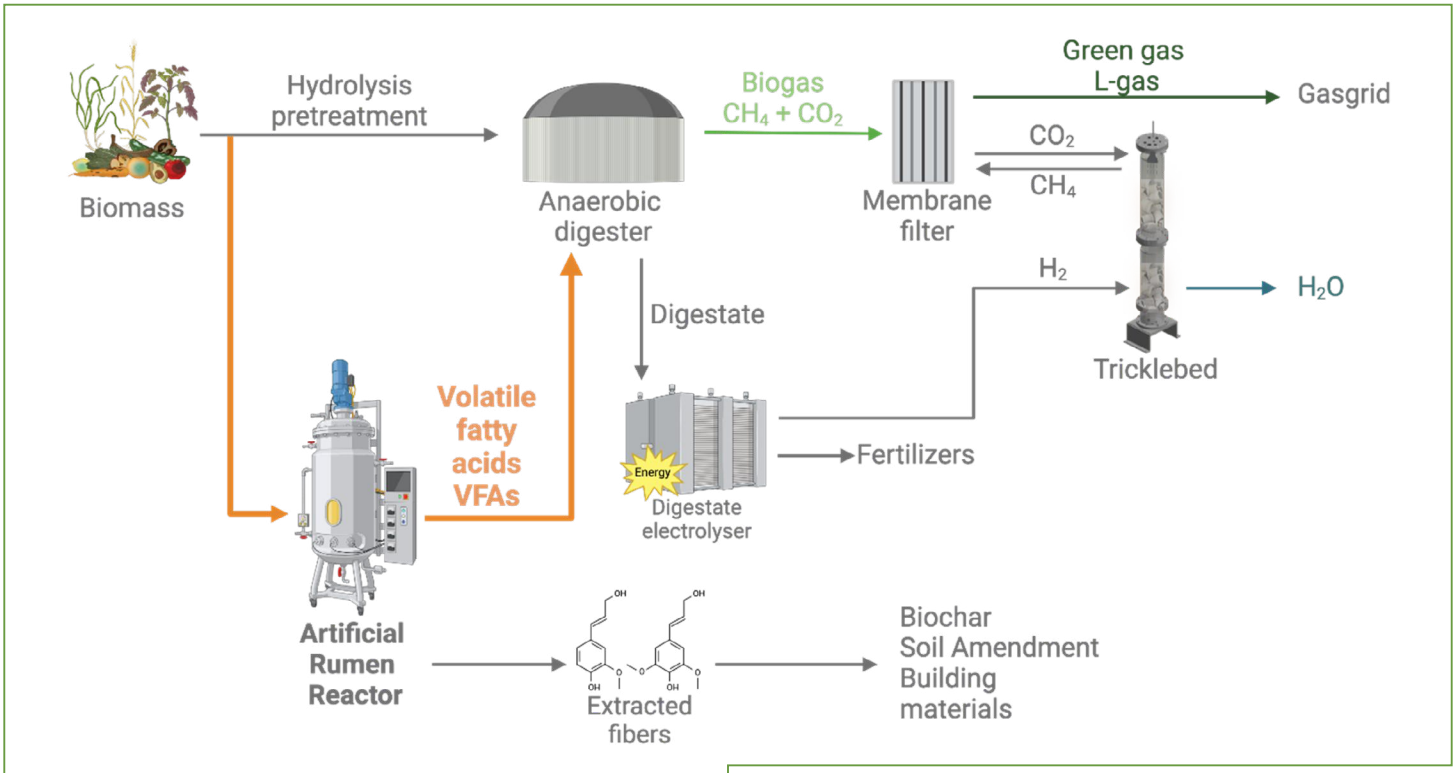


Abbildung 11. Darstellung des Fermolysekonzepts während der Fermentation. Die Abbildung zeigt die Abläufe und Freigabetechniken; Fermolyseverfahren als alternative Vorbehandlung, Tricklebed für die zusätzliche Methanproduktion aus CO_2 und Gärrest-Elektrolyseur als potenzielle Wasserquelle

Das erzeugte Biogas kann über einen Membranfilter und einen Rieselbettreaktor (TBR) weiter aufbereitet werden. In der TBR wird die CO_2-Fraktion durch die Zugabe von Wasserstoff (H_2) in zusätzliches Methan umgewandelt, was zu einer erhöhten Methankonzentration und einer Verringerung der CO_2-Emissionen führt. Gleichzeitig werden die restlichen Fasern aus dem ARR zu wertvollen Nebenprodukten, wie Pflanzenkohle, Bodenverbesserern oder Baustoffen verarbeitet. Der im Rieselbettreaktor benötigte Wasserstoff kann möglicherweise durch den Einsatz eines Gärrest-Elektrolyseurs gewonnen werden.

A: Künstlicher Pansenreaktor (ARR) für eine verbesserte Vorbehandlung und Verwertung:
Der in dieser Studie verwendete Rohstoff ist lignozellulosereiches Gras, ein gängiges und kostengünstiges Substrat für die Biogasproduktion. Lignin, ein wichtiger Bestandteil von Gras, lässt sich in einem herkömmlichen Biogasreaktor aufgrund seiner komplexen und stabilen Struktur nur schwer abbauen (Abbildung 12). Wiederkäuer hingegen haben sich so entwickelt, dass sie dank ihres spezialisierten Verdauungssystems und der Mikroorganismen in ihrem Pansen (Rumen) Lignin effektiv abbauen. Der künstliche Pansenreaktor (ARR) ahmt diese natürlichen Abbauprozesse nach und macht den Abbau von Lignocellulose effizienter als in herkömmlichen Aufschlusssystemen.

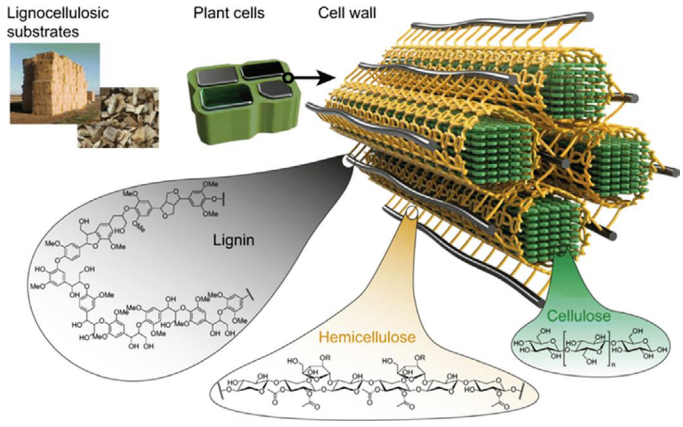


Abbildung 12. Struktur von grasartigen Reflows mit den Bestandteilen Lignin, Hemicellulose und Cellulose ansehen

Bei dieser Vorbehandlungsmethode wird das Gras effektiv in flüchtige Fettsäuren (VFAs) zerlegt, die dann in einem Fermentationsprozess in Methan umgewandelt werden. Der effizientere Abbau von Cellulose, Hemicellulose und in begrenztem Umfang Lignin im ARR führt zu einer stabilen Produktion von flüchtigen Fettsäuren. Diese VFAs bilden die direkten Bausteine für die Methanproduktion in den nachfolgenden Fermentationsschritten.

Nach der Zersetzung bleibt eine faserige Restfraktion zurück, die aus unabgebautem Lignin und anderen Strukturbestandteilen des Grases besteht. Diese Restfraktion hat nach wie vor wertvolle Anwendungen und kann beispielsweise für die Herstellung von Pflanzenkohle mittels Pyrolyse verwendet werden, die zur Kohlenstoffspeicherung und Bodenverbesserung beiträgt.

VFA-Ausbeute: Umgerechnet auf VFA produziert die "ARR-zu-VFA"-Route durchschnittlich 393 kg VFA pro Tonne trockenem Gras, was einen erheblichen Beitrag zur gesamten Methanausbeute leistet. Die Zusammensetzung der flüchtigen Fettsäuren (VFA) setzt sich zusammen aus: Essigsäure (AA): 68–72%, Propionsäure (PA): 18–19% und Buttersäure (BA): 9–11%. Die stabile VFA-Zusammensetzung deutet auf eine konsistente und reproduzierbare Umwandlung hin. Die hochfraktionierte Essigsäure ist aufgrund ihrer direkten Umwandlung in CH besonders vorteilhaft für die Methanproduktion.

Tabelle 6 vergleicht die Systemleistung des künstlichen Pansenreaktors (ARR) mit einem herkömmlichen Fermenter, wobei nicht nur die Methanausbeute, sondern auch Parameter wie Zykluszeit, Biomassedurchsatz, Nebenprodukte und Energieertrag berücksichtigt werden. Dieser Vergleich unterstreicht den Mehrwert des ARR, einschließlich eines schnelleren Verarbeitungszyklus, einer effizienteren Nutzung von Biomasse und der Möglichkeit der Verwertung von Nebenprodukten wie VFAs und faserreichen Abfallströmen.

Tabel 6. Systeemprestaties vergeleken tussen ARR en traditionele vergister

Leistungs-parameter	ARR	Traditioneller Fermenter
Methan-ausbeute (m^3/t ODM)	238 (pro Zyklus) > 1071 (23 Tage)	200-300, (unbehandelt)
Zykluszeit	5 Tage	23 Tage
Gesamter Biomasse-durchsatz (23 Tage)	~4,5 Tonnen	~1 Tonne
Neben-produkte	VFAs, faserreiche Fraktion (Biokohle möglich)	Gärrest
Energieertrag	~30% höher im Vergleich zur traditionellen Route	Grundlinie

In den Abbildungen 13a (Ausbeute) und 13b (Produktivität) werden die verschiedenen Vorbehandlungsmethoden, die in Abschnitt 2.2 erwähnt werden, auf der Grundlage der CH_4-Ausbeute pro Tonne organischer Trockenmasse (Abb. 11a) und der gesamten Methanproduktion über einen 23-Tage-Zyklus verglichen (Abb. 13b).

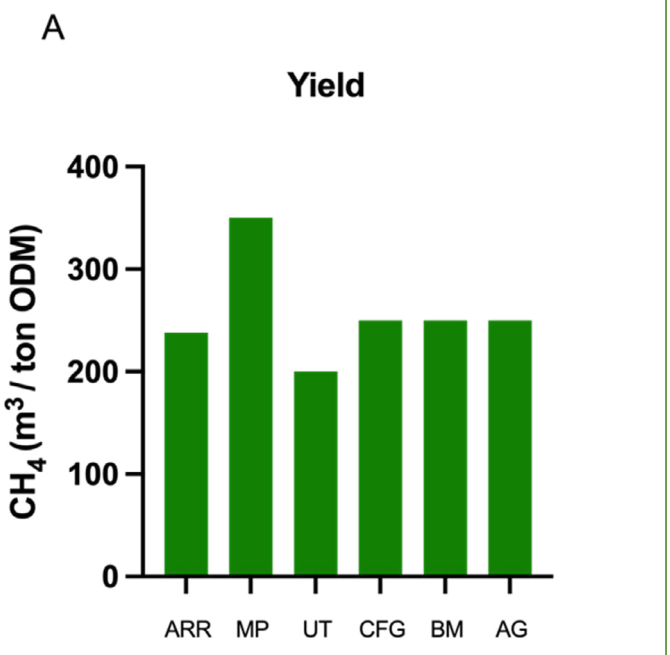


Abbildung 13a Ausbeuten von Vorbehandlungsverfahren

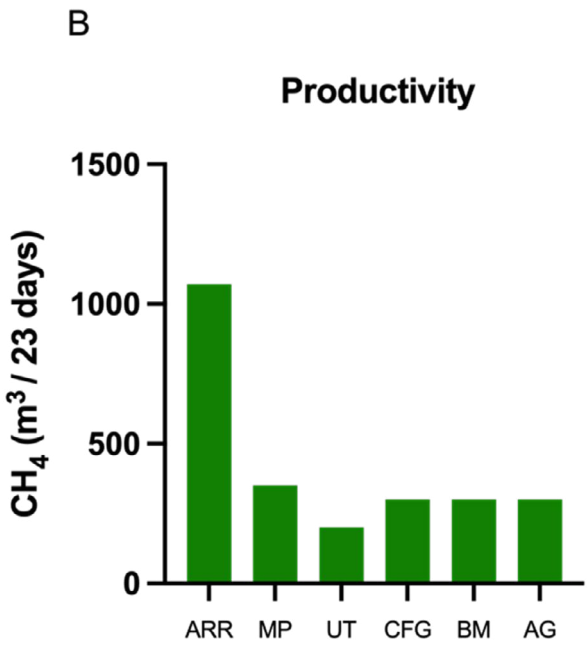


Abbildung 13b Methoden der Produktivitätsvorbehandlung

Diese Ergebnisse zeigen, dass der ARR bei einer vergleichbaren CH_4-Ausbeute pro Tonne organische Trockenmasse (oTM) aufgrund der kürzeren Zyklusdauer über einen festgelegten Zeitraum deutlich mehr Methan produziert. Die Effizienz des ARR wird somit im Vergleich zu herkömmlichen Methoden deutlich sichtbar.

B: Rieselbettreaktor (TBR) für zusätzliche Methanproduktion:
Da bei der Vergärung neben Methan auch CO_2 entsteht, kann es energetisch vorteilhaft sein, die CO_2-Fraktion aus dem Biogas über einen Festbettreaktor (Trickle-Bed Reactor / TBR) in CH_4 umzuwandeln. Tabelle 7 zeigt die CH_4-Produktion (m^3) verschiedener Grasvorbehandlungsmethoden, ausgedrückt sowohl pro Tonne oTM als auch pro 23 Tage. Die vierte Spalte zeigt die Menge des produzierten CO_2 (m^3). Wenn das Biogas durch einen Rieselbettreaktor geleitet wird, wird das gesamte CO_2 in CH_4 umgewandelt, wodurch sich die Gesamtproduktion fast verdoppelt.

Tabelle 7 Produktion von CH_4 und anderen Strömen einschließlich TBR

Vor der Behandlung	CH_4-Ertrag	CH_4-Production (m^3 /23 days)	CO_2-Production (m^3 /23 days)	TBR*	Frage bis H_2
**ARR	238.0	1071.0	714	1785	2856
Methaplanet (MP)	350.0	350.0	233	583	932
Keine Vorbehandlung (UT)	200.0	200.0	133	333	532
Querstrom-Zerkleinerer (CFG)	300.0	300.0	200	500	800
Kugelmühle (BM)	300.0	300.0	200	500	800
Amazon Grashüpfer (AG)	300.0	300.0	200	500	800

Abbildung 14 zeigt den spezifischen Beitrag von TBR zur Methanproduktion für jede Vorbehandlungsmethode.

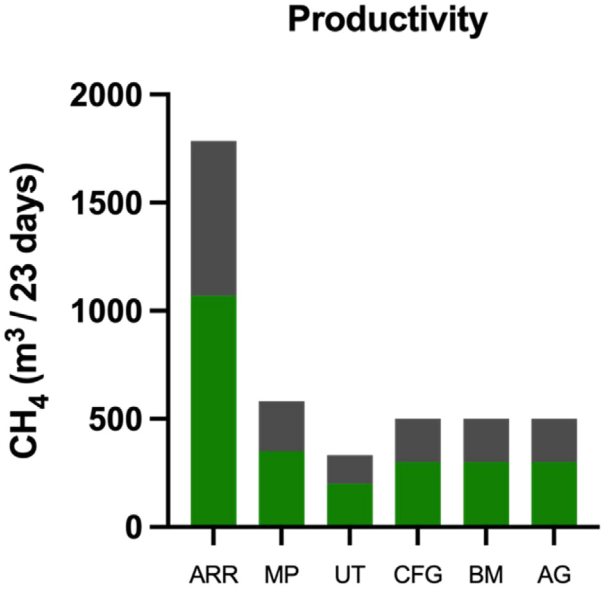


Abbildung 14. Produktivität von Tricklebed im Vergleich zu verschiedenen Fermenterkonfigurationen

C: Elektrolyse von Gärresten für eine nachhaltige Wasserstoffproduktion
Der für die TBR benötigte Wasserstoff kann mit unserer eigenen Produktion von Wasserstoff hergestellt werden. Dies kann auf zwei Arten erfolgen:

1. Produktion aus Wasserelektrolyse durch eigene Erzeugung von nachhaltigem Strom aus Sonne oder Wind;

2. Elektrolyse von Ammoniak in Gärresten

Wasserstoff kann mit der "Ready-to-use"-Technologie aus Wasser hergestellt werden. Mit Hilfe eines Wasser-"Elektrolyseurs" wird Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff umgewandelt. Für diesen Prozess wird neben Wasser auch Strom benötigt. Profitable Szenarien machen sich die Preisdynamik der Eigenerzeugung aus Sonne oder Wind zunutze: Wasserstoff wird zu Zeiten erzeugt, in denen es ungünstig ist, den erzeugten Strom ins Stromnetz einzuspeisen. Auf diese Weise werden die Kosten für die Herstellung von Wasserstoffgas minimiert.

Die Elektrolyse von Ammoniak ist eine Technik, die sich in der Entwicklung befindet. Bei diesem Verfahren wird Ammoniak mit Strom in Wasserstoff und Stickstoffgas gespalten; Auf Wunsch kann die Elektrolyse sogar bis zum Nitrat fortgesetzt werden, wobei mehr Wasserstoff hergestellt wird und das Nitrat für die Herstellung von Düngemitteln verwendet werden kann. Neben der Herstellung von Wasserstoff bietet dieses Verfahren auch die Möglichkeit, überschüssiges Ammoniak auf wertvolle Weise zu entfernen. Welcher Teil des Wasserstoffbedarfs in der TBR durch die Elektrolyse von Ammoniak gedeckt werden kann, hängt grundsätzlich davon ab, wieviel Biogas ein Substrat pro Tonne produziert und wieviel Ammoniak der Gärrest enthält. Dies kann zwischen etwa 10 % und 75 % variieren.

D: Eignung der Grasverarbeitung
Abhängig von der Menge der verfügbaren Biomasse kann der theoretische Methanertrag aus Gras berechnet werden. Dies beginnt mit der Bestimmung der Menge an flüchtigen Fettsäuren (VFA), die pro Tonne trockenem Gras produziert wird. Bei einem Umrechnungsfaktor von 0,4 ergibt sich ein VFA von 400 kg pro Tonne Gras. Da 85 % des VFA aus organischem Trockenmaterial (oTM) stammen, bleiben effektiv 340 kg oTM übrig. Darüber hinaus zeigen erste Experimente, dass neben VFAs auch andere organische Komponenten zum gesamten chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) beitragen. Etwa 40 % des gesamten CSB bestehen aus Nicht-VFA-Komponenten. Daraus ergibt sich in etwa ein CSB-Gesamtwert von 567 kg pro Tonne Trockenmassegras, wovon ~227 kg CSB aus Nicht-VFA-Quellen stammen.

Da die Methanproduktion über die anaerobe Vergärung auf der Umwandlung von CSB basiert, kann die theoretische Methanausbeute mit einem durchschnittlichen Umrechnungsfaktor von 0,35 m^3 CH_4 pro kg CSB berechnet werden. Das bedeutet, dass die gesamte Biogasproduktion direkt von der verfügbaren CSB-Fraktion und dem Wirkungsgrad der Umwandlung abhängig ist. Die Methanausbeute aus dem gesamten CSB lässt sich wie folgt berechnen: 158 m^3 CH_4 aus VFA + 80 m^3 CH_4 aus anderen organischen Bestandteilen = 238 m^3 CH_4 pro Tonne Trockenmassegras.

Aus unterschiedlichen Rapporten wird deutlich, dass im Jahr 2023 114596 Tonnen Strohertrag zur Verfügung standen, was 95076 Tonnen Trockenmasse entspricht. Theoretisch können Click or tap here to enter text.daraus 19.015.200 m^3 CH_4 (traditionell) und 18.825.048 m^3 CH_4 (ARR-VFA-AD) hergestellt werden[6].

Die innovative Fermolyse-Faulungsmethode beschleunigt die Produktion im Vergleich zur herkömmlichen Fermentation potenziell um das 4,5-fache, während die Methanausbeute pro Tonne Trockenmasse nahezu konstant bleibt (238 m^3 CH_4 vs. 200-300 m^3 CH_4 pro Tonne). Dank der stark verbesserten Aufbereitungskapazität kann eine Biogasanlage innerhalb der bestehenden Infrastruktur optimal funktionieren. Damit eignet sich diese Technologie besonders für Anlagen, die ihre Leistung maximieren wollen, ohne die Reaktorkapazität signifikant zu erweitern.

[6] Eine Studie über die Möglichkeiten der Grasfermentation, n.d 2024 TenKate_Gras siliert (RAPPORT_510065_BIOMAISSA , n.d .)

Ergebnisse

3. Rechtliche Aspekte

Neben den technischen Fragestellungen spielen die rechtlichen Rahmenbedingungen bei der Vergärung von Grasbächen als Biogassubstrat eine wichtige Rolle. Dieses Kapitel gibt einen Überblick über den Rechtsrahmen für die Vergärung von grasbewachsenen Abfallströmen und die damit verbundenen Tätigkeiten wie die Lagerung und den Transport von Biomasse und die Verwendung als Brennstoff.

3.1 Rechtslage in den Niederlanden

Unternehmer in den Niederlanden, die Biogas aus Grasreststrømen herstellen wollen, müssen strenge Gesetze und Vorschriften einhalten. Die Grasfermentation befindet sich noch in der Versuchsphase und wird in der Praxis häufig mit Gülle kombiniert (Co-Fermentation). Dies bringt spezifische Genehmigungsanforderungen mit sich, die vom Umfang und der Anwendung des Biogases abhängen. Darüber hinaus gelten strenge Regeln für die Lagerung und den Transport von Biomasse und Biogas sowie Sicherheitsvorschriften bei der Verwendung als Kraftstoff.

3.1.1. 1. Genehmigungsanforderungen für die Gärung von Gras

Die Vergärung von Gras erfordert Genehmigungen, die von der Kombination mit Mist, dem Zunder und der Verarbeitung der Abfallstoffe abhängen. Für jede Form der Gärung muss festgestellt werden, ob es sich um eine Ko- oder Monovergärung handelt und ob die Anlage unter die IVU-Vorschriften fällt. Dies ist der Fall, wenn das Unternehmen mehr als 100 zehn kg pro Tag verdaut (anaerob). Es handelt sich um einen Fall der Verwertung von Abfällen[7] (Kategorie 5.3b)

i. Regeln für die Anlage der Mitfermentation (Gras + Mist):

Dies fällt unter die umweltschädliche Tätigkeit des "Güllebehandlungsunternehmens[8]" (Abschnitt 3.6.8 Bal). Eine Umweltgenehmigung für umweltschädliche Tätigkeiten ist erforderlich für:

- Vergärung von Tiermist mit Abfällen (Art. 3.226 Abs. 1b Gesetz).
- Vergärung von Tiermist mit Pflanzenmaterial (Art. 3.226 Abs. 1c Bal).
- Werden mehr als 25.000 m³ Gülle von Dritten verwendet, fällt die Vergärung unter die umweltschädliche Tätigkeit der "großflächigen Gülleverarbeitung[9]" (Absatz 3.3.14 Bal).

Die Anforderungen an die Fermentation sind in Absatz 4.88 (Güllevergärungsanlage) festgelegt. Diese Anforderungen gelten auch für die Mitfermentation, allerdings müssen für umweltschädliche Tätigkeiten bei der Verwendung von Co-Fermentationsmaterialien zusätzliche Anforderungen in die Umweltgenehmigung aufgenommen werden. Zu beachten sind:

- Bei der Verwendung von Co-Fermentationsmaterialien mit einem relativ hohen Schwefelgehalt, wie z. B. Kohl und proteinreiches Material, ist der Schwefelwasserstoffgehalt ein wichtiger Punkt.
- Wenn das Co-Fermentationsmaterial ein aggressiveres Klima im Gärtank erzeugt. In diesem Fall kann es erforderlich sein, den Boden und die Wände des Gärtanks zusätzlich zu schützen.

3.1.2. Lagerung und Transport von Co-Fermentationsmaterialien

Die Fermentation erfordert die Lagerung und den Transport von Biomasse, für die besondere Regeln gelten. Bei Lagerung und Transport muss der Unternehmer feststellen, ob die Materialien als Abfall gelten und ob zusätzliche Umweltauflagen gelten. Nach Art. 1.1 des Gesetzes über das Umweltmanagement sind Abfälle *"alle Stoffe, Gemische oder Gegenstände, dessen sich der Besitzer entledigt, entledigen will oder zu entledigen hat".*

Auf der Grundlage dieser Definition ist kommunales Gras, z. B. aus der Straßenrandbewirtschaftung, am ehesten als Abfall anzusehen, da die Gemeinde das Gras entsorgt, selbst keine Verwertungsverwendung dafür hat und es nicht mehr als Rohstoff in ihrer eigenen Organisation verwendet. Wenn ein landwirtschaftlicher Betrieb den Grasreststrom selbst verwendet, scheint er unter die regulären Co-Fermentationsmaterialien zu fallen.

i. Regeln für die Lagerung und den Transport von regulärem Co-Fermentationsmaterial:

Bei der Lagerung von Biomasse kann zwischen festen und flüssigen Co-Fermentationsstoffen unterschieden werden. Feste Co-Fermentationsmaterialien fallen unter Nummer 4.104 des BAL und gelten als "eutrophe Güter". Im Falle von flüssigen Co-Fermentationsmaterialien gibt es keine spezifischen Bal-Anforderungen, aber die Lagerung dieser Materialien unterliegt Umweltvorschriften, z. B. für Tanks und Becken. In diesem Fall können diese spezifischen Anforderungen in die Umweltgenehmigung aufgenommen werden. Darüber hinaus können zusätzliche Maßnahmen zur Geruchsbekämpfung erforderlich sein. Die Gemeinde legt fest, welche Geruchsbelästigung akzeptabel und welcher Abstand ausreichend ist. Für Co-Vergärungsmaterialien, die nicht als Abfall gekennzeichnet sind, gibt es keine zusätzlichen Transportanforderungen.

[7] Verwertung von Abfällen
[8] Unternehmen für die Gülleaufbereitung
[9] Großflächige Gülleaufbereitung

ii. Vorschriften für die Lagerung und den Transport von Abfällen als Co-fermentationsmaterial:
Für Mitvergärungsmaterialien, die als Abfall gekennzeichnet sind, gelten die Anforderungen des Kapitel 10 des Umweltmanagementgesetzes (Wmb). Für eine effiziente Abfallbewirtschaftung muss es möglich sein, Gärreste als Dünger zu verwenden. Diese Anforderungen sind im Düngemittelgesetz festgeleg[10]. Darüber hinaus ist bei Tätigkeiten mit Abfallstoffen, im Falle einer Erweiterung oder anderer Veränderungen immer zu prüfen, ob eine Umweltverträglichkeitsprüfung erforderlich ist.

Im Wesentlichen sind die Vorschriften für die Lagerung von Abfällen die gleichen, insbesondere in Bezug auf die physischen Einrichtungen (Abdeckung, Geruchskontrolle). Abfälle unterliegen jedoch zusätzlichen rechtlichen Verpflichtungen, insbesondere in Bezug auf Bewirtschaftung und Verwaltung, Genehmigungsauflagen und mögliche Umweltverträglichkeitsprüfungen. Darüber hinaus gelten für Abfallstoffe wie Co-Fermentationsmaterial besondere Transportvorschriften, wie z. B. die Eintragung in die VIHB-Liste, die Verwendung von Leitfäden und die Einhaltung der EWSR-Vorschriften beim grenzüberschreitenden Transport.

3.1.3. Regeln und Genehmigungsanforderungen für die Betankung von komprimiertem Erdgas (CNG)

Bei der Verwendung von Biogas als Kraftstoff für landwirtschaftliche Fahrzeuge gelten zusätzliche Genehmigungen und Sicherheitsvorschriften. Diese Regeln beziehen sich auf Sicherheitsvorschriften wie Abstände, Inspektions- und Bauanforderungen an die Tankanlage. Diese sind in Absatz 4.37 des Dekrets über Aktivitäten im Bereich der Lebensumwelt (BAL) enthalten.

i. Wann gelten die Regeln?
Die Vorschriften des Absatzes 4.37 gelten nur, wenn es sich um die Betankung von CNG an einer Betankungsanlage handelt, die für Fahrzeuge, Schiffe oder Ausrüstungen bestimmt ist, und wenn sie auch unter eine der folgenden umweltschädlichen Tätigkeiten fällt:

- Abschnitt 3.8.3. Bunkerstationen und andere Betankungsplätze für Schiffe
- Ziffer 3.8.6 Lager- und Transportunternehmen, Großhändler oder Containerterminal
- Abschnitt 3.8.10: Tankstelle

ii. Sicherheitsabstände für CNG-Tankanlagen
Bei der Betankung mit CNG gelten Mindestabstände zur Tanksäule (der Tankstelle für Fahrzeuge) und dem Pufferspeicher (die Zwischenlagerung von Druckgas vor Ort). Diese Abstände sind in Tabelle 4.484 des Balls festgelegt und hängen von der Art der Nutzung ab (Tabelle 8)

Tabelle 8. Abstandsanforderungen für Tankanlagen gemäß der PGS 25 .

Situation	Abstand zu Objekten
Betankung von ≤300 Autos und ≤100 Bussen/Tag	10 m von der Tankstelle entfernt
Betankung von >300 Autos oder ≤100 Bussen/Tag	15 m von der Brennstoffsäule entfernt
Betankung von >100 Bussen/Tag	20 m von der Kraftstoffsäule entfernt
Pufferspeicherwasserinhalt <3 m³	10 m vom Pufferlager entfernt
Wasserinhalt Pufferspeicher 3-5 m³	15 m vom Pufferlager entfernt
Wasserinhalt Pufferspeicher >5 m³	20 m vom Pufferlager entfernt

iii. Anforderungen aus PGS 25 (Publication Series Hazardous Substances)
Gemäß Artikel 4.486 des Balls gelten die Anforderungen von PGS 25 auch für CNG-Tankanlagen. Dieses PGS enthält Richtlinien für den Bau der Installation, die Inspektion, Inspektion und Wartung sowie die Abstände zu Objekten innerhalb des Standorts selbst. Die spezifischen Richtlinien der oben genannten Punkte können über die Website der Publikationsreihe Hazardous Substances (PGS) eingesehen werden.

iv. Verbotene Handlungen:
Gemäß Artikel 4.487 Bal darf CNG nur in fest eingebauten Kraftstofftanks von Fahrzeugen, Schiffen und Geräten betankt werden. Das Befüllen einzelner Gasflaschen und Wechselbehälter ist nicht gestattet (hierfür sind separate Abfüllstationen erforderlich).

[10] Düngemittelgesetz

3.1.4. Zuständige Behörde und Vollstreckung

Je nach Umfang und Aktivität sind unterschiedliche Regierungsbehörden für die Lizenzierung und Kontrolle zuständig. Unternehmer müssen festlegen, welche Behörde für ihren Erlaubnisantrag zuständig ist und ob zusätzliche Vorschriften gelten.

- **Gemeinde:** zuständige Behörde für die regelmäßige Gärung und Mitgärung.
- **Provinz (Landesexekutive):** zuständige Behörde für die **großtechnische Gülleaufbereitung** (dies gilt für die Verwendung von mehr als 25.000 m³ Gülle von Dritten).

3.2 Situation in Deutschland

Neben den fachlichen Fragestellungen spielen die rechtlichen Rahmenbedingungen eine wichtige Rolle bei der Bewertung von Grassilage als Biogassubstrat. Dabei sind drei Handlungsebenen zu berücksichtigen:

3.2.1. Baugenehmigung

Die Baugenehmigung – sowohl als landwirtschaftlich privilegierte Anlage nach § 35 BauGB als auch im Falle einer Genehmigung nach dem BimSchG – enthält verbindliche Anforderungen an den zu verwendenden Untergrund. Ist Grassilage hierin nicht aufgenommen, muss die Genehmigung geändert werden. In der Regel sollte dies kein großer Aufwand sein, denn Grassilage ist ein landwirtschaftliches Substrat.

3.2.2. Einsatz in der Kraft-Wärme-Kopplung

Wird das Biogas für die Kraft-Wärme-Kopplung genutzt und der Strom nach den Bestimmungen der EWG vergütet, ist die geltende Fassung des Gesetzes zu beachten. In den Versionen 2004 und 2009 gilt Grassilage wie andere angebaute Biomasse als nachwachsender Rohstoff, so dass der sogenannte Nawaro-Bonus gewährt wird.

In der Fassung 2012 wird Grassilage wie andere angebaute Biomasse in die Einsatzstoffabgabeklasse I einbezogen, so dass die entsprechende Zusatzgebühr gewährt wird. In der Version 2023 fällt Grassilage nicht unter den sogenannten Maisdeckel, der einen maximalen Mais- und Silagegehalt von 30 – 35 % vorschreibt. Der Einsatz von Grassilage als Ersatz für Mais und andere Silage in bestehenden Biogasanlagen ist daher aus rechtlicher Sicht recht einfach möglich.

3.2.3. Verwendung als Kraftstoff

Bei der Verwendung von Biogas als Kraftstoff sind mehrere Bestimmungen zu beachten. In der 38. BImSchV gilt Grassilage als konventioneller Biokraftstoff das heißt, er wird auf die Erfüllung von Treibhausgasminderungsverpflichtungen angerechnet, nicht aber als fortschrittlicher Biokraftstoff wie Gülle und Abfall gesehen.

Biogas, das als Kraftstoff verwendet wird, muss im Nabisy-Register eingetragen werden. Dazu ist ein Code erforderlich, der das Ausgangsmaterial und das Produkt (CNG, LNG, LPG) beschreibt. Für Biomethan aus Grassilage gibt es sechs Codes, die eine entsprechende Einordnung erleichtern. Werden andere als die bereits genannten Rohstoffe (Sudangras, Weidelgras, Feldgras, Kleegras) verwendet, können weitere Codes angefordert werden. Es wurden jedoch noch keine Standardwerte für die Reduzierung von Treibhausgasen festgelegt. Da im konkreten Fall einzelne Beweismittel aufbewahrt werden müssen, stellt dies kein Hindernis dar. Literaturwerte können in der Projektierungsphase verwendet werden. Im Rahmen der Projektplanung sollte ein Treffen mit dem Umweltgutachter gesucht werden oder eine Ökobilanz durchgeführt werden, um die Standardwerte zu verbessern

Ergebnisse

4. Techno-ökonomische Analyse

Dieses Kapitel enthält eine erste Kosten Nutzen Analyse der Grasfermentation auf der Grundlage des KTBL Probiogas Tools[11] – einem Planungstool für landwirtschaftliche Biogasanlagen. Da die niederländischen Milchbauern ihr Gras hauptsächlich als Tierfutter verwenden, stehen kaum Grasabfallströme für die Fermentation zur Verfügung. Der niederländische Landwirt Ten Kate will das produzierte Gas in das Erdgasnetz einspeisen. Um ein vollständiges Bild der finanziellen Aspekte, einschließlich der Möglichkeit von CNG-Tankstellen, zu erhalten, wurde der deutsche Fall als Grundlage für die Schätzung der Investitions- (CAPEX) und Betriebskosten (OPEX) gewählt.

4.1 Beschreibung und Grundsätze der Installation

Als Fallbeispiel dient das deutsche Unternehmen Thomssen mit Niederlassungen in Bunde, Idafehn und Pewsum. Knapp 830.000 Liter Diesel verbrauchte Thomssen im Jahr 2023 für seine Fahrzeuge. Würden sie den gesamten Diesel durch Biomethan ersetzen, bräuchten sie etwa 710.000 kg. Thomssen stehen 15.000 Tonnen Grasschnitt zur Verfügung, geht man von einer Co-Vergärung mit der gleichen Menge Schweinemist aus, würden etwa 1.175.000 kg Biomethan entstehen. Dies wäre mehr als ausreichend, um den eigenen Bedarf zu decken.

Hauptkomponenten der Installation

Mit dem KTBL Probiogas Tool können die verwendeten Substratarten und -mengen eingegeben und eine Auswahl der Installationskomponenten getroffen werden. Auf dieser Basis können mögliche Optionen für die Fortführung des Betriebs vorgestellt werden. Die Einsatzmöglichkeiten sind die Kraft-Wärme-Kopplung (Energieerzeugung vor Ort und Satelliten mit BHKW inklusive Wärmerückgewinnung) sowie die Biomethanproduktion und -import (evtl. mit CNG-Tankstelle). Die Ergebnisse zeigen anlagenspezifische Kennzahlen wie Investitionsbedarf, Jahreskosten, Arbeitszeitbedarf und -kosten sowie Kosten für die Produktion von Strom oder Biomethan. Für die Verarbeitung eines Gemischs aus 30.000 Tonnen Mist und Gras ist folgende Anlage erforderlich (Abbildung 15).

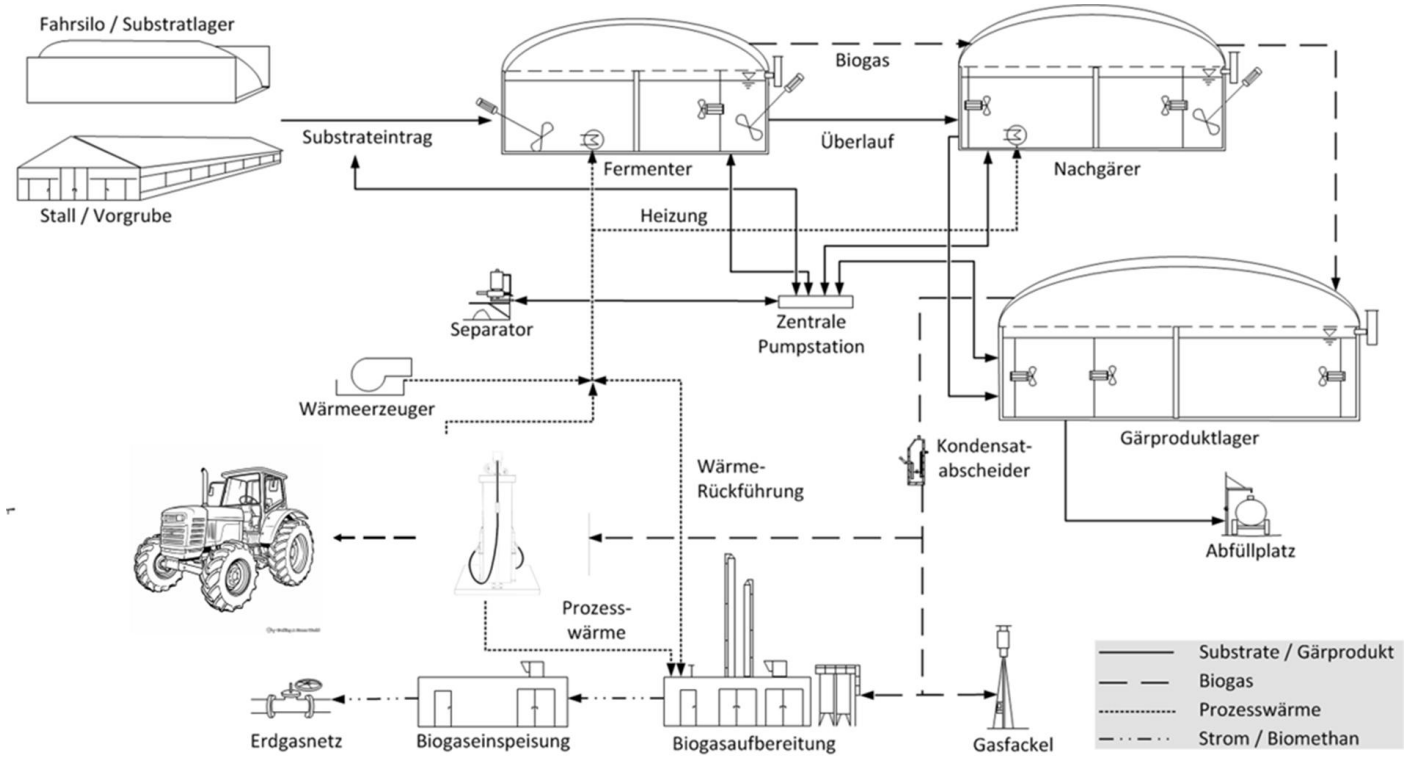


Abbildung 15. Übersicht der Installationskomponenten aus dem KTBL Probiogas Tool; Die Anlage besteht aus einer Biogasanlage mit kombinierter Netzeinspeisung und CNG-Tankstelle

[11] https://daten.ktbl.de/biogas/startseite.do;jsessionid=8174F0D8D6410C341824D14A426B2349

4.2 Investitions- und Betriebskosten

Der techno-ökonomische Fall zeigt, dass die Fermentation von Gras in Kombination mit Schweinemist zu Biomethan ein technisch robuster und finanziell interessanter Weg ist, vorausgesetzt, der Umfang und die lokalen Bedingungen sind optimal. Die Gesamtinvestition in Höhe von 4.077.706 € wird hauptsächlich von drei Hauptkomponenten getragen: der Membrananlage (1.538.503 €), der Gärrestlagerung (580.186 €) und den Fermentern (925.075 € für Haupt- und Sekundärfermenter). Die Gärrestlagerung – einschließlich Gasdach – wird für die Emissionskontrolle und die Speicherkapazität benötigt, was für die Einhaltung von Umweltvorschriften von entscheidender Bedeutung ist.

Tabelle 9. Gesamtinvestitionskosten (CAPEX)

Teil	**Beschreibung**	**Investition (€)**
Digester	3200 m³ Bruttoinhalt	478.851
Nachgärer	3200 m³ Bruttoinhalt	446.224
Gärrestlager mit Gasdach	7000 m³ Bruttovolumen	580.186
Zentrales Pumpwerk	45 m³/h Kapazität	37.142
Mobile Endgeräte		188.720
Mess- und Regeltechnik	MSR-Technologie & Gaspanel	227.127
Installation von Membranen	400 Nm³/h	1.538.503
Biogas-Tankstelle	250 Nm³/h	330.953
Einspeise-Station		
Einspeisestation und Pförtner Torwächter		250.000
Gesamt		**Investition (€)**
Investition ex. Grundstück		4.077.706

Die Wahl der Co-Fermentation mit Schweinegülle ist auch wirtschaftlich klug: Dieses Substrat ist ohne Anschaffungskosten erhältlich und erhöht das C/N-Verhältnis, was die mikrobielle Effizienz im Fermenter unterstützt. Der Kapazitätsbedarf von 710.000 kg Biomethan als Ersatz für Diesel wird durch die jährliche Ausbeute von 1.175.000 kg Biomethan weitgehend gedeckt, was Raum für den Verkauf oder eine weitere Anwendung wie eine öffentliche CNG-Station lässt.

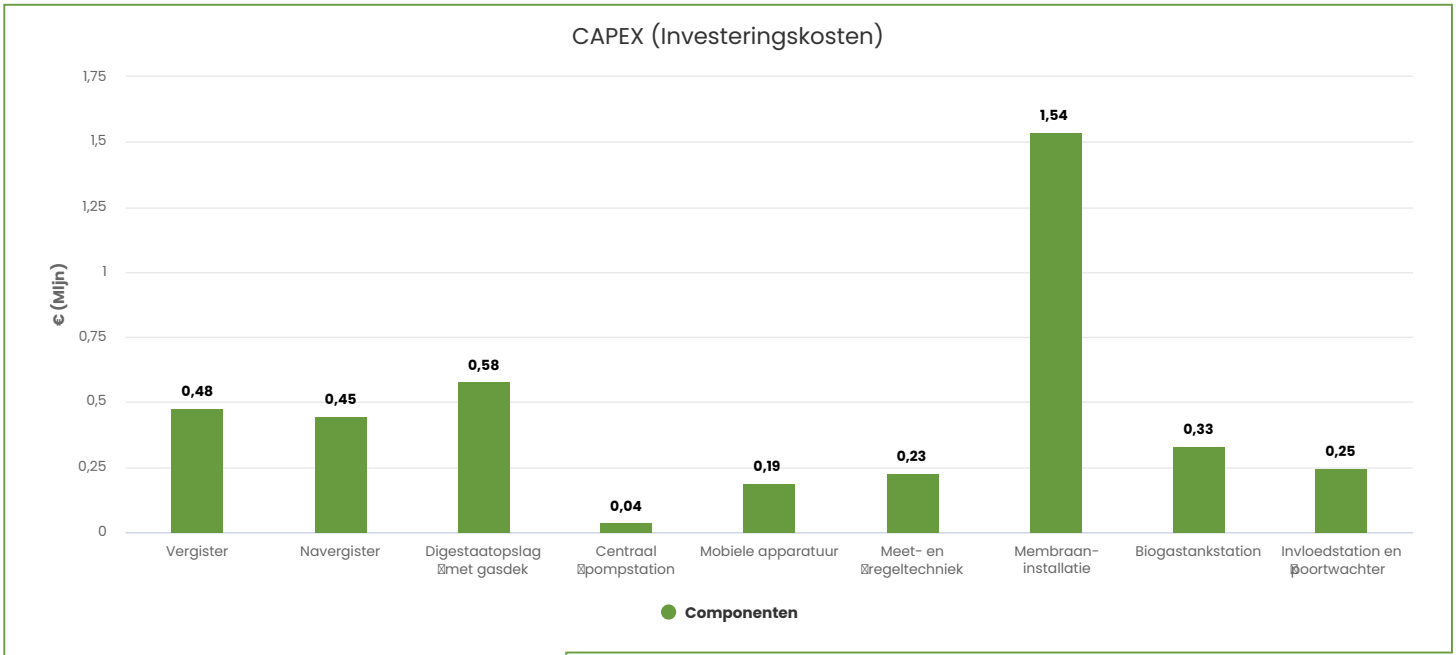


Abbildung 16. Summe (CAPEX) Investitionskosten

Auf der operativen Seite fallen vor allem die hohen variablen Kosten auf: 514.821 € für Grassilage und 452.127 € für Zusatzstoffe – zusammen machen sie 85 % der gesamten variablen Ausgaben aus. Dies spricht dafür, dass Kostenkontrolle vor allem bei der Optimierung von Inputflüssen oder Schließkreisläufen (z.B. durch eigenen Grasanbau) angestrebt werden sollte. Die Fixkosten (435.756 Euro) sind relativ stabil und überschaubar.

Tabelle 10. Gesamtbetriebskosten (OPEX)

Variable Kosten	**Einheit**	**Menge**	**Preis**	**Menge**
Grassilage, 35 % d.s.		15.000	34,32	514.821
Schweinemist, 5 % d.s.		15.000	0	-
Reparatur und Wartung				159.083
Adjuvantien				452.127
Analytik im Labor	Zahl	2	120	531
Zinsaufwand auf dem Umlaufvermögen		1.126.563	0,03	2.816
Variable Gesamtkosten				1.129.380
Deckungsbeitrag				771.514
Fixkosten				
Abschreibungen				297.841
Zinsen				81.057
Versicherungen				27.019
Arbeitskosten				29.840
Fixkosten gesamt				435.756
Einzelkostenfreie Leistungen				335.758
Gemeinkosten				
Gemeinkosten				9.219
Gesamtkosten				**1.574.355**
Kalkulierter Gewinn anteil? oder beitrag ?				326.539
Kapitalrendite	%			15

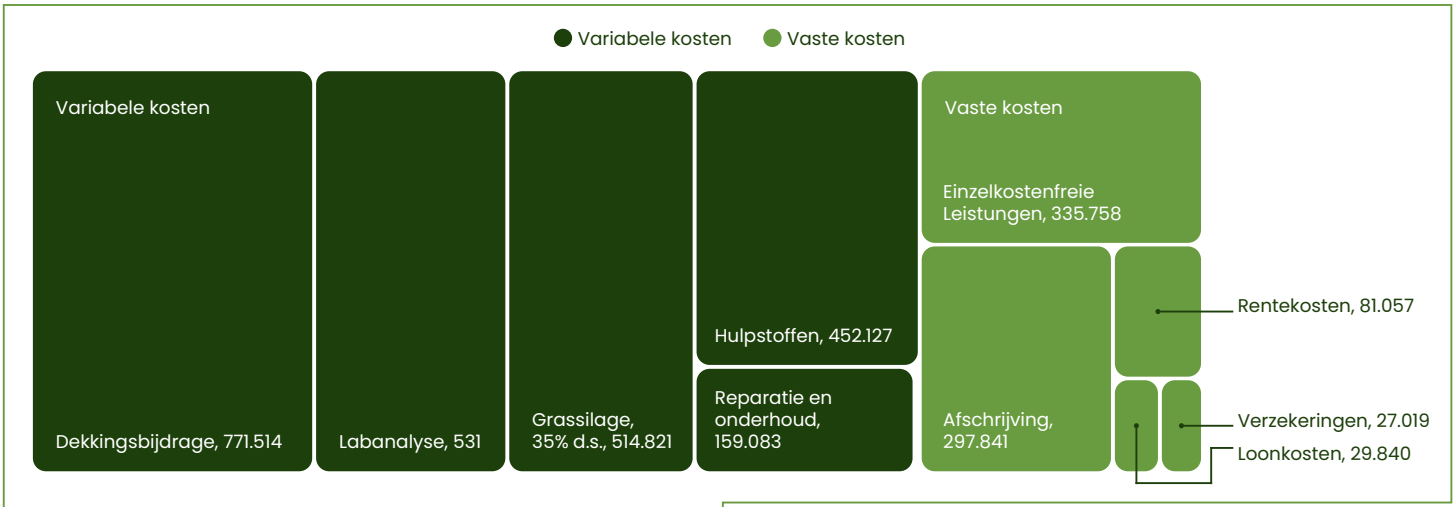


Abbildung 17. Übersicht über die Gesamtbetriebskosten (OPEX)

Der rechnerische Gewinnanteil von 326.539 € bei einem Kostenniveau von 1.574.355 € bedeutet, dass die Anlage auf betrieblicher Ebene einen Jahresgewinn von ca. 20,7 % erzielt. Interessant ist auch die Kapitalrendite (ROA) von 15 %, die für kapitalintensive Projekte im Bereich der erneuerbaren Energien relativ hoch und mit kommerziellen Schwellenwerten vergleichbar ist. Dies deutet auf eine solide Investition mit langfristigen strategischen Vorteilen hin: Energieautarkie, Reduzierung des fossilen Diesels, Beitrag zur Gülleverarbeitung und potenzielle neue Einnahmequellen durch den Verkauf von CNG.

Ergebnisse des Netzwerk-aufbaus

Im Rahmen der Vernetzung erstellten die Projektpartner gemeinsam eine umfangreiche Stakeholder-Liste und identifizierten Vertreterinnen und Vertreter aus Wirtschaft, Wissenschaft, Verwaltung und sogenannte Multiplikatoren, für die das Thema relevant ist. Diese Interessenvertreter sowie die Netzwerkpartner von NEC und OLEC wurden ausdrücklich zu den Netzwerktreffen eingeladen. Die Kontaktliste wird auch für die Nachbereitung von Aktivitäten innerhalb des Projekts nützlich sein. Im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit für das Projekt hat OLEC über LinkedIn und den monatlichen Newsletter Informationen einem breiten interessierten Publikum zugänglich gemacht. Nachrichten über das Projekt wurden im Laufe des Projekts X über LinkedIn gepostet.

Im Rahmen des Projektes wurden über den LinkedIn-Kanal von OLEC mehrere Postings verfasst und verbreitet. Der Kanal hat den aktuellen Stand 1004 Follower. Übersicht der Performance der Postings:

Datum	Inhalt	Impressions	Reaktionen	Kommentare/ geteilte Beiträge
28.03.2025	Insights 2. Netzwerktreffen in Bunde	259	14	0/6
17.03.2025	Erinnerung 2. Netzwerktreffen in Bunde	190	12	0/5
13.02.2025	Einladung 2. Netzwerktreffen	962	18	0/10
25.11.2024	Insights 1. Netzwerktreffen	651	23	0/3
07.11.2024	Einladung 1. Netzwerktreffen	447	15	0/8
11.09.2024	Projektstart	451	9	4

Darüber hinaus wurden mehrere Mailings über den OLEC Veranstaltungs- und Mitgliederverteiler Versand sowie gezielte Partner*innen aus dem Nordwesten zu den Netzwerktreffen eingeladen. Darüber hinaus hat OLEC die Informationen für Projekte und Netzwerktreffen im monatlichen OLEC Energy Information Letter mit 600 Abonnements zusammengefasst.

Datum	Anzahl und Art der Empfänger	Titel
04.11.2024	5 Multiplikator*innen aus dem Agrar-Bereich	Einladung Netzwerktreffen
20.11.2024	12 – OLEC Vorstand	Einladung Netzwerktreffen

Schluss-folgerungen

In diesem Projekt wurde die Möglichkeit untersucht, Grasabfallströme für die Biogasproduktion zu nutzen. Darüber hinaus wurde erforscht, wie Rohstoffe effizienter genutzt werden können und wie neue Verwertungsströme geschaffen werden können.

1. Verfügbarkeit und Qualität von Gras in der Region

Zunächst wurden die Verfügbarkeit, Qualität und Eignung von Gras-Reflows auf der niederländischen und deutschen Seite der Grenzregion untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass Grasrestströme sowohl in Norddeutschland als auch in den nördlichen Niederlanden potenziell ein wertvolles Substrat für die Biogasproduktion bilden können. So stehen in einem Umkreis von 40 km um Idafehn ca. 5.000 Hektar Grünland zur Verfügung, was zu rund 19.500 Tonnen pro Jahr führen kann. Verschiedenen Studien zufolge stehen auch in den nördlichen Niederlanden schätzungsweise 411 kt Trockenmasse zur Verfügung, wobei die Qualität und Verfügbarkeit je nach Grasart (Straßenbegleitgrün, Naturgras, Grabenmähgut) und der Erntemethode stark variiert.

Gleichzeitig ist klar, dass nicht alle Grasmengen gleich gut für die Fermentation geeignet sind. Der **Trockensubstanzgehalt** (TM) und die **organische Trockenmasse** (oTM) sind entscheidende Qualitätsparameter. **Grasschnitt ohne weitere Behandlung** hat in der Regel einen relativ geringen Trockensubstanzgehalt und eine geringere Biogasausbeute, was ihn weniger attraktiv macht. **Silagegras** hat Eigenschaften, die mit Maissilage oder Roggen vergleichbar sind und kann daher rentabler sein. **Stroh** bietet aufgrund seines höheren Trockensubstanzgehalts eine höhere Gasausbeute, wird aber in den Niederlanden aufgrund der hohen Kosten und alternativer Verwendungszwecke (Einstreu, Jungvieh, Pferdehaltung) selten direkt für die Fermentation verwendet.

Auch logistische und wirtschaftliche **Aspekte spielen** eine wichtige Rolle: Transportwege, Lagermethoden (Einsilieren ->Silage), saisonale Einflüsse und die Verknüpfung mit anderen Substraten (Co-Fermentation) bestimmen maßgeblich, ob Grasrestströme tatsächlich anwendbar sind. Das hat zur Folge, dass in einer Region ein erheblicher Teil des verfügbaren Grases sinnvoll genutzt werden kann, während sich in einer anderen Region nur ein Bruchteil als tatsächlich geeignet herausstellt.

Kurz gesagt, der Wunsch, Grasrestströme als Biogassubstrat zu nutzen, ist technisch machbar und kann in Kombination mit der richtigen Vorbehandlung und Substratmischung eine gute Gasausbeute bringen. Gleichzeitig sind die Heterogenität des Materials, die begrenzte Menge an Reststrømen (insbesondere in den nördlichen Niederlanden) und die unterschiedliche Qualität hinderlich. Jede Situation erfordert daher eine sorgfältige Abwägung der Verfügbarkeit, des Dürregrades und der damit verbundenen logistischen und finanziellen Voraussetzungen.

2. Erforderliche Technologien für die Fermentation von Gras

Im zweiten Teil wurde untersucht, was technologisch für die Fermentation von Gras benötigt und verfügbar ist. Dabei hat sich gezeigt, dass in erster Linie eine Vorbehandlung des Grasreststoms notwendig sein wird, um den Methanertrag zu erhöhen und den Fermentationsprozess zu beschleunigen. Es stehen zahlreiche Vorbehandlungstechnologien zur Auswahl. Diese Studie hat gezeigt, dass eine mechanische Vorbehandlung aufgrund ihrer Einfachheit, technologischen Bereitschaft und Skalierbarkeit bevorzugt wird. Neben der Vorbehandlung wurde auch erforscht, welche Fermentationstechnologie am besten geeignet ist. Dies hat gezeigt, dass ein einstufiger mesophiler Pfropfenstromfermenter bevorzugt wird, zum Teil, weil dieser Fermenter relativ trockene Substratströme und Co-Fermentation bewältigen kann, was bei der Fermentation von Gras notwendig ist.

3. Rechtliche Aspekte

Sowohl in den Niederlanden als auch in Deutschland treffen im Fall der Grasfermentation und der Verwendung von Biogas mehrere rechtliche und technische Aspekte aufeinander. In **den Niederlanden** geht es um die Umweltgenehmigung für umweltschädliche Tätigkeiten, insbesondere nach den Bal-Bestimmungen für die (Co-)Fermentation, die Lagerung, den Transport und die Verwendung von Biogas als Brennstoff. Die Anforderungen steigen bei der Aufbereitung von Gülle Dritter und bei der Umstellung auf großtechnische Vergärung (25.000 m3 >). Darüber hinaus können zusätzliche Regelungen gelten, zum Beispiel über Geruchs- und Schadstoffemissionen und der Pflicht zur

Durchführung einer UVP bei der Erweiterung oder Änderung einer Anlage.

In **Deutschland** liegt der Schwerpunkt auf der BauG- bzw. BImSchG-Genehmigung und den verschiedenen EU-Verordnungen insbesondere die erneuerbare Energierichtlinie (RED II / III) und die EU Biomasseverordnung, die den Einsatz von Grassilage als Substrat unter bestimmten Voraussetzungen finanziell attraktiv machen. Gleichzeitig sind teilweise Anpassungen bestehender Genehmigungen notwendig, um Silagegras legal zu fermentieren. Die Verwendung von Biogas als Kraftstoff ist durch die 38. BImSchV geregelt, mit Meldepflicht im Nabisy-Register. Diese Punkte verdeutlichen, dass es in beiden Ländern einen soliden Rechtsrahmen gibt, der Unternehmer dazu anregt, Umweltauswirkungen, die Art des Substrats (Mist, Gras, Abfall) und Sicherheitsvorschriften für Lagerung und Transport bereits in der Entwurfsphase zu berücksichtigen. Durch die richtige Absicherung dieser Aspekte im Genehmigungsverfahren können Unternehmer das Potenzial von Grasströmen unter Berücksichtigung aller Genehmigungs- und Compliance-Anforderungen voll ausschöpfen.

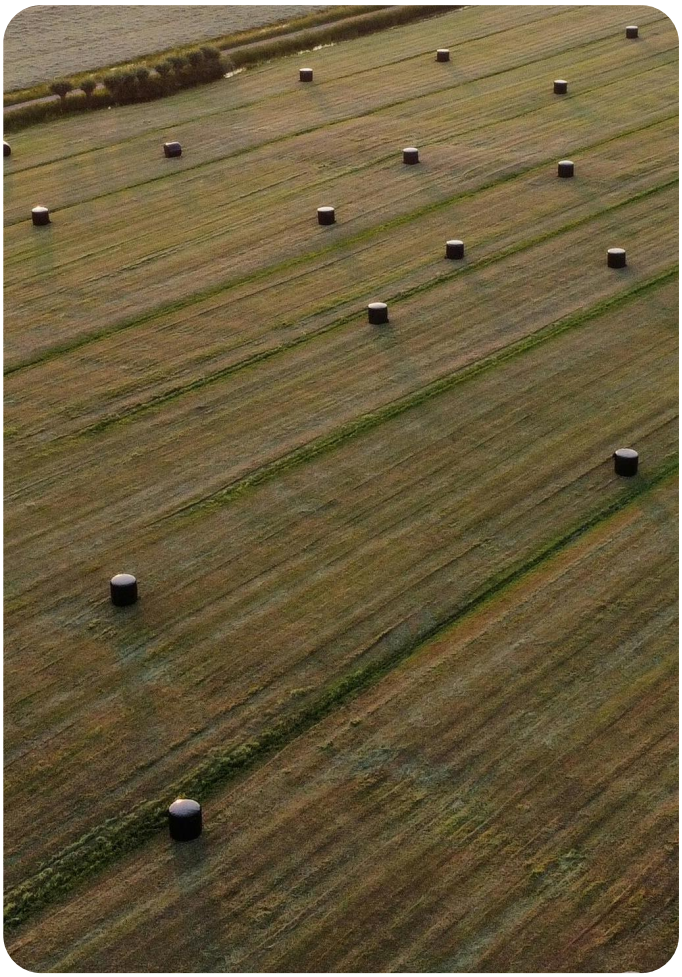
4. Wirtschaftsanalyse

Basierend auf der KTBL Probiogas-Analyse zeigt sich, dass eine Mischung aus 15.000 Tonnen Gras und 15.000 Tonnen Schweinemist genug Biomethan produzieren kann, um den gesamten Dieselbedarf (ca. 830.000 Liter) von Loonbetrieb Thomßen zu ersetzen, sogar mit einem Überschuss. Die erforderliche Installation erfordert eine geschätzte Investition von mehr als 4 Millionen Euro (ohne Grundstückskosten), während die jährlichen Betriebskosten auf etwa 1,57 Millionen Euro geschätzt werden. Die Berechnungen zeigen einen Gewinnanteil von mehr als 300.000,- Euro und eine Kapitalrendite von ca. 15%.

Diese Zahlen deuten darauf hin, dass der Business Case für die Biogaserzeugung (und die Aufbereitung zu Biomethan) wirtschaftlich attraktiv sein kann, vorausgesetzt, die Versorgung mit Gras und Mist ist stabil und es gibt finanzielle Anreize. Die Integration einer eigenen Biogastankstelle stärkt die wirtschaftliche Wertschöpfung, denn Thomßen spart sofort Kraftstoffkosten und kann die Logistikkette in eigener Regie halten. Auf diese Weise bietet der Case nicht nur eine Lösung zur Reduzierung des Dieselverbrauchs, sondern auch die Aussicht auf einen schlüssigen Business Case für die Gras- und Mistfermentation in der Landwirtschaft. Gleichzeitig zeigen diese Ergebnisse, dass ein sorgfältiges Kettenmanagement, eine stabile Gülle- und Grasversorgung und eine geeignete Politik (z. B. eine Ökogaszertifizierung) unerlässlich sind, um diese Rentabilität zu gewährleisten.

5. Innovationen für eine effizientere Nutzung und neue Verwertungswege

Neben der Machbarkeit der Fermentation von Gras-Reflows standen die effizienteste Nutzung von Rohstoffen, Reststürme und die Entwicklung neuer Verwertungswege im Mittelpunkt dieses Projekts. Es wurden drei innovative Verfahren untersucht, die zusammen den Fermolyseprozess bilden. **(1) Der künstliche Pansenreaktor (ARR)** ahmt den Abbau im Pansen von Wiederkäuern nach und wandelt das Gras schnell in flüchtige Fettsäuren (VFAs) um. Dadurch wird der normale Fermentationszyklus deutlich verkürzt und gleichzeitig die Methanausbeute hochgehalten. Zudem verbleibt eine ungebrochene Ligninfraktion, die z.B. zu Pflanzenkohle verwertet werden kann. **(2) Der Rieselbettreaktor (TBR)** wandelt dann das bei der Fermentation freigesetzte CO_2 durch Zugabe von Wasserstoff in zusätzliches CH_4 um, wodurch sich die gesamte Gasproduktion fast verdoppelt. **(3) Der benötigte Wasserstoff** kann durch Elektrolyse von Ammoniak aus den Gärresten nachhaltig erzeugt werden. So entsteht ein geschlossener Kreislauf, in dem überschüssiges Ammoniak sinnvoll genutzt wird, während die Methanproduktion durch den Einsatz im Tricklebed-Reaktor weiter gesteigert wird. Zusammen sorgen diese Technologien für einen schnellen, effizienten und kostengünstigen Einsatz von lignozellulosehaltigem Gras als erneuerbare Energiequelle.



Nächste Schritte

Diese ersten Ergebnisse zeigen, dass es interessante Möglichkeiten gibt, die Biogasproduktion einerseits als Vehikel für die Aufbereitung von Grasreststrømen zu nutzen und andererseits den Landwirten durch die Umsetzung des Fermolysekonzepts ein neues Erlösmodell zu bieten. Um jedoch eine tatsächliche Umsetzung zu erreichen, müssen zusätzliche Forschungs- und Innovationsmaßnahmen durchgeführt werden. Daher werden für ein Folgeprojekt folgende Schritte vorgenommen:

1. Logisti, Aufbereitung und Lagerung

Die Verfügbarkeit von Grasresten ist je nach Saison und Region sehr unterschiedlich. Darüber hinaus erfordert die Ernte und der Transport großer Mengen von Grasmengen eine effiziente Planung und Zusammenarbeit zwischen Landwirten, Lohnunternehmern und möglicherweise anderen Beteiligten. Inwiefern ist es in bestehenden Bereitstellungsketten möglich, in zusätzliche Speicher, Vorbehandlung oder Infrastruktur (z.B. (Beladeinfrastruktur, Silagehaufen, Pufferung) zu investieren?

2. Technisches Upscaling des Rieselbettreaktors

Obwohl der Rieselbettreaktor (TBR) in (Pilot-)Versuchen gute Ergebnisse liefert, ist eine Skalierung auf einen vollkontinuierlichen Betrieb in größerem Maßstab noch nicht erprobt. So ist beispielsweise unklar, wie die TBR auf stark schwankende Grasströme reagiert. Darüber hinaus muss geklärt werden, wie die Integration zwischen TBR und Fermenter in der Praxis funktioniert – inwiefern sind beispielsweise Puffertanks oder eine zusätzliche Reinigung von Biogas erforderlich, um den TBR optimal laufen zu lassen?

3. Forschung zu ARR und Ammoniak-Elektrolyse

Der TBR wandelt CO_2 in CH_4 um, was jedoch eine konstante Zufuhr von Wasserstoff (H_2) erfordert. Die Herstellung von Wasserstoff mittels Ammoniak-Elektrolyse (aus Gärresten) klingt vielversprechend, aber es besteht noch Klärungsbedarf über Kosten und Effizienz. Darüber hinaus ist unklar, wie der ARR auf stark schwankende Grasströme oder Schwankungen des Lignocellulosegehalts reagiert. Es ist auch nicht bekannt, welche Anpassungen an der Reaktorkonfiguration erforderlich sind, um stabil hohe Methanausbeuten zu erzielen, falls z. B. das Gras oder andere Co-Substrate (Mist, Stroh) schlechter werden.

4. Wirtschaftliche Machbarkeit

Der finanzielle Erfolg des Fermolyse-Konzepts steht und fällt mit einer gründlichen techno-ökonomischen Analyse (TEA). Obwohl die ersten Explorationen in diesem Projekt zeigen, dass die Implementierung von ARR, TBR und Elektrolyse viel Potenzial hat, ist ein detaillierteres Wirtschaftsmodell erforderlich, um die tatsächliche Rentabilität zu bestimmen.

5. Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit

Schließlich ist ein weiterer Einblick in den gesamten CO_2- und Stickstoff-Fußabdruck dieses Systems über die gesamte Kette erforderlich, einschließlich des Transports von Gras, der Produktion von Wasserstoff und der Weiterverarbeitung von Reststrømen wie Biokohle. Wie viele Netto-Treibhausgase werden eingespart und inwiefern trägt die Aufbereitung von Grasabfallströmen zur zirkulären Landwirtschaft bei? Eine breit angelegte Ökobilanz (LCA) kann helfen, diese Aspekte zu quantifizieren und mit alternativen Routen (z.B. direkte Kompostierung oder reine Güllevergärung) zu vergleichen