



Interreg



(Ko-)financierd van
der Europäischen Union
(Mede) gefinancierd
door de Europese Unie

Deutschland – Nederland

Van Gras Naar Gas

Van Gras Naar Gas Eindrapport

Haalbaarheid, technologieën
en economische kansen voor
biogasproductie uit grasreststromen
in Nederland en Duitsland

Projectpartners



Thomßen Lohnbetriebe

Boerderij
Ten Kate

provincie Drenthe

Inhoudsopgave

Introductie	3
Projectdoel en activiteiten	4
Resultaten	5
1. Beschikbaarheid en kwaliteit van grasreststromen	5
2. Installatievereisten en technische mogelijkheden	9
2.1 Verwerking van gras/voorbehandeling	10
2.2 Vergistingstechnologieën	13
2.3 Innovaties voor optimaal benutten (gras)reststromen	15
3. Juridische aspecten	20
3.1 Juridische situatie in Nederland	21
3.2 Situatie in Duitsland	23
4. Techno-economische analyse	24
4.1 Installatiebeschrijving en uitgangspunten	25
4.2 Investerings- en operationele kosten	26
Uitkomsten netwerkopbouw	29
Conclusies	31
Vervolgstappen	34

Introductie

De landbouwsector in de Nederlands-Duitse grensregio staat voor een dubbele uitdaging: de uitstoot van stikstof en broeikasgassen moet omlaag, maar praktische en duurzame oplossingen ontbreken.

Stallen, mestopslag en bemesting zorgen voor hoge methaan- en stikstofuitstoot. Tegelijkertijd leidt de afschaffing van derogatie in Nederland tot een stikstoftekort op landbouwgrond, waardoor boeren dure kunstmest moeten gebruiken, terwijl het mestoverschot een groeiend probleem vormt.

Daarnaast stagneert de biogasindustrie. In Duitsland zijn door politieke keuzes waardevolle reststromen zoals mest en gras onvoldoende benut. Nederland wil de productie opschalen, maar juridische, technische en financiële barrières staan grootschalige invoering in de weg.

Elektrificatie biedt een mogelijke oplossing voor de verduurzamingsambities, maar overbelaste elektriciteitsnetten maken dit voor veel boeren onhaalbaar. Om de sector toekomstbestendig te maken, zijn efficiëntere verwerking van reststromen, betere benutting van biogas en technologische innovaties essentieel. Zonder deze aanpassingen blijven boeren klem zitten tussen strengere milieuregels en een gebrek aan haalbare verduurzamingsopties.

Tabel 1. Participerende projectpartners en omschrijving/rol

Partner

Omschrijving/rol

New Energy Coalition	Projectcoördinatie, evenementenorganisatie, ontwikkeling vervolgactiviteiten
Provincie Drenthe	Deelname en ondersteuning bij onderzoek, verspreiding resultaten, organisatie workshops
Stichting Hanze Hogeschool	Begeleiding en uitvoering biogaspotentialenstudie, netwerkopbouw
Oldenburger Energiecluster e.V. (OLEC)	Projectcommunicatie, netwerkintegratie, workshoporganisatie
Kompetenzzentrum 3N e.V.	Technisch en juridisch onderzoek, uitvoering studie, netwerkintegratie
Thomßen Lohnbetriebe	Interviewpartner, praktijkbegeleiding, organisatie evenement
Wirtschaftsförderung Landkreis Aurich GmbH	Assoziërter Partner, ondersteuning en netwerkactiviteiten
Boerderij Ten Kate	Assoziërter Partner, praktijkervaring en input vanuit agrarische sector



Projectdoel en activiteiten

Dit project heeft als doel gehad om de eerste analyse uit te voeren naar de haalbaarheid en doelmatigheid van gras vergisting naar biogas. Hierbij stonden twee elementen centraal;

Ten eerste:

Het **vormen van een grensoverschrijdend netwerk** van landbouwbedrijven in, brede zin, met als doel om te komen tot grensoverschrijdende samenwerking in de landbouwsector om op deze manier te leren van elkaars verschillende strategische en conceptuele benaderingen voor het bereiken van nul-emissies en gezamenlijke kennis en oplossingen te vergaren, die verder kunnen worden ontwikkeld.

Ten tweede:

Om **voorbereidende haalbaarheidsstudies** uit te voeren die het mogelijk maken om een juiste route voor verdere ontwikkeling te identificeren. Het doel hierbij was om technische opties en processen te vinden die landbouwbedrijven in staat stellen om:

- De CO₂-uitstoot uit biogasproductie om te zetten naar extra groen gas;
- Zelfvoorzienend te zijn in schone brandstoffen;
- De uitstoot van verontreinigende stoffen te verminderen;
- Grasachtige grondstoffen in vergisting te gebruiken;
- Grondstoffen voor circulaire chemie en industrie te produceren.

Om dit te bewerkstelligen zijn er gedurende dit project twee deel-activiteiten uitgevoerd, namelijk het uitvoeren van onderzoek en het opbouwen van een netwerk door het organiseren van netwerksessies met belanghebbenden en andere geïnteresseerden.

Zoals eerder aangegeven is het uiteindelijke doel om een (nieuw) businessmodel voor de optimale benutting van overtollig gras en andere nuttige stoffen op het boerenbedrijf te ontwikkelen. Om hierop voor te sorteren zijn de volgende kernvragen onderzocht en beantwoord:

- **Logistieke uitdagingen:** Hoeveel grasachtige biomassa is beschikbaar in Noord-Nederland en Noord-Duitsland en welke kwaliteit heeft het?
- **Technische uitdagingen:** Hoe vergisten we gras efficiënt, rekening houdend met de complexe lignocellulose-structuur?
- **Technische innovaties:** Welke technische innovaties kunnen worden gebruikt om het vergistingsproces te verbeteren en additionele valorisatiestromen te realiseren?

- **Uitdagingen op het gebied van regelgeving:** Welke Nederlandse- en Duitse vergunningen en wettelijke eisen spelen een rol bij vergisting van grasachtige reststromen en de gewenste eindtoepassingen?
- **Economische uitdagingen:** Wat zijn de kosten en baten bij vergisting van grasachtige reststromen?

Netwerkuitbouwen:

Parallel aan het onderzoek zijn er netwerkactiviteiten uitgevoerd om de juiste partners te identificeren voor een volgproject.



Resultaten

1. Beschikbaarheid en kwaliteit van grasreststromen

Beschikbaarheid in Noord-Duitsland

De inzet van grasreststromen voor vergisting in Duitsland is nog niet op grote schaal uitgevoerd. In de sector van geteelde biomassa zijn maïskuil en ingekuilde andere granen gangbaarder, gevolgd door suikerbieten en recentere ontwikkelingen zoals silphium.

Binnen een straal van 40 km van de locatie Idafehn kan een gebied van ongeveer 5.000 hectare worden ontwikkeld. Een oogstvolume van 1 - 2 ton/ha per snede leidt tot een substraatvolume van totaal 19.500 ton/jaar met 1 - 2 oogsten per jaar, afhankelijk van het weer. Ongeacht de transportafstanden, de leveranciersrelaties en de technische geschiktheid van de installaties die het gebruik in individuele gevallen bepalen, illustreert dit het regionale belang van graskuilvoer als fermentatiesubstraat.

Als biogas uit kuilgras wordt verwerkt tot biomethaan en aan het openbare gasnet wordt geleverd, kan het worden gebruikt als brandstof voor balansdoeleinden. Als alleen gras wordt vergist noemen we dit monovergisting, wordt een mengsel van gras en mest gebruikt dan is het co-vergisting. Het bovengenoemde substraatvolume komt overeen met een energieopbrengst van 19,8 miljoen kWh/a. Ter vergelijking: het brandstofverbruik van het Thomßen-voertuigenpark bedroeg in 2023 828.000 liter diesel (9,8 miljoen kWh), m.a.w. de potentiële brandstofproductie uit biogas is twee keer zo hoog als het verbruik van Thomßen's voertuigen.

Beschikbaarheid in Noord-Nederland

In Nederland zijn grasreststromen in beperkte mate beschikbaar voor biogasproductie en niet alle soorten gras zijn kwalitatief geschikt. Daarnaast worden in Nederland de laatste snedes van productiegras doorgaans als veevoer gebruikt, waardoor deze niet beschikbaar zijn voor vergisting. Wel beschikbare stromen zijn natuurgras, bermgras en slootmaaisel.

Stro wordt in Nederland nooit rechtstreeks in een vergister ingezet, daarvoor is het te duur. Als het in een vergister belandt is het vaak eerst als strooisel in de stal gebruikt, bijvoorbeeld voor het jongvee of in de paardenhouderij.

In Nederland zijn meerdere studies over de beschikbaarheid van gras te vinden die ieder weer andere cijfers hanteren. Het meest gezaghebbende rapport; ‘Een studie naar kansen voor grasvergisting’ door Brinkman Consultancy, is alweer 10 jaar oud^[1]. De daarin gepresenteerde cijfers geven een landelijk beeld maar op basis van de oppervlakteverdeling over de Provincies is daarvan een vertaling gemaakt naar de Noord Nederlandse regio. Zo ontstaat het beeld uit Tabel 2:

Tabel 2. Grasbeschikbaarheid in Nederland

Type	d.s. (kton)
Bermgras (Nederland)	1.000
Bermgras (Noord Nederland)	274
Natuurgras & slootmaaisel (Nederland)	500
Natuurgras & slootmaaisel (Noord Nederland)	137
Kuilgras (Noord Nederland incl. Overijssel)	1.267
Stro (Noord Nederland)	95



Kwaliteit van de grondstoffen

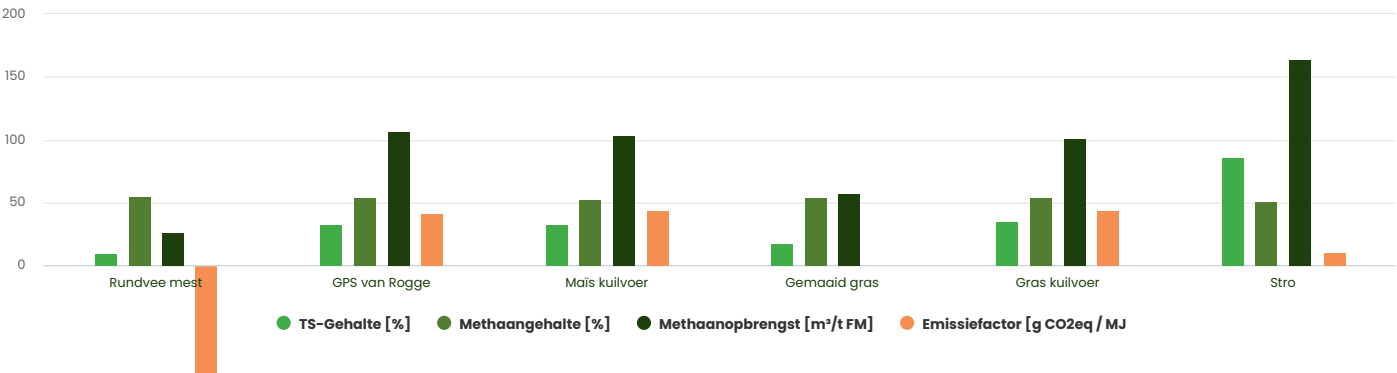
Hoewel deze stromen een potentieel substraat vormen, zijn ze heterogeen van samenstelling en variabel in kwaliteit. De geschiktheid voor biogasproductie hangt af van het droge stofgehalte en de verwerkingsmethode. Daarnaast kunnen logistieke en economische factoren, zoals oogst, opslag en voorbereiding, de praktische inzetbaarheid beïnvloeden.

In diverse literatuurstudies zijn veel kwaliteitsparameters te vinden maar voor biogasproductie zijn vooral het droge stofgehalte (d.s.) en organisch droge stofgehalte (o.d.s.) van belang. Tabel 3 toont de belangrijkste variabelen.

Tabel 3. Kwaliteitseigenschappen verschillende grondstoffen

	TS	Ots	Opbrengst biogas	Methaan-gehalte	Methaan opbrengst	Methaan opbrengst	Emisiefactor
	%	% DS	m³/t FM	%	m³/t FM	m³/t oTS	g CO₂eq / MJ
Rundvee mest	9	80	47	55	26	358	- 86
GPS van Rogge	33	95	201	54	107	348	41
Maïs kuilvoer	33	93	195	53	103	341	44
Gemaaid gras	18	90	95	54	57	351	N.b..
Gras kuilvoer	35	83	188	54	101	351	44
Stro	86	91	322	51	164	210	10

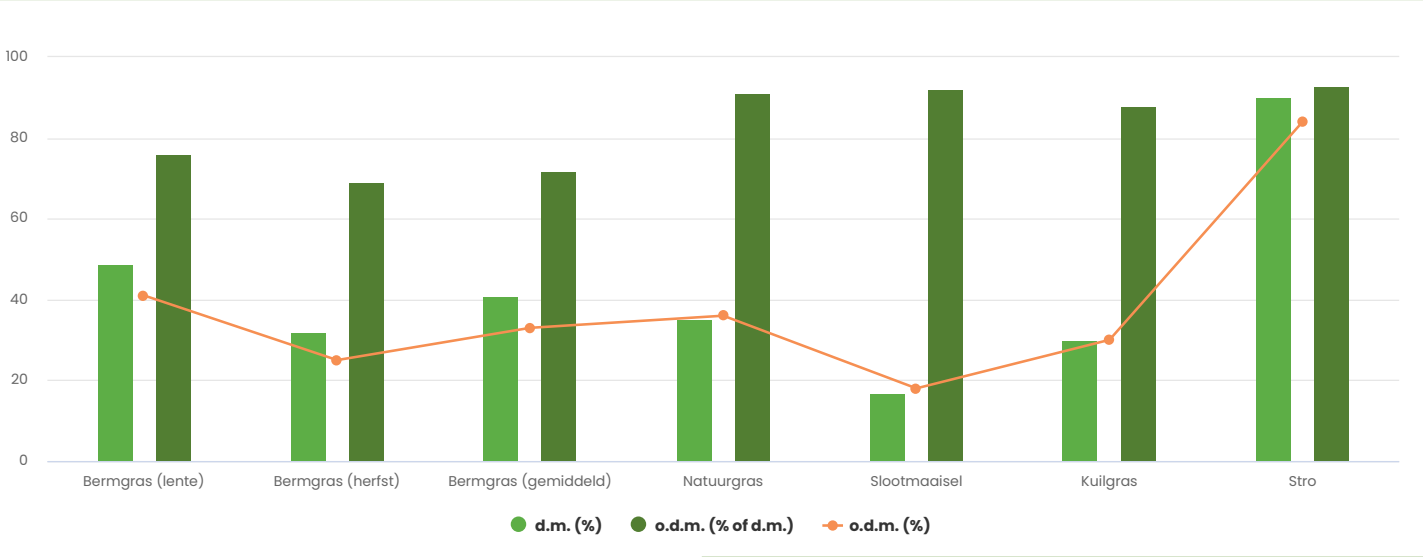
Figuur 1. Grafische weergave kwaliteitseigenschappen van verschillende grondstoffen



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

Hieruit blijkt dat gemaaid gras zonder verdere behandeling minder geschikt is voor vergisting vanwege het lage droge stofgehalte en de lage gasopbrengst. Kuilgras vertoont eigenschappen die vergelijkbaar zijn met kuilmaïs of -rogge, terwijl stro een hogere gasopbrengst heeft vanwege het hoge drogestofgehalte.

Het percentage organische droge stof per grassoort aan Nederlandse zijde, zoals weergegeven in Tabel 4, is weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2. Kwaliteit beschikbare Nederlandse grasreststromen

Om de potentie van de werkelijk beschikbare hoeveelheid grasreststromen in Noord Nederland te schatten is de hoeveelheid organische droge stof bepalend. Als we vervolgens uitgaan van een theoretische methaanpotentie van 580 Nm³ CH₄ per ton organische droge stof ontstaat het volgende beeld:

Tabel 4. Totale groengas potentieel voor verschillende grasreststromen

Type	d.m. (kton)	o.d.m. (kton)	MNm ³ green gas
Bermgras	274	197	67
Natuurgras en sloopmaaisel	137	126	43
Ingekuild gras	1,267	1,098	375
Stro	95	89	31

Concluderend kan gesteld worden dat grasreststromen een substantieel volume aan groen gas kunnen opleveren, maar de beschikbaarheid en kwaliteit zijn beperkende factoren die een gedegen beoordeling vereisen per specifieke situatie.



Resultaten

2. Installatie- vereisten en technische mogelijkheden

2.1 Verwerking van gras/ voorbehandeling

Wanneer we gras of stro gebruiken in de vergisting hebben we te maken met lignocellulose-bevattende biomassa. In het kort betekent dit dat de ‘vergistbare’ onderdelen opgesloten zitten in de celwanden van de grasvezels. Om tot een efficiënt en economische vergisting te komen is het wenselijk om de biomassa te voorbehandelen.

Er zijn in grote lijnen vier categorieën waaronder tal van voorbehandelingsprincipen vallen (zie Figuur 3).

Deze vier categorieën zijn: fysisch, chemisch, fysio-chemisch, en biologisch. Elke categorie heeft vervolgens verschillende technologieën die gebruikt worden om biomassa voor te behandelen, met uiteenlopende technologische gereedheden, en voor- en nadelen.

Hoe maak je de juiste keuze?

Het maken van de juiste keuze voor de voorbehandeling hangt sterk af van de situatie en wensen van de eindgebruiker. Er zijn een aantal parameters waaraan men kan toetsen hoe de voorbehandelingstechnologie presteert, en daarom gebruikt kunnen worden bij de selectie van de geschikte technologie:

1. Invloed op de biogasopbrengst

Deze parameter beschrijft hoe de voorbehandeling de biogasopbrengst beïnvloedt. Methoden die het oppervlak van biomassa vergroten of toegang tot verteerbare delen verbeteren, verhogen de opbrengst. Chemische en fysio-chemische methoden zijn hierin doorgaans effectiever dan fysische en biologische.

2. Invloed op de hydraulische retentietijd

Voorbehandeling kan de vergisting versnellen door complexe structuren sneller af te breken, wat de retentietijd verkort. Vooral thermochemische en chemische methoden versnellen de afbraak van lignocellulose sneller dan mechanische of biologische technieken.

3. Investerings- en operationele kosten

Mechanische en biologische methoden hebben lagere investeringskosten, maar kunnen operationeel duurder zijn door energieverbruik of lange verwerkingstijden. Chemische en thermochemische methoden vergen meer investering, maar kunnen efficiënter zijn qua verwerkingstijd en opbrengst.



Figuur 3. Schematische weergave voorbehandelingscategorien

4. Operationele complexiteit

Mechanische voorbehandelingen zijn eenvoudig te beheren, terwijl chemische en thermochemische methoden nauwkeurige procescontrole en veiligheidseisen vereisen. Biologische methoden kunnen langdurig beheer van microbiële condities nodig hebben.

5. Technologische gereedheid

Deze parameter geeft aan hoe ver een technologie ontwikkeld en toepasbaar is. Mechanische en sommige chemische methoden zijn breed inzetbaar, terwijl enzymatische en microbiële methoden zich vaak nog in een conceptuele fase bevinden.

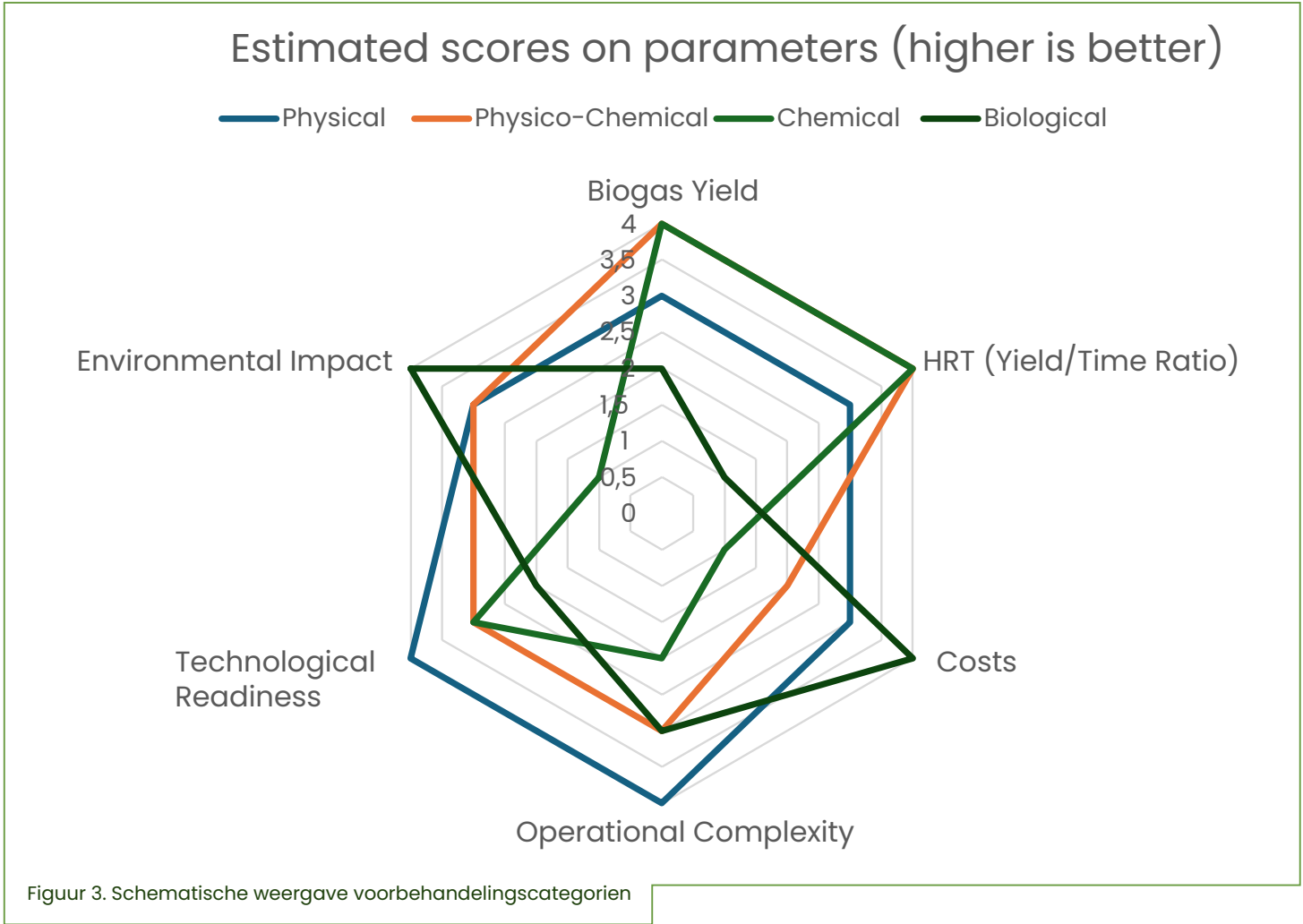
6. Impact op het milieu

De milieueffecten worden bepaald door energieverbruik, chemicaliëngebruik en afvalproductie. Mechanische methoden zijn milieuvriendelijker maar energie-intensief, terwijl chemische methoden effectiever kunnen zijn, maar afval en emissies genereren. Biologische methoden zijn doorgaans duurzamer maar trager.

Score-profiel van de vier hoofdcategorieën

Op basis van bestaande literatuur op het gebied van voorbehandelingstechnologieën is er een score toegekend aan elk van de vier hoofdcategorieën. Dit heeft geresulteerd in een overzicht zoals weergegeven in Figuur 4.

Uit dit overzicht is naar voren gekomen dat mechanische voorbehandeling (blauw in grafiek) momenteel het beste past bij de Gras naar Gas casus omdat het operationeel simpel is, gemiddeld presteert, schaalbaar is en relatief kosten effectief met minimale impact op het milieu. Desalniettemin zouden andere categorieën wellicht interessant zijn. In Paragraaf 2.3 wordt een mogelijke alternatief verder behandeld.



Figuur 3. Schematische weergave voorbehandelingscategorien



Vergelijking Mechanische voorbehandelingen

Als tweede stap is er een vergelijking gemaakt tussen vier voorbehandelingsmethoden. Er is een hierbij een vergelijking gemaakt tussen de Cross-flow Grinder (CFG), Ball Mill (BM), Amazon Grasshopper, en de technologie van Methaplanet (MP) (Figuur 5). De vergelijking bestaat uit een vergelijking tussen het energieverbruik, de methaanopbrengst, en een inschatting van de investeringskosten^[2].



Figuur 5. Afbeelding voorbehandelingsmethoden

Vergelijking methaanopbrengst

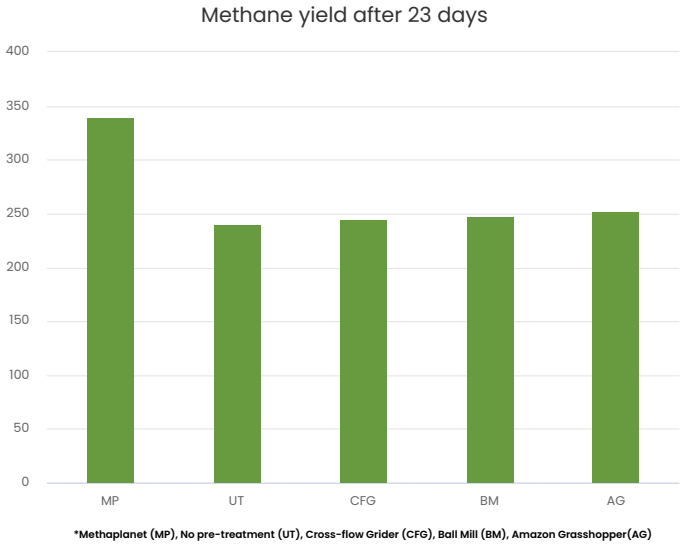
Uit de vergelijking van de methaanopbrengst is gebleken dat de voorbehandeling middels Methaplanet ongeveer 30% meer methaan produceert. Daarnaast bereikt Methaplanet de maximale methaanopbrengst naar 41 dagen, in tegenstelling tot 50 dagen bij de andere voorbehandelingen (CFG, BM, AG)

Het grote verschil in methaanopbrengst kan echter niet volledig toegeschreven worden aan de voorbehandeling. Dit komt deels door onbekende test-samples in de Methaplanet-casus. Mogelijk verschillen het type gras en de substraatcompositie tussen de Methaplanet technologie en andere methoden. Dit blijkt ook uit een methaanverschil van ~5%.

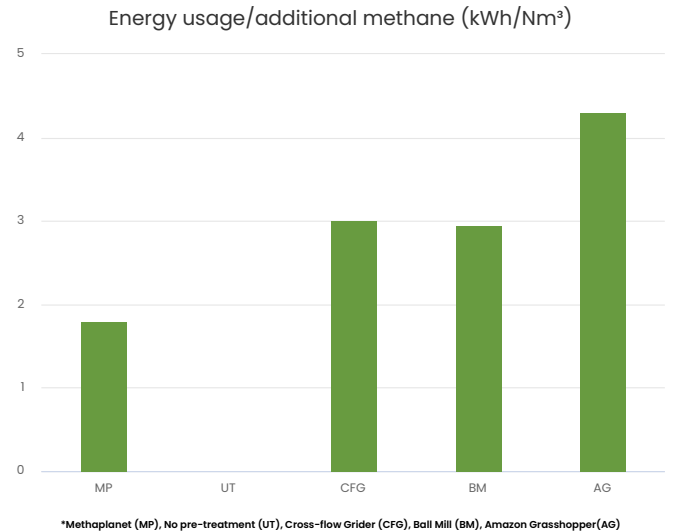
Vergelijking energieverbruik

Bij de vergelijking van het energieverbruik is er genormaliseerd op kWh per Nm³ additionele methaan opbrengst (Figuur 7). Hieruit is gebleken dat de technologie van Methaplanet een stuk beter scoort ten opzichte van de andere methoden.

Samengevat, laat de technologie van Methaplanet een hogere methaanopbrengst, en betere omgerekende energieprestatie (lager energiegebruik per extra m³ methaan), in vergelijking met andere mechanische voorbehandelingen zien. De investeringskosten- en operationele kosten zijn hierbij niet vergeleken.



Figuur 6. Methaan opbrengst na 23 dagen



Figuur 7 Energieverbruik per Nm³ extra methaanopbrengst

2.2 Vergistingstechnologieën

Dit deelonderzoek richtte zich op het identificeren van de meest geschikte en economisch voordelige fermentatietechnologie voor de vergisting van stro en gras, de bijbehorende technische eisen voor de vergister.

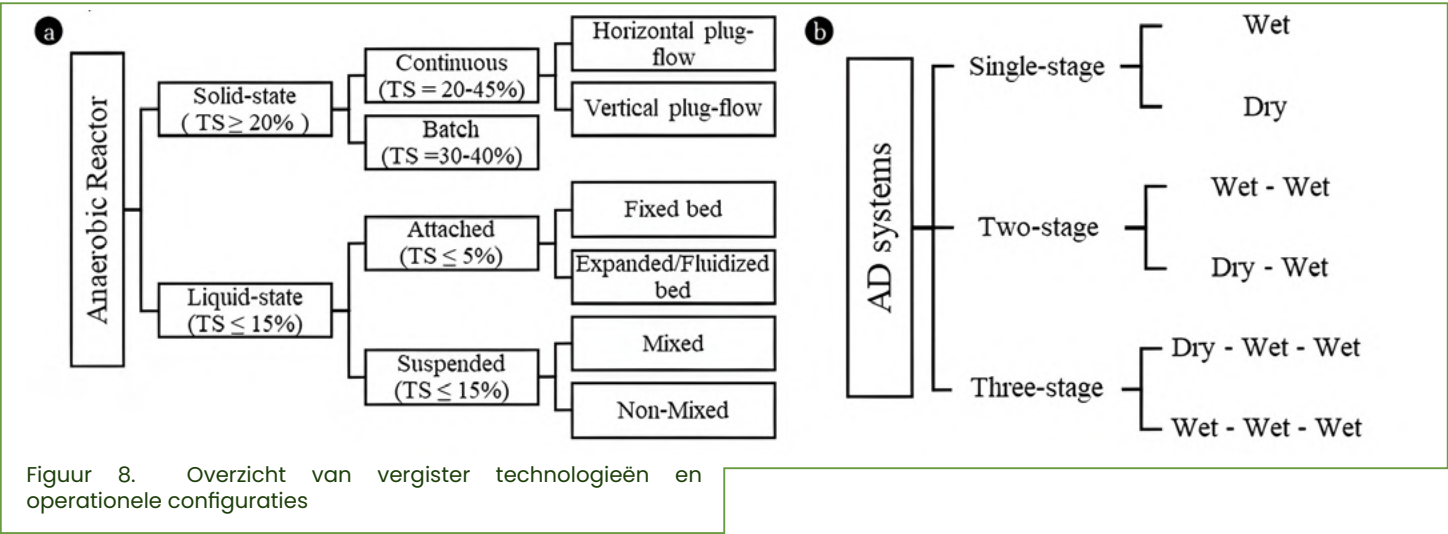
Eisen aan de vergister bij gebruik stro/gras

Naast de behoefte om de biomassa voor te behandelen brengt vergisting met hoofdzakelijk stro en gras als grondstof ook een andere uitdagingen met zich mee. De belangrijkste uitdagingen ontstaan door de grote verschillen in moleculaire samenstelling van de biomassa ten opzichte van bijvoorbeeld mestvergisting. De vergister zal daarom de mogelijkheid moeten hebben voor:

- Co-vergisting met mest (of ander stikstof rijk substraat)** Gras en stro hebben een hoog koolstof gehalte. Om de koolstof/ stikstof (C/N) ratio te balanceren zal er daarom een stikstofrijk substraat moeten worden toegevoegd^[3]. Dit helpt om de pH te stabiliseren en het vergistingsproces te bevorderen.
- Drogere vergisting (tot 20% droge stof gehalte)** Mede door de vereiste voorbehandeling, in het bijzonder als de Methaplanet technologie wordt gebruikt, ontstaat er een relatief droge substraat. Het substraat zou door toevoeging van water kunnen worden verdund, maar dit brengt kosten met zich mee. Daarnaast geeft droge vergisting een hogere ‘Organic Loading Rate’.

De optimale vergister configuratie voor gras/stro vergisting

De vergister configuratie kiezen betekent een selectie maken uit de juiste operationele omstandigheden en de gewenste reactor. Onderstaand Figuur 8 geeft een overzicht van een aantal operationele- en reactor keuzes:



Figuur 8. Overzicht van vergister technologieën en operationele configuraties

Doordat er veel variabelen een bepalende rol spelen is het lastig om in de gegeven tijd een kwantitatieve analyse uit te voeren voor het identificeren van de optimale vergistingstechnologie. De reactor configuratie is daarom gekozen op basis van een inschatting van een aantal criteria (Tabel 5) die in de literatuur vaak worden gebruikt om de prestatie van de vergistingstechnologie te kwantificeren^[4]:

Tabel 5. Vergister prestatieparameters

Prestatie criteria	Beschrijving
Methaan opbrengst	De hoeveelheid methaanproductie per eenheid van substraat
Organic load Rate	De hoeveelheid organisch materiaal die per dag per kubieke meter vergisterinhoud wordt toegevoegd, dit geeft aan hoe zwaar de vergister wordt belast
Investeringskosten	De kosten voor bouw en aanschaf van de installatie
Operationele kosten	Kosten voor o.a. energie, arbeid, en onderhoudskosten
Watergebruik	De hoeveelheid water benodigd voor het proces
Substraat comptabiliteit	De reeks van grondstoffen die kunnen worden verwerkt
Schaalbaarheid	De mogelijkheid om naar groter of kleinere operatie te schakelen

^[2] 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)

^[3] Anaerobic Digestion – Fundamentals, Modelling, and Applications (2024)

Uit onze analyse is naar voren gekomen dat een eenvoudige, mesofiele, continue semi-droge Plug Flow Reactor (PFR) het best geschikt is voor de co-vergisting van gras. Hiervoor zijn de volgende redenen:

1. Gemiddelde methaan opbrengsten: Plug flow zorgt voor voldoende contacttijd, wat befordelijk is voor substraat met langzame hydrolyse zoals bij vergisting gras/stro.

2. Relatief lagere CAPEX & OPEX: simpel ontwerp, verminderd roerwerk nodig in vergelijking met andere reactor configuraties, dus lagere operationele kosten.

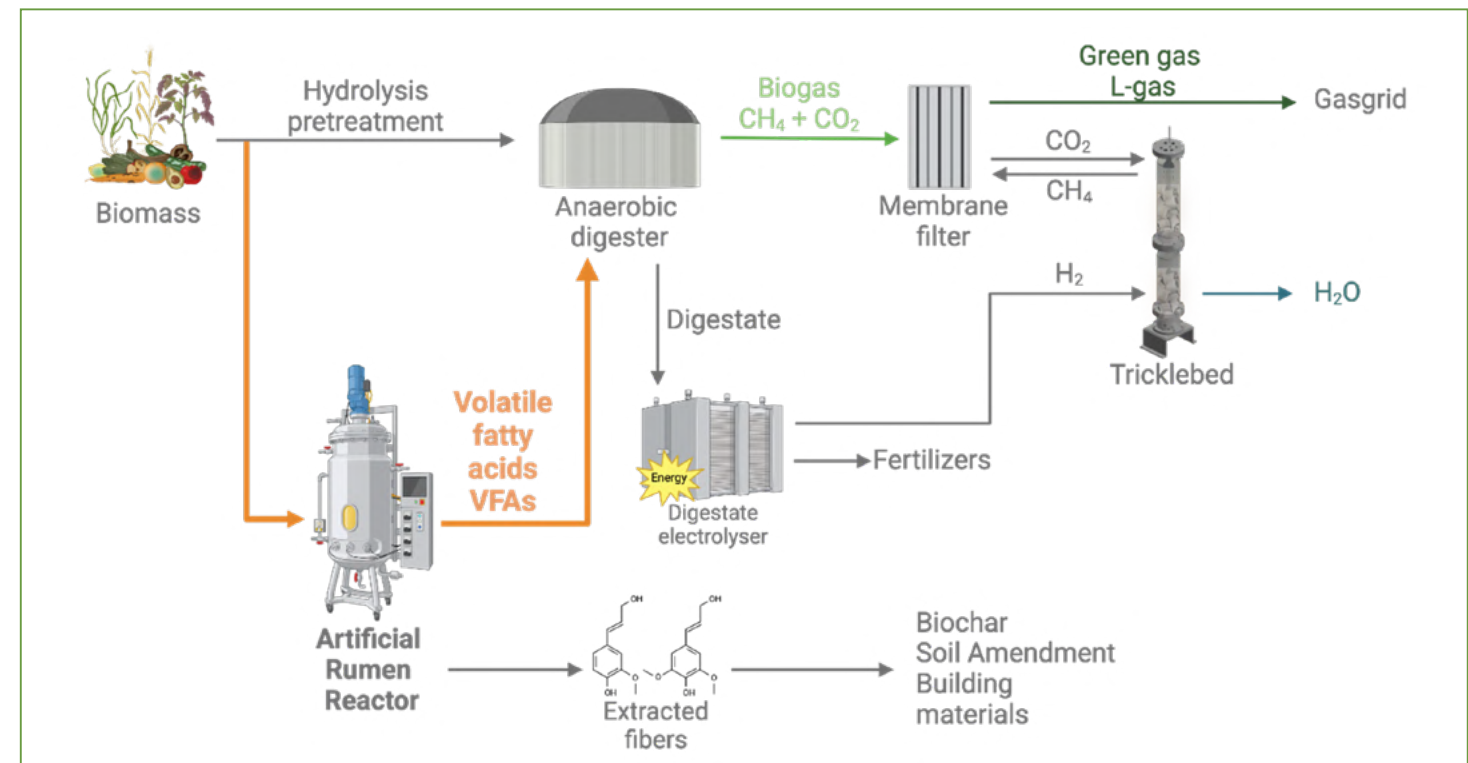
3. Mogelijkheid tot co-vergisting: deze configuratie kan (kleinere) co-vergistingsstromen aan

Getrapte vergisting en thermofiele bedrijfsvoering kan een hogere opbrengst generen maar dit brengt ook hogere complexiteit en verhoogde CAPEX & OPEX met zich mee.



2.3 Innovaties voor optimaal benutten (gras)reststromen

De wens van het project is om de grasreststromen zo optimaal mogelijk te benutten. Hiervoor zijn drie technische innovaties in het project onderzocht. Om het proces van biogasproductie en opwaardering naar groen gas inzichtelijk te maken, wordt in *Figuur 9* een schematische weergave gepresenteerd van het innovatieve 'Fermolyse Proces'. Dit proces begint met biomassa, die via een kunstmatige pensreactor (Artificial Rumen Reactor, ARR) wordt afgebroken tot vluchtige vetzuren (VFA's). Deze VFA's dienen vervolgens als substraat voor de anaerobe vergisting, waarbij biogas wordt geproduceerd, bestaande uit methaan (CH_4) en koolstofdioxide (CO_2).

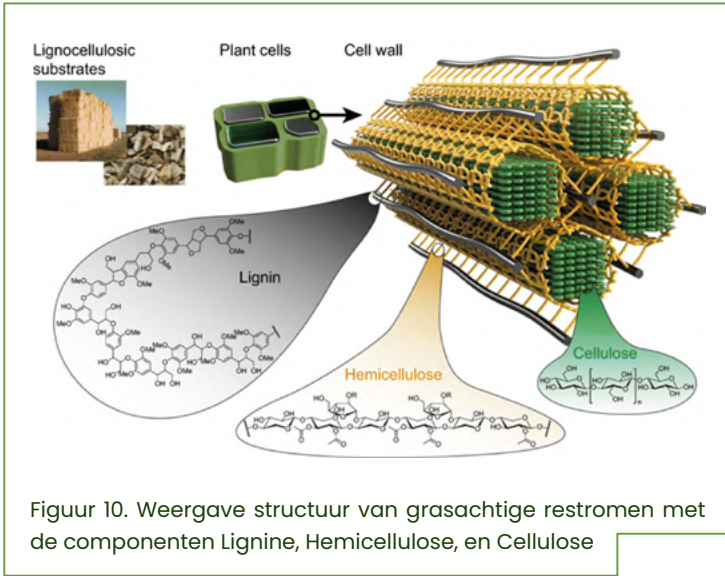


Figuur 9. Weergave fermolyse concept bij vergisting. De figuur geeft de stromen en deel technieken weer; Fermolyse proces als alternatieve voorbehandeling, Tricklebed voor extra methaanproductie uit CO_2 , en Digestaat electrolyser als potentiële bron voor waterstof

Het geproduceerde biogas kan verder worden opgewaardeerd via een membraanfilter en trickle-bed reactor (TBR). In de TBR wordt de CO_2 -fractie omgezet in extra methaan door de toevoeging van waterstof (H_2), wat resulteert in een verhoogde methaanconcentratie en een reductie van CO_2 -emissies. Tegelijkertijd worden de resterende vezels uit de ARR verwerkt tot waardevolle bijproducten, zoals biochar, bodemverbeteraars of bouwmaterialen. De waterstof die nodig is in de Trickle Bed Reactor wordt gemaakt met een digestaat electrolyser.

A: Artificial Rumen Reactor (ARR) voor verbeterde voorbehandeling en valorisatie:

De gebruikte grondstof in deze studie is lignocelluloserijk gras, een veelvoorkomend en goedkoop substraat voor biogasproductie. Lignine, een belangrijk bestanddeel van gras, is in een conventionele biogasreactor moeilijk af te breken vanwege de complexe en stabiele structuur (Figuur 10). Herkauwers daarentegen zijn geëvolueerd om lignine effectief af te breken dankzij hun gespecialiseerde spijsverteringssysteem en de micro-organismen in hun pens (Rumen). De Artificial Rumen Reactor (ARR) bootst deze natuurlijke afbraakprocessen na, waardoor de afbraak van lignocellulose efficiënter verloopt dan in traditionele vergistingssystemen.



Figuur 10. Weergave structuur van grasachtige reststromen met de componenten Lignine, Hemicellulose, en Cellulose

Deze voorbehandelingsmethode wordt toegepast om het gras effectief af te breken tot vluchtige vetzuren (VFAs), die vervolgens in een vergistingsproces worden omgezet in methaan. Door de efficiëntere afbraak van cellulose, hemicellulose en in beperkte mate lignine in de ARR, ontstaat een stabiele productie van vluchtige vetzuren. Deze VFAs vormen de directe bouwstenen voor methaanproductie in de daaropvolgende vergistingsstappen.

Na de afbraak blijft er een vezelrijke restfractie over, bestaande uit niet-afgebroken lignine en andere structurele componenten van het gras. Deze restfractie heeft nog waardevolle toepassingen en kan bijvoorbeeld worden gebruikt voor de productie van biochar via pyrolyse, wat bijdraagt aan koolstofopslag en bodemverbetering.

VFA-opbrengst: Omgerekend wordt in de 'ARR naar VFA'-route per ton droog gras gemiddeld 393 kg VFA geproduceerd, waarmee een aanzienlijke bijdrage wordt geleverd aan de totale methaanopbrengst. De samenstelling van vluchtige vetzuren (VFAs) bestaat uit:

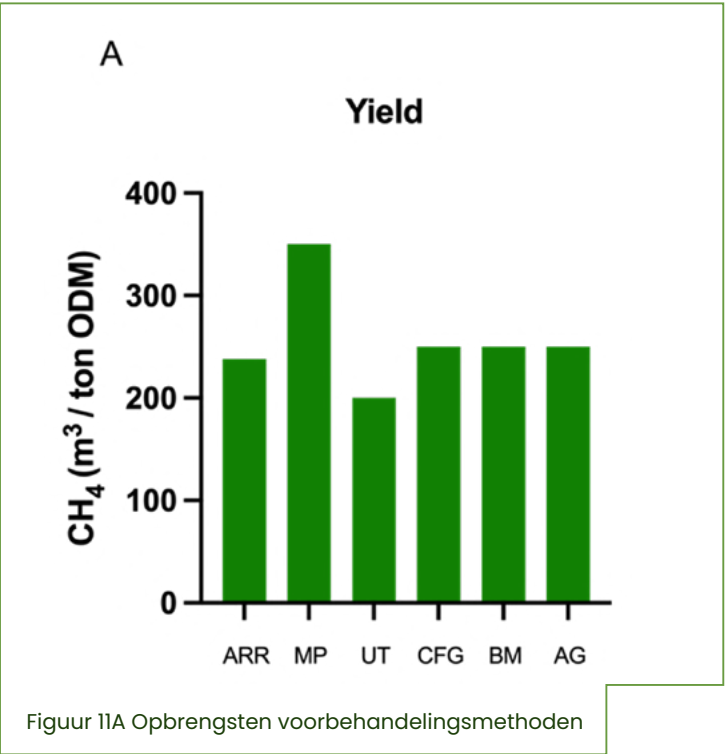
azijnzuur (AA): 68–72%, propionzuur (PA): 18–19% en boterzuur (BA): 9–11%. De stabiele VFA-samenstelling wijst op een consistente en reproduceerbare omzetting. De hoge fractie azijnzuur is bijzonder gunstig voor methaanproductie omdat azijnzuur rechtstreeks omgezet wordt naar CH₄.

In Tabel 6 worden de systeemprestaties van de Artificial Rumen Reactor (ARR) en een traditionele vergister vergeleken, waarbij niet alleen de methaanopbrengst maar ook parameters zoals cyclusduur, biomassa doorvoer, bijproducten en energieopbrengst in ogenschouw worden genomen. Deze vergelijking benadrukt de meerwaarde van de ARR, waaronder een snellere verwerkingscyclus, een efficiëntere benutting van biomassa en de mogelijkheid tot valorisatie van bijproducten zoals VFAs en vezelrijke reststromen.

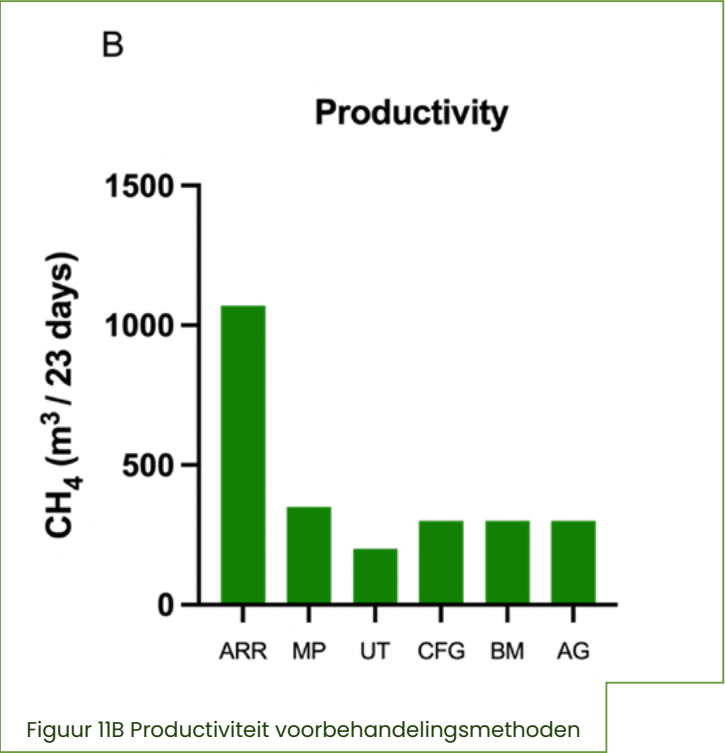
Tabel 6. Systeemprestaties vergeleken tussen ARR en traditionele vergister

Prestatie-parameter	ARR	Traditionele vergister
Methaan-opbrengst (m ³ /ton ODM)	238 (per cyclus) 1071 (23 dagen)	200–300, untreated)
Cyclusduur	5 dagen	23 dagen
Totale biomassa doorvoer (23 dagen)	~4,5 ton	~1 ton
Bijproducten	VFAs, vezelrijke fractie (biochar mogelijk)	digestaat
Energie-opbrengst	~30% hoger t.o.v. traditionele route	Baseline

In Figuur 11A (Opbrengst) en 11B (Productiviteit) worden de verschillende voorbehandelingsmethoden uit Paragraaf 2.2 vergeleken op basis van de CH₄-opbrengst per ton organisch droog materiaal (Figuur 11A) en de totale methaanproductie over een cyclus van 23 dagen (Figuur 11B).



Figuur 11A Opbrengsten voorbehandelingsmethoden



Figuur 11B Productiviteit voorbehandelingsmethoden

Deze resultaten tonen aan dat de ARR, met een vergelijkbare CH₄ opbrengst per ton ODM, door de kortere cyclus duur aanzienlijk meer methaan produceert over een vaste periode. De efficiëntie van de ARR wordt daarmee duidelijk zichtbaar ten opzichte van conventionele methoden.

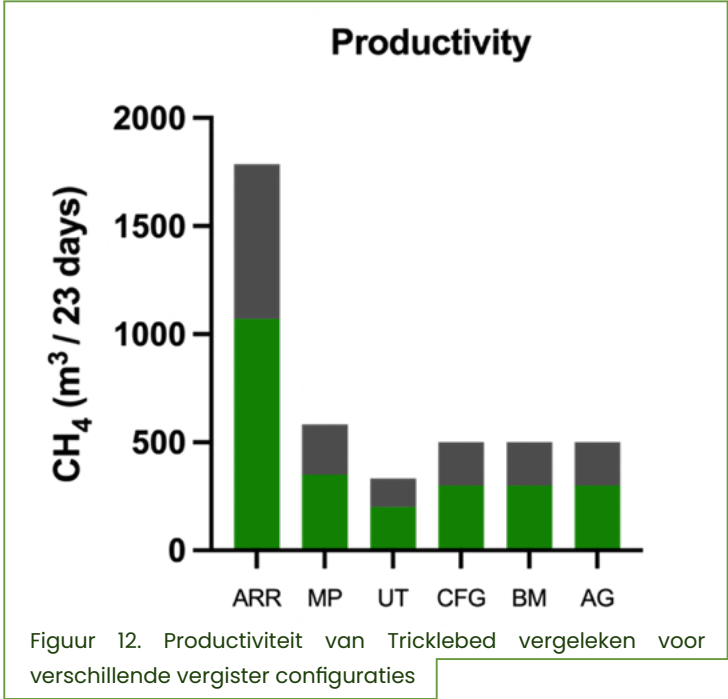
B: Trickle Bed Reactor (TBR) voor additionele methaan productie:

Omdat behalve methaan ook CO₂ wordt gegenereerd bij het vergistingsproces kan het interessant zijn om de CO₂ fractie uit het biogas via een TBR (Trickle-bed-reactor) om te zetten in CH₄. Tabel 7 toont de CH₄ productie (m³) van verschillende voorbehandelingsmethoden voor gras, zowel uitgedrukt per ton organische droog materiaal als per 23 dagen. In de vierde kolom wordt de hoeveelheid geproduceerde CO₂ (m³) weergegeven. Wanneer het biogas door een Trickle Bed Reactor wordt geleid, wordt alle CO₂ omgezet in CH₄, waardoor de totale productie bijna verdubbelt.

Tabel 7 Productie van CH₄ en andere stromen inclusief TBR

Voorbehandeling	CH ₄ -opbrengst (m ³ /ton ODM)	CH ₄ -Production (m ³ /23 days)	CO ₂ -Production (m ³ /23 days)	TBR*	Vraag naar H ₂
**ARR	238.0	1071.0	714	1785	2856
Methaplanet (MP)	350.0	350.0	233	583	932
Geen voorbehandeling (UT)	200.0	200.0	133	333	532
Cross-flow Grinder (CFG)	300.0	300.0	200	500	800
Ball Mill (BM)	300.0	300.0	200	500	800
Amazon Grasshopper (AG)	300.0	300.0	200	500	800

In onderstaande *Figuur 12* is voor elke voorbehandelingsmethode weergegeven hoeveel methaan in eerste instantie gevormd wordt (groene kolom) en hoeveel extra methaan vervolgens met de TBR gevormd kan worden uit de CO₂ die overblijft (donkergrijze kolom).



C: Elektrolyse van digestaat voor duurzame waterstof productie

De waterstof die nodig is voor de TBR kan gemaakt worden met eigen productie van waterstof. Dat kan op twee manieren:

1. Productie uit waterelektrolyse met behulp van eigen opwek van duurzame stroom uit zon of wind;
2. Elektrolyse van ammoniak dat in digestaat zit.

Waterstof kan met ‘ready-to-use’ technologie gemaakt worden uit water. Middels een water ‘electrolyser’ wordt water omgezet in waterstof en zuurstof. Voor dit proces is naast water ook stroom nodig. Rendabele scenario’s maken gebruik van de prijsdynamiek van eigen opwek uit zon of wind: waterstof wordt opgewekt op momenten dat het ongunstig is om de opgewekte stroom aan het elektriciteitsnet te leveren. Op deze manier worden de kosten voor de productie van waterstofgas geminimaliseerd.

Elektrolyse van ammoniak is een techniek in ontwikkeling. In dit proces wordt ammoniak met elektriciteit gesplitst in waterstof en stikstofgas; indien gewenst kan de elektrolyse zelfs doorgezet worden naar nitraat, waarbij meer waterstof gemaakt wordt en het nitraat kan worden ingezet voor de productie van meststoffen. Naast de productie van waterstof is een belangrijke en vaak waardevolle eigenschap van dit proces dat het een goede weg biedt om overtollig ammoniak op een waardevolle manier te verwijderen. Welk deel van de waterstofbehoefte in de TBR gedekt kan worden met elektrolyse van ammoniak hangt in de basis af van hoeveel biogas een substraat per ton produceert en hoeveel ammoniak het digestaat bevat. Dit kan variëren van circa 10% tot 75%.

D: Geschiktheid van grasverwerking

Afhankelijk van de hoeveelheid beschikbare biomassa kan worden berekend wat de theoretische methaanopbrengst uit gras is. Dit begint met het vaststellen van de hoeveelheid vluchtige vetzuren (VFA) die per ton droog gras wordt geproduceerd. Uitgaande van een omzettingfactor van 0,4, leidt dit tot 400 kg VFA per ton gras. Omdat 85% van de VFA afkomstig is uit organisch droog materiaal (ODM), blijft effectief 340 kg ODM over. De overige 15% van VFA is afkomstig uit oplosbare organische verbindingen in het vocht van het gras. Daarnaast tonen de eerste experimenten aan dat naast VFA’s ook andere organische componenten bijdragen aan de totale chemische zuurstofvraag (COD). Ongeveer 40% van de totale COD bestaat uit niet-VFA componenten. Dit resulteert grofweg in een totale COD-waarde van 567 kg per ton droge stof gras, waarvan ~227 kg COD afkomstig is van niet-VFA bronnen.

Aangezien methaanproductie via anaerobe vergisting gebaseerd is op de omzetting van COD, kan de theoretische methaanopbrengst worden berekend met een gemiddelde conversiefactor van 0,35 m³ CH₄ per kg COD. Dit betekent dat de totale biogasproductie direct afhankelijk is van de beschikbare COD-fractie en de efficiëntie van de omzetting. De methaanopbrengst uit de totale COD kan als volgt worden berekend: 158 m³ CH₄ uit VFA + 80 m³ CH₄ uit overige organische componenten = 238 m³ CH₄ per ton droge stof gras.

Uit verschillende rapporten (Een Studie Naar Kansen Voor Grasvergisting, n.d.) 2024 TenKate_Gras ingekuild en (RAPPORT_510065_BIOMAISSA, n.d.) blijkt dat er in 2023 114.596 ton stro-opbrengst beschikbaar overeenkomstig 95.076 ton droge stof. Hieruit kan theoretisch 19.015.200 m³ CH₄(traditioneel) en 18.825.048 m³ CH₄ (ARR–VFA–AD) worden geproduceerd. Alhoewel dit in totalen minder is dan traditionele routes, wordt deze hoeveelheid bereikt in vijf dagen t.o.v. 23 dagen voor de andere routes. Omgerekend naar productiviteit (zie *Figuur 11B*) presteert de (ARR–VFA–AD) route beter.

De innovatieve Fermolyse vergistingsmethode versnelt de productie in potentie **4,5 keer** ten opzichte van traditionele vergisting, terwijl de methaanopbrengst per ton droge stof nagenoeg behouden blijft (**238 m³ CH₄ vs. 200–300 m³ CH₄ per ton**). Dankzij de sterk verbeterde verwerkingscapaciteit kan een biogasinstallatie optimaal presteren binnen de bestaande infrastructuur. Hierdoor is deze technologie bijzonder geschikt voor installaties die hun output willen maximaliseren zonder ingrijpende uitbreiding van reactorcapaciteit.



Resultaten

3. Juridische aspecten

Naast de technische vraagstukken speelt het wettelijk kader een belangrijke rol bij de vergisting van grasstromen als biogassubstraat. Dit hoofdstuk geeft een overzicht van het juridische kader bij vergisting van grasachtige reststromen en bijbehorende activiteiten zoals opslag en transport van biomassa en inzet bij gebruik als brandstof.

3.1 Juridische situatie in Nederland

Ondernemers die in Nederland biogas willen produceren uit grasreststromen moeten aan strenge wet- en regelgeving voldoen. Grasvergisting wordt nog niet erg vaak toegepast en wordt in de praktijk vaak gecombineerd met mest (co-vergisting). Dit brengt specifieke vergunningseisen met zich mee, afhankelijk van de schaalgrootte en de toepassing van het biogas. Daarnaast gelden strikte regels voor de opslag en het transport van biomassa en biogas, evenals veiligheidsvoorschriften bij gebruik als brandstof.

3.1.1. Vergunningseisen voor grasvergisting

Vergisting van gras vereist vergunningen die afhankelijk zijn van de combinatie met mest, de schaalgrootte en de verwerking van afvalstoffen. Bij elke vorm van vergisting moet worden vastgesteld of het gaat om co- of monovergisting en of de installatie onder de IPPC-regels valt. Dit is het geval wanneer het bedrijf meer dan 100 ton per dag (anaeroob) vergist. Er is dan sprake van nuttige toepassing van afvalstoffen^[5] (categorie 5.3b)

i. Regels voor co-vergisting installatie (gras + mest):

Dit valt onder de milieubelastende activiteit "bedrijf voor mestbehandeling^[6]" (paragraaf 3.6.8 Bal). Een omgevingsvergunning milieubelastende activiteit is vereist bij:

- Vergisting van dierlijke meststoffen met afvalstoffen (Artikel 3.226 lid 1b Bal).
- Vergisting van dierlijke meststoffen met plantaardig materiaal (Artikel 3.226 lid 1c Bal).
- Als er meer dan 25.000 m³ mest van derden wordt gebruikt val het vergisten onder de milieubelastende activiteit "grootschalige mestverwerking^[7]" (paragraaf 3.3.14 Bal).

De eisen voor vergisten staan in paragraaf 4.88 (mestvergistingsinstallatie). Deze eisen gelden ook voor covergisting, maar in de omgevingsvergunning milieubelastende activiteiten zullen aanvullende eisen opgenomen moeten worden bij gebruik van covergistingsmaterialen.

Aandachtspunten zijn:

- Bij gebruik van covergistingsmaterialen met een relatief hoog zwavelgehalte, zoals koolsoorten en eiwitrijk materiaal, is het gehalte waterstofsulfide een aandachtspunt.
- Als het covergistingsmateriaal voor een agressiever klimaat in de vergistingstank zorgt. In dit geval kan het nodig zijn om de bodem en wanden van de vergistingstank extra te beschermen.

Als de biogasinstallatie significant nadelige gevolgen heeft voor een Natura 2000-gebied, dan is een omgevingsvergunning Natura 2000-activiteit nodig.

3.1.2. Opslag en transport van co-vergistingsmaterialen

Vergisting vereist opslag en transport van biomassa, waarvoor specifieke regels gelden. Voor opslag en transport moeten ondernemers bepalen of de materialen als afvalstoffen worden beschouwd en of aanvullende milieueisen van toepassing zijn. Volgens artikel 1.1 van de Wet milieubeheer is een afvalstof 'alle stoffen, mengsels of voorwerpen, waarvan de houder zich ontdoet, voornemens is zich te ontdoen of zich moet ontdoen'.

Op basis van deze definitie wordt gemeentelijk gras van bijvoorbeeld bermbeheer hoogstwaarschijnlijk aangemerkt als een afvalstof omdat de gemeente zich ontdoet van het gras, er zelf geen nuttige toepassing voor heeft en het niet meer inzet als grondstof binnen de eigen organisatie. Wanneer een boerenbedrijf de grasreststroom zelf in zal zetten lijkt het binnen de reguliere co-vergistingsmaterialen vallen.

i. Regels bij opslag en transport van reguliere co-vergistingsmaterialen:

Bij opslag van biomassa kan er een onderscheid worden gemaakt tussen vaste en vloeibare co-vergistingsmaterialen. **Vaste** covergistingsmaterialen vallen onder paragraaf 4.104 Bal en worden beschouwd als 'vermestende goederen'. In het geval van **vloeibare** covergistingsmaterialen zijn er geen specifieke Bal-eisen, maar zal de opslag van deze materialen onderhevig zijn aan milieuregels over bijvoorbeeld tanks en bassins. In dit geval kunnen deze specifieke eisen worden opgenomen in de omgevingsvergunning. Daarnaast kan aanvullend geurbeheersing maatregelen worden vereist. De gemeente bepaalt welke geurhinder aanvaardbaar is en welke afstand voldoende is. Er gelden geen aanvullende transporteisen voor covergistingsmaterialen die niet worden geoordeeld als afvalstoffen.

^[5] Nuttig toepassen van afvalstoffen

^[6] Bedrijf voor mestbehandeling

^[7] Grootschalige mestverwerking

ii. Regels bij opslag en transport van afvalstoffen als co-vergistingmateriaal:

Voor covergistingsmaterialen die worden geoormerkt als afvalstof, gelden de eisen in hoofdstuk 10 van de Wet milieubeheer. Voor het doelmatig beheer van afvalstoffen moet het digestaat als meststof kunnen worden toegepast. Deze eisen staan in de Meststoffenwet^[8]. Daarnaast is er vanwege activiteiten met afvalstoffen bij uitbreiding of andere wijzigingen altijd een beoordeling nodig of een milieueffectrapport nodig is.

In de kern zijn de opslagregels voor afvalstoffen hetzelfde, met name wat betreft fysieke voorzieningen (afdekking, geurbepierking). Maar bij afvalstoffen gelden aanvullende juridische verplichtingen, vooral op het gebied van beheer en administratie, vergunningsplicht en mogelijke milieueffectrapportage. Bij afvalstoffen als covergistingsmateriaal zijn daarnaast ook specifieke transportregels van toepassing, zoals registratie op de VIHB-lijst, het gebruik van begeleidingsbrieven en naleving van de EVOA-regelgeving als het gaat om grensoverschrijdend transport.

3.1.3. Regels en vergunningseisen voor tanken van Compressed Natural Gas (CNG)

Wanneer biogas wordt gebruikt als brandstof voor landbouwvoertuigen, gelden aanvullende vergunningen en veiligheidsregels. Deze regels hebben betrekking op veiligheidsvoorschriften zoals afstanden, keuring en constructie-eisen van de tankinstallatie. Deze zijn opgenomen in paragraaf 4.37 van het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal).

i. Wanneer zijn de regels van toepassing?

De voorschriften uit paragraaf 4.37 gelden alleen als het gaat om tanken van CNG bij een tankinstallatie die bestemd is voor voertuigen, vaartuigen of werktuigen, en als het daarnaast onder één van onderstaande milieubelastende activiteiten valt:

- Paragraaf 3.8.3. Bunkerstations en andere tankplaatsen voor schepen.
- Paragraaf 3.8.6. Opslag- en transportbedrijf, groothandel of containerterminal.

- Paragraaf 3.8.10: Tankstation.
-

ii. Veiligheidsafstanden voor CNG-tankinstallaties

Bij het tanken van CNG gelden minimale afstanden vanaf de tankzuil (het vulpunt voor voertuigen) en de bufferopslag (de tijdelijke opslag van samengeperst gas op locatie). Deze afstanden zijn vastgelegd in tabel 4.484 van het

Bal en hangen af van het soort gebruik (Tabel 8).

Tabel 8. Afstandseisen voor tankinstallaties volgens het Besluit algemene Leefomgeving (Bal)

Situatie	Afstand tot objecten
Tanken van ≤300 auto's en ≤100 bussen/dag	10 m vanaf tankzuil
Tanken van >300 auto's of ≤100 bussen/dag	15 m vanaf tankzuil
Tanken van >100 bussen/dag	20 m vanaf tankzuil
Waterinhoud bufferopslag <3 m³	10 m vanaf bufferopslag
Waterinhoud bufferopslag 3–5 m³	15 m vanaf bufferopslag
Waterinhoud bufferopslag >5 m³	20 m vanaf bufferopslag

iii. Eisen uit PGS 25 (Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen)

Volgens artikel 4.486 van het Bal gelden voor CNG-tankinstallaties ook de eisen uit PGS 25. Deze PGS geeft richtlijnen voor constructie van de installatie, keuring, controle en onderhoud, en afstanden tot objecten binnen de locatie zelf. De specifieke richtlijnen van bovenstaand kunnen worden geraadpleegd via de website van Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen (PGS).

iv. Verboden handelingen:

Volgens artikel 4.487 Bal mag CNG alleen worden getankt in vast gemonteerde brandstofreservoirs van voertuigen, vaartuigen en werktuigen. Het vullen van losse gasflessen en wisselreservoirs is niet toegestaan (hiervoor zijn aparte vulstations nodig).

3.1.4. Bevoegd Gezag en Handhaving

Afhankelijk van de schaalgrootte en activiteit zijn verschillende overheidsinstanties verantwoordelijk voor vergunningverlening en controle. Ondernemers moeten bepalen welke instantie verantwoordelijk is voor hun vergunningaanvraag en of er aanvullende regelgeving van toepassing is.

- **Gemeente:** bevoegd gezag voor reguliere vergisting en co-vergisting.

- **Provincie (Gedeputeerde Staten):** bevoegd gezag bij grootschalige mestverwerking (dit geldt bij gebruik van meer dan 25.000 m³ mest van derden).

3.2 Juridische situatie in Duitsland

Naast de technische vraagstukken speelt het wettelijk kader een belangrijke rol bij de beoordeling van kuilgras als biogassubstraat. Er moet rekening worden gehouden met drie niveaus:

3.2.1. Bouwvergunning

De installatievergunning – zowel als landbouwkundige installatie volgens § 35 BauGB als in het geval van goedkeuring volgens de BimSchG – bevat bindende voorschriften voor de te gebruiken ondergrond. Indien kuilgras hierin niet is opgenomen, moet de vergunning worden aangepast. In de regel zou dit geen grote inspanning moeten zijn, omdat kuilgras een landbouwsubstraat is.

3.2.2. Gebruik bij warmtekrachtkoppeling

Als het biogas wordt gebruikt voor warmtekrachtkoppeling en de elektriciteit wordt vergoed in overeenstemming met de bepalingen van het EEG, moet de toepasselijke versie van de wet in acht worden genomen. In de versies van 2004 en 2009 wordt graskuil, net als andere geteelde biomassa, beschouwd als een hernieuwbare grondstof, zodat de zogenaamde Nawaro-bonus wordt toegekend.

In de versie van 2012 valt kuilgras, net als andere geteelde biomassa, in vergoedingsklasse I voor inputmateriaal, zodat de overeenkomstige aanvullende vergoeding wordt toegekend. In de versie van 2023 valt kuilgras niet onder het zogenaamde maïsdeksel, dat een maximaal aandeel maïs en kuilvoer van 30 – 35% voorschrijft. Het gebruik van kuilgras ter vervanging van maïs en ander kuilvoer voor de hele teelt in bestaande biogasinstallaties is daarom juridisch gezien relatief moeilijk.

3.2.3. Gebruik als brandstof

Bij het gebruik van biogas als brandstof moeten verschillende bepalingen in acht worden genomen. In de 38e BImSchV wordt kuilgras beschouwd als een conventionele biograndstof, d.w.z. dat het wordt meegeteld voor het voldoen aan de verplichtingen inzake broeikasgasreductie, maar niet als een geavanceerde biograndstof zoals mest/mest en afvalstoffen.

Biogas dat als brandstof wordt gebruikt, moet worden geregistreerd in het Nabisy-register. Hiervoor is een code nodig die het uitgangsmateriaal en het product (CNG, LNG, LPG) beschrijft. Er zijn zes codes voor biomethaan uit graskuil, wat het gemakkelijker maakt om ze dienovereenkomstig te classificeren. Indien andere dan de reeds genoemde grondstoffen (Soedangras, raaigras, veldgras, klavergras) worden gebruikt, kunnen verdere codes

worden aangevraagd. Er zijn echter nog geen standaardwaarden voor de vermindering van broeikasgassen vastgesteld. Aangezien individueel bewijsmateriaal in het specifieke geval toch moet worden bewaard, vormt dit geen belemmering. Literatuurwaarden kunnen worden gebruikt in de projectplanningsfase. In het kader van de projectplanning zou een gesprek met de milieuverificateur moeten worden gezocht of zou een LCA moeten worden uitgevoerd om de standaardwaarden te verbeteren.

[8] Meststoffenwet

Resultaten

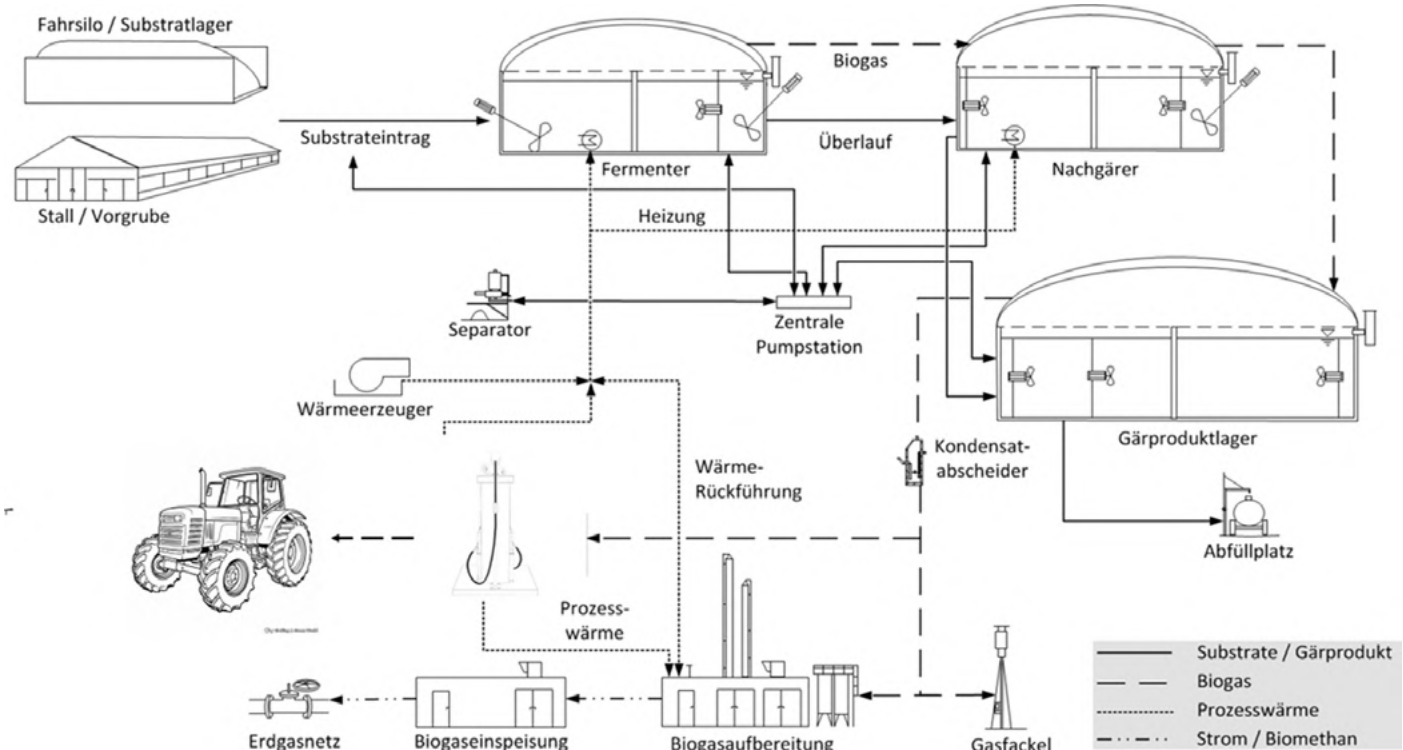
4. Techno-economische analyse

Dit hoofdstuk biedt een eerste inschatting van de kosten en baten van grasvergisting, op basis van de KTBL Probiogas-tool^[9] – een planningsinstrument voor agrarische biogasinstallaties. Omdat Nederlandse melkveehouders hun gras voornamelijk als veevoer gebruiken, zijn er hier nauwelijks grasreststromen beschikbaar voor vergisting. De Nederlandse boer Ten Kate wil het geproduceerde gas invoeden op het aardgasnet. Om toch een volledig beeld te krijgen van de financiële aspecten, inclusief de optie van CNG-tankstations, is gekozen voor de Duitse casus als basis voor de raming van investerings- (CAPEX) en operationele kosten (OPEX).

4.1 Installatiebeschrijving en uitgangspunten

De Duitse onderneming die als casus wordt gebruikt is het Loonbedrijf Thomssen met vestigingen in Bunde, Idafehn en Pewsum. Thomssen gebruikte in 2023 bijna 830.000 liter diesel voor zijn voertuigen. Als ze alle diesel zouden vervangen door biomethaan hebben ze ongeveer 710.000 kg nodig. Thomssen heeft de beschikking over 15.000 ton gemaaid gras, wanneer we uitgaan van covergisting met eenzelfde hoeveelheid varkensmest zou er ongeveer 1.175.000 kg biomethaan worden geproduceerd. Dit zou meer dan voldoende zijn om in de eigen behoefte te voorzien.

Hoofdzakelijke installatieonderdelen
Middels de KTBL Probiogas-tool kunnen de gebruikte substraatsoorten en -hoeveelheden worden ingevoerd, en een selectie van installatiecomponenten worden gemaakt. Op basis hiervan kunnen mogelijke opties voor de voortzetting van de exploitatie worden gepresenteerd. De mogelijke toepassingsmogelijkheden zijn warmtekraftkoppeling (energieopwekking ter plaatse en satellieten met een WKK-installatie inclusief warmtewinning) en biomethaanproductie en -invoer (eventueel met CNG-tankstation). De resultaten tonen installatie specifieke kerncijfers zoals investeringsvereisten, jaarlijkse kosten, werktijdvereisten en -kosten, evenals kosten voor de productie van elektriciteit of biomethaan. Voor de verwerking van een mengsel van 30.000 ton mest en gras is de volgende installatie nodig:



Figuur 13. Overzicht installatieonderdelen uit KTBL Probiogas-tool; de installatie bestaat uit een biogasinstallatie met een gecombineerde net-invoeding en CNG tankstation

^[9] <https://daten.ktbl.de/biogas/startseite.do;jsessionid=8174F0D8D6410C341824D14A426B2349>

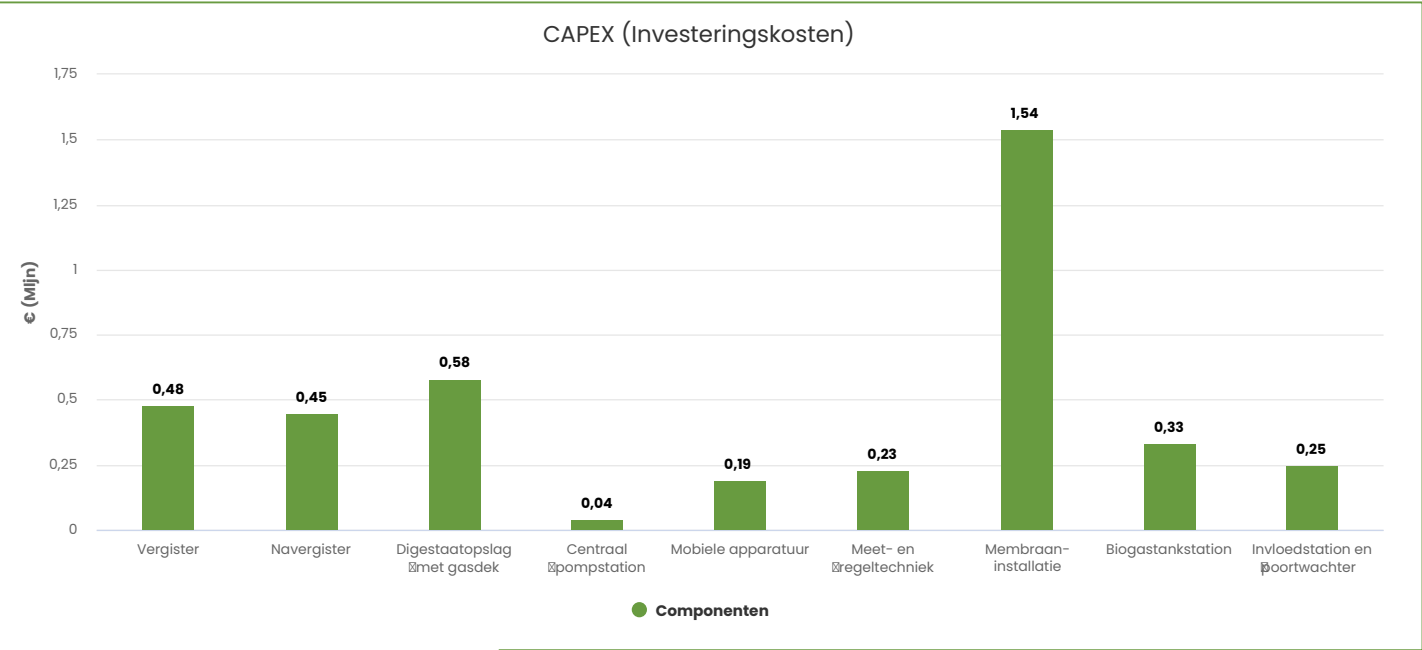
4.2 Investerings- en operationele kosten

De techno-economische casus wijst uit dat grasvergisting in combinatie met varkensmest tot biomethaan een technisch robuuste en financieel interessante route is, mits de schaal en lokale omstandigheden optimaal zijn. De totale investering van €4.077.706 wordt voornamelijk gedreven door drie hoofdcomponenten: de membraaninstallatie (€1.538.503), digestaatopslag (€580.186) en vergisters (€925.075 voor hoofd- en navergister). De digestaatopslag – inclusief gassdak – is nodig voor emissiebeheersing en opslagcapaciteit, wat cruciaal is voor naleving van milieuregelgeving.

Tabel 9. Totale investeringskosten(CAPEX)

Onderdeel	Beschrijving	Investering (€)
Vergister	3200 m³ Bruttovolume	478.851
Navigister	3200 m³ Bruttovolume	446.224
Digestaatopslag met gassdak	7000 m³ Bruttovolume	580.186
Centraal pompstation	45 m³/h capaciteit	37.142
Mobiele apparatuur		188.720
Meet en regeltechniek	MSR-techniek & Gasfackel	227.127
Membraaninstallatie	400 Nm³/h	1.538.503
Biogastankstation	250 Nm³/h	330.953
Invoedstation		
Invoedstation en poortwachter		250.000
Totaal		Investering (€)
Investering ex. grondstuk		4.077.706

De keuze voor covergisting met varkensmest is ook economisch slim: dit substraat is beschikbaar zonder aankoopkosten en verhoogt de C/N-verhouding, wat de microbiële efficiëntie in de vergister ondersteunt. De capaciteitsbehoefte van 710.000 kg biomethaan ter vervanging van diesel wordt ruimschoots gedekt met de jaarlijkse opbrengst van 1.175.000 kg biomethaan, wat ruimte laat voor verkoop of verdere toepassing zoals een publiek CNG-station.



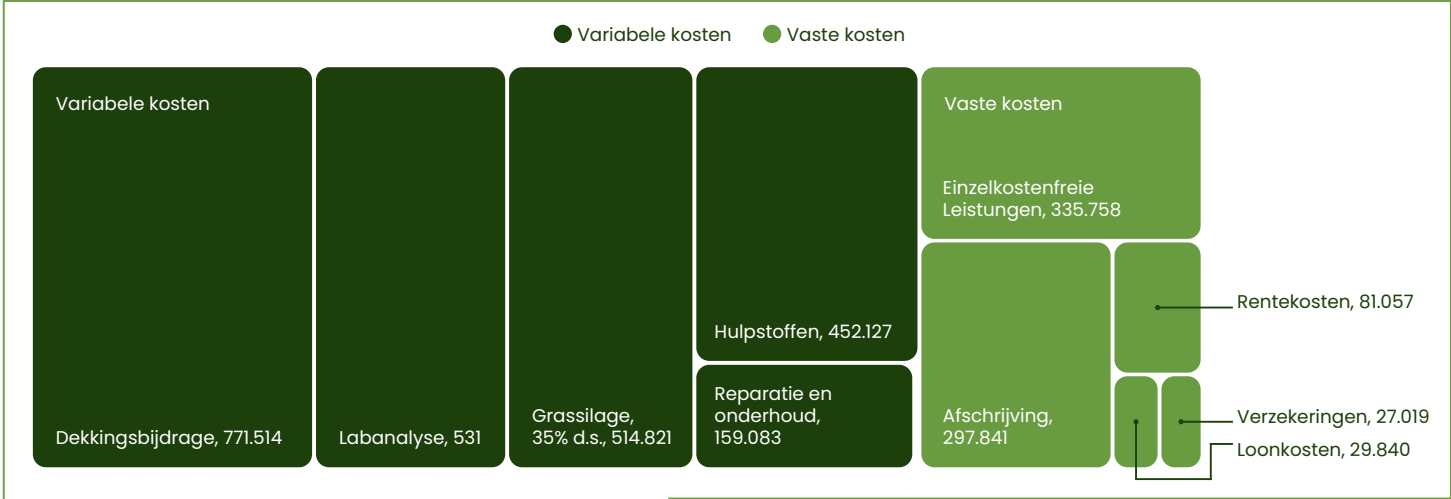
Figuur 14. Totalen (CAPEX) investeringskosten

Aan de operationele kant vallen vooral de hoge variabele kosten op, met €514.821 voor grassilage en €452.127 aan hulpstoffen – samen goed voor 85% van de totale variabele uitgaven. Dat suggereert dat kostenbeheersing vooral gezocht moet worden in optimalisatie van inputstromen of het sluiten van kringlopen (bijv. via eigen grasteelt). De vaste kosten (€435.756) zijn relatief stabiel en beheersbaar.

Tabel 10. Totale operationele kosten (OPEX)

Variable kosten	Eenheid	Hoeveelheid	Prijs	Bedrag
Grassilage, 35% d.s.		15.000	34,32	514.821
Varkensmest, 5% d.s.		15.000	0	-
Reparatie en onderhoud				159.083
Hulpstoffen				452.127
Labanalyses	aantal	2	120	531
Rentekosten vlottende activa		1.126.563	0,03	2.816
Totaal variable kosten				1.129.380
Dekkingsbijdrage				771.514
Vaste kosten				
Afschrijving				297.841
Rentekosten				81.057
Verzekeringen				27.019
Loonkosten				29.840
Totaal vaste kosten				435.756
Einzelkostenfreie Leistungen				335.758
Overheadkosten				
Overhead				9.219

Totale kosten				1.574.355
Berekende winstbijdrage				326.539
Rendement op activa	%			15



Figuur 15. Overzicht totale operationele kosten in € (OPEX)

De berekende winstbijdrage van €326.539 op een kostenniveau van €1.574.355 betekent dat de installatie jaarlijks ongeveer 20,7% winst op operationeel niveau draait. Interessant is ook het rendement op activa (ROA) van 15%, wat relatief hoog is voor kapitaalintensieve duurzame energieprojecten en vergelijkbaar met commerciële drempelwaarden. Het duidt op een solide investering met strategische voordelen op lange termijn: energieautonomie, reductie van fossiele diesel, bijdrage aan mestverwerking en potentieel nieuwe inkomstenstromen via CNG-verkoop.



Uitkomsten netwerkopbouw

In het kader van netwerkvorming hebben de projectpartners gezamenlijk een uitgebreide lijst van stakeholders opgesteld en vertegenwoordigers uit het bedrijfsleven, de wetenschap, het bestuur en zogenaamde multipliers geïdentificeerd voor wie het onderwerp relevant is. Deze stakeholders, evenals de netwerkpartners van NEC en OLEC, zijn gericht uitgenodigd voor de netwerkbijeenkomsten. De contactlijst zal ook bruikbaar zijn voor vervolgactiviteiten binnen het project. OLEC heeft in het kader van de public relations voor het project informatie via LinkedIn en de maandelijkse nieuwsbrief toegankelijk gemaakt voor een breed geïnteresseerd publiek. Via LinkedIn zijn gedurende de looptijd van het project 6 berichten over het project geplaatst. Het LinkedIn account heeft op dit moment een bereik van ruim 1.000 volgers. De volgende berichten zijn via dit kanaal gedeeld.



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

Daarnaast zijn verschillende mailings verzonden via de evenementen- en ledenmailinglijst van OLEC en zijn uitnodigingen verzonden naar geselecteerde relaties van de projectpartners voor de netwerkbijeenkomsten. Ook heeft OLEC informatie over het project en de netwerkbijeenkomsten opgenomen in de maandelijkse OLEC Energienieuwsbrief, die ongeveer 600 abonnees heeft.

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

Conclusies

Dit project onderzoekt de mogelijkheid om grasreststromen in te zetten voor de productie van biogas. Daarnaast is onderzocht hoe efficiënter met grondstoffen kan worden omgegaan en hoe nieuwe valorisatieroutes kunnen worden gecreëerd.

1. Beschikbaarheid en kwaliteit van grasreststromen in de regio

Allereerst is er gekeken naar de beschikbaarheid, kwaliteit en geschiktheid van grasreststromen aan de Nederlandse en Duitse kant van de grensregio. Uit de resultaten blijkt dat grasreststromen in zowel Noord-Duitsland als Noord-Nederland in potentie een waardevol substraat kunnen vormen voor biogasproductie. Binnen een straal van 40 km rond Idafehn is er bijvoorbeeld circa 5.000 hectare grasland beschikbaar, wat kan leiden tot zo'n 19.500 ton per jaar. Ook in Noord-Nederland is er, volgens uiteenlopende studies, naar schatting 411 kton droge stof in de vorm van gras beschikbaar, hoewel de kwaliteit en beschikbaarheid sterk variëren per type gras (bermgras, natuurgas, slootmaaisel) en de oogstmethode.

Tegelijkertijd is duidelijk dat niet alle grasstromen even geschikt zijn voor vergisting. Het **droge stofgehalte** en de **organisch droge stof** (o.d.s.) vormen cruciale kwaliteitsparameters. **Gemaaid gras zonder verdere behandeling** heeft doorgaans een relatief laag droge stofgehalte en lagere biogasopbrengst, wat het minder aantrekkelijk maakt. **Kuilgras** heeft eigenschappen die vergelijkbaar zijn met maïskuil of rogge en kan daarom rendabeler uitpakken. **Stro** biedt door zijn hogere droge stofgehalte een hogere gasopbrengst, maar wordt in Nederland zelden direct voor vergisting ingezet vanwege de hoge kosten en alternatieve gebruiksmogelijkheden (stalstrooisel, jongvee, paardenhouderij).



Verder spelen **logistieke en economische** aspecten een belangrijke rol: transportafstanden, opslagmethoden (kuilen, silage), seizoensinvloeden en de koppeling met andere substraten (co-vergisting) bepalen in hoge mate of grasreststromen ook werkelijk toepasbaar zijn. Hierdoor kan in de ene regio een aanzienlijk deel van het beschikbare gras goed benut worden, terwijl in een andere regio maar een fractie daadwerkelijk geschikt blijkt te zijn.

Kortom, de wens om grasreststromen als biogassubstraat in te zetten is technisch haalbaar en kan - in combinatie met de juiste

voorbewerking en substraatmix - een goede gasopbrengst opleveren. Tegelijkertijd zijn de heterogeniteit van het materiaal, de beperkte kwantiteit van reststromen (met name in Noord-Nederland) en de variabele kwaliteit belemmerende factoren. Elke situatie vraagt daarom om een zorgvuldige beoordeling van beschikbaarheid, droogtegraad en bijbehorende logistieke en financiële randvoorwaarden.

2. Benodigde technologieën voor grasvergisting

Als tweede onderdeel is onderzocht wat er technologisch nodig en beschikbaar is om gras te vergisten. Hieruit is gebleken dat op de eerste plek een voorbehandeling van de grasrestroom nodig zal zijn om de methaanopbrengst te vergroten en het vergistingsproces te versnellen. Hiervoor zijn tal van voorbehandelingstechnologieën waaruit gekozen kan worden. Uit dit onderzoek is naar voren gekomen dat **mechanische voorbehandeling** de voorkeur heeft vanwege de simpliciteit, technologische gereedheid en de schaal. Naast voorbehandeling is er ook onderzocht welke vergistingstechnologie het meest geschikt is. Hieruit is naar voren gekomen dat een **enkeltraps mesofiele propstroom vergister** de voorkeur heeft, mede doordat deze vergister relatief droge substraat stromen en co-vergisting aankan, iets wat nodig is wanneer gras wordt vergist.



3. Juridische aspecten

Zowel in Nederland als in Duitsland komen bij grasvergisting en het gebruik van biogas meerdere juridische en technische aandachtspunten samen. In **Nederland** draait het om de omgevingsvergunning milieubelastende activiteit, met name onder de Bal-bepalingen voor (co-)vergisting, opslag, transport en de inzet van biogas als brandstof. De eisen nemen toe bij het verwerken van mest van derden en wanneer men overstapt op grootschalige vergisting (>25.000 m³). Ook kunnen aanvullende voorschriften gelden, bijvoorbeeld rond geur, emissies en MER-plicht bij uitbreiding of verandering van een installatie. Als de biogasinstallatie significant nadelige gevolgen heeft voor een Natura 2000-gebied, dan is een omgevingsvergunning Natura 2000-activiteit nodig.

In **Duitsland** ligt de nadruk op de BImSchG-vergunning en de diverse EEG-regelingen, die de inzet van kuilgras als substraat onder bepaalde voorwaarden financieel aantrekkelijk maken. Tegelijk zijn aanpassingen van bestaande vergunningen soms nodig om kuilgras wettelijk te mogen vergisten. Het gebruik van biogas als brandstof valt onder de 38e BImSchV, met verplichte aanmelding in het Nabisy-register. Deze punten illustreren dat er in beide landen een stevig wettelijk kader bestaat dat ondernemers aanspoort om vanaf de ontwerpfasen rekening te houden met milieueffecten, de aard van het substraat (mest, gras, afval) en veiligheidsregels bij opslag en transport. Door deze aspecten goed te borgen in het vergunningstraject kunnen ondernemers het potentieel van grasstromen ten volle benutten, met inachtneming van alle vergunnings- en nalevingseisen.

4. Economische analyse

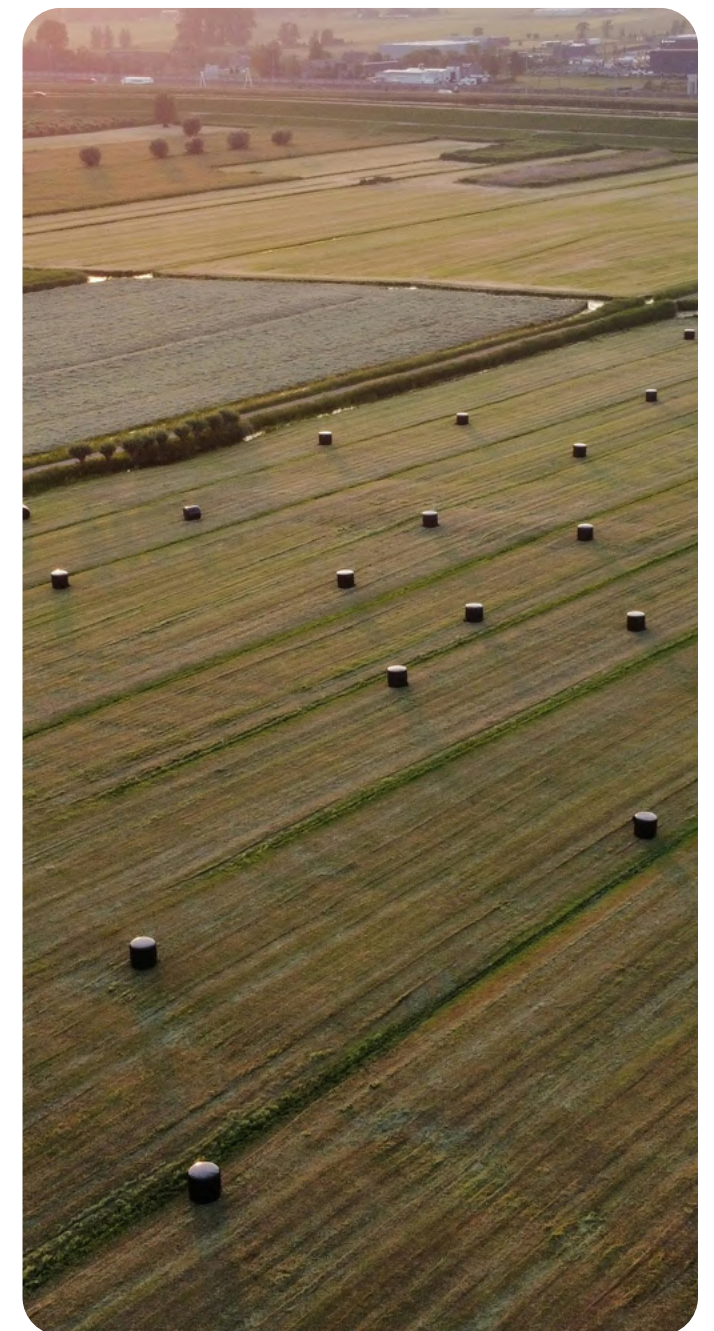
Op basis van de KTBL Probiogas-analyse blijkt dat een mengsel van 15.000 ton gras en 15.000 ton varkensmest voldoende biomethaan kan produceren om de volledige dieselbehoefte (circa 830.000 liter) van Loonbedrijf Thomssen te vervangen, met zelfs een overschot. De benodigde installatie vergt een geraamde investering van ruim 4 miljoen euro (exclusief grondkosten), terwijl de jaarlijkse operationele kosten worden geschat op ongeveer 1,57 miljoen euro. Uit de berekeningen volgt een winstbijdrage van ruim 3 ton euro en een rendement op de activa van circa 15%.

Deze cijfers geven aan dat de businesscase voor biogasproductie (en -opwaardering tot biomethaan) economisch aantrekkelijk kan zijn, mits de aanvoer van gras en mest stabiel is en subsidieregelingen of andere financiële prikkels beschikbaar zijn. De integratie van een eigen biogastankstation versterkt de economische meerwaarde, doordat Thomssen direct brandstofkosten bespaart en de logistieke keten in eigen beheer kan houden. Hiermee biedt de case niet alleen een oplossing voor het reduceren van dieselverbruik, maar ook perspectief op een sluitende businesscase voor gras- en mestvergisting in de agrarische sector. Tegelijkertijd tonen deze uitkomsten aan dat zorgvuldig ketenmanagement, een stabiele mest- en grastoever en passend beleid (zoals groen gas-certificering) essentieel zijn om deze rendabiliteit te waarborgen.

5. Innovaties voor efficiëntere benutting en nieuwe valorisatieroutes

Naast de haalbaarheid van vergisting van grasreststromen stond het zo efficiënt mogelijk omgaan met grondstoffen, reststromen, en de ontwikkeling van nieuwe valorisatieroutes centraal in dit project. Er zijn een drietal innovatieve

processen onderzocht die gezamenlijk het fermolyse proces vormen. **(1) De Artificial Rumen Reactor (ARR)** bootst de pensafbraak van herkauwers na, waardoor het gras snel wordt omgezet in vluchtige vetzuren (VFA's). Dit verkort de normale vergistingscyclus aanzienlijk, terwijl de methaanopbrengst hoog blijft. Daarnaast blijft er een niet-afgebroken ligninefractie over die kan worden gevaloriseerd tot bijvoorbeeld biochar. **(2) De Trickle Bed Reactor (TBR)** zet vervolgens de vrijkomende CO₂ uit de vergisting om in extra CH₄ door toevoeging van waterstof, wat de totale gasproductie bijna verdubbelt. **(3) De benodigde waterstof** kan duurzaam worden opgewekt via elektrolyse van ammoniak uit het digestaat. Hierdoor ontstaat een gesloten kringloop waarin overtollige ammoniak nuttig wordt benut, terwijl de methaanproductie verder stijgt. Samen zorgen deze technologieën voor een snelle, efficiënte en rendabele inzet van lignocelluloserijk gras als hernieuwbare energiebron.



Vervolg- stappen

Deze eerste resultaten laten zien dat er interessante kansen liggen om biogasproductie in te zetten als vehicle voor enerzijds de verwerking van grasreststromen en anderzijds om agrariërs een nieuw verdienmodel te bieden door de implementatie van het fermolyse concept. Maar om te komen tot daadwerkelijke implementatie zullen er aanvullende onderzoeks- en innovatie acties moeten worden uitgevoerd. Daarom zullen de volgende vervolgstappen worden gemaakt in het vervolgproject:

1. Logistiek en ketenopbouw

De beschikbaarheid van grasreststromen varieert sterk per seizoen en regio. Bovendien vergt het oogsten en transporteren van grote hoeveelheden grasstromen een efficiënte planning en samenwerking tussen boeren, loonbedrijven en eventueel andere stakeholders. In hoeverre zijn bestaande coöperaties of keteninitiatieven bereid om te investeren in aanvullende opslag, voorbereiding of infrastructuur (bijv. laadsystemen, kuilhopen, buffering)?

2. Technische opschaling TBR

Hoewel de Trickle Bed Reactor (TBR) goede resultaten oplevert in (pilot)tests, is opschaling naar volcontinu bedrijf op grotere schaal nog niet getest. Zo is het onduidelijk hoe de TBR reageert op sterk wisselende grasstromen. Daarnaast moet duidelijk worden hoe de integratie tussen TBR en de vergister in de praktijk verloopt – in hoeverre zijn bijvoorbeeld buffertanks of extra reiniging van biogas vereist om de TBR optimaal te laten draaien?

3. Onderzoek naar ARR en Ammoniak elektrolyse

De TBR zet CO_2 om in CH_4 , maar hiervoor is een constante aanvoer van waterstof (H_2) nodig. Het produceren van waterstof via ammoniakelektrolyse (uit digestaat) klinkt veelbelovend, maar er is nog verduidelijking nodig over de kosten en efficiëntie. Daarnaast is het onduidelijk hoe de ARR reageert op sterk wisselende grasstromen of variaties in lignocellulosegehalte. Ook is niet bekend welke aanpassingen in de reactorconfiguratie nodig zijn om, bij bijvoorbeeld een slechtere graskwaliteit of andere co-substraten (mest, stro), toch stabiel hoge methaanopbrengsten te behalen.

4. Economische haalbaarheid

Het financiële succes van het fermolyseconcept staat of valt met een grondige techno-economische analyse (TEA). Hoewel de eerste verkenningen in dit project laten zien dat de implementatie van ARR, TBR en elektrolyse veel potentie heeft, is een meer gedetailleerd economisch model nodig om de daadwerkelijke rentabiliteit te bepalen.

5. Milieu-impact en duurzaamheid

Tot slot is meer inzicht nodig in de totale CO_2 - en stikstofvoetafdruk van dit systeem over de hele keten, inclusief transport van gras, productie van waterstof en verdere verwerking van reststromen als biochar. Hoeveel broeikasgassen worden er netto bespaard en in welke mate draagt de verwerking van grasreststromen bij aan een circulaire landbouw? Een brede levenscyclusanalyse (LCA) kan helpen om deze aspecten te kwantificeren en te vergelijken met alternatieve routes (bijv. directe compostering of enkel mestvergisting)