



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

BTG openbaar eindrapport vergassing 11 maart 2021

In opdracht van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat

Your partner in bioenergy

TECHNISCHE STATUS EN PERSPECTIEF VAN BIOMASSAVERGASSING IN NEDERLAND

RAPPORTAGE VOOR RVO (TSE2200012)

MAART 2021

Colofon

Titel	Technische status en perspectief van biomassavergassing in Nederland
Voor	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (“RVO”)
Datum	Maart 2021
Auteurs	D. van den Berg, R.H. Venderbosch, E. Leijenhorst, L. van de Beld
Contact	BTG Biomass Technology Group BV (“BTG”) Postbus 835 7500 AV Enschede T. +31 (0)53 486 1186 W. www.btgworld.com E. secretariaat@btgworld.com

© 2021 BTG Biomass Technology Group BV



SAMENVATTING

In het klimaatakkoord is een belangrijke groei voorzien van de groen gas productie in Nederland tot 70 PJ (2 miljard m³) in 2030. Zowel thermische vergassing (5 PJ) als superkritieke vergassing (40 PJ) moeten hieraan een flinke bijdrage gaan leveren.

In het onderliggende rapport is middels literatuuronderzoek en interviews de huidige stand der techniek van thermische en superkritieke vergassing voor grootschalige groen gas productie in kaart gebracht en het verwachte (technische) ontwikkelingsperspectief voor Nederland in de komende 5 tot 10 jaar.

Stand der techniek vergassing voor groen gas opwek

Thermische vergassing voor de productie van groene methaan (hier ‘groen gas’) is internationaal op industriële schaal gedemonstreerd in het GoBiGas project met (TRL 8). In Nederland is ervaring opgedaan in verschillende pilot plants (TRL 6 – 7) en er zijn twee concrete industriële projecten in ontwikkeling, nl. een 13,9 MW_{SNG} Torrgas vergasser en een 60 MW_{SNG} vast-bed vergassingsinstallatie (BioEnergy Netherlands). De start van de SNG productie is gepland in de periode 2023 – 2024.

In de thermische vergassing voor de productie van groen gas wordt voortgebouwd op de uitgebreide kennis en ervaring die is opgedaan met biomassa vergassers voor WKK-toepassingen. Voor productie van groen gas is het nodig om verrijkte lucht of zuurstof te gebruiken, zodat het synthesesgas minder stikstof bevat. Deze technologie is beschikbaar voor wervelbedvergassers (zoals Valmet en Andritz). Het synthesesgas wordt vervolgens gereinigd in een gasreinigingsinstallatie, waarna het na de methanisering opgewaardeerd wordt tot aardgaskwaliteit (SNG) voor invoer in het gasnet. Zowel gasreiniging en methanisering zijn bekende en commercieel beschikbare technologieën.

Bij thermische vergassing voor de productie van groen gas moeten echter nog wel verschillende hindernissen genomen worden voor continue bedrijfsvoering in een industriële omgeving. Stabiele productie van synthesesgas via thermische vergassing uit biomassa reststromen (zoals B-hout en snoeihout) is nodig voor de conversie naar methaan. Wereldwijd zijn er wel vergassers in bedrijf die reststromen omzetten in synthesesgas, maar nog niet in combinatie met methaanproductie. Voor vastbedvergassers is het gebruik van verrijkte lucht of zuurstof nog niet aangetoond, en kunnen problemen optreden vanwege de hoge temperaturen.

Vergassing in superkritiek water voor productie van groen gas is nog niet op industriële schaal aangetoond. In Nederland is hier veel onderzoek naar verricht en Nederland lijkt voorop te lopen in de ontwikkeling. Het verst gevorderd is SCW Systems dat momenteel bezig is om een 18,6 MW_{SNG} superkritieke vergasser in bedrijf te stellen (van TRL 5 – 6 naar TRL 7).

Een concreet project van SWC Systems voor een 40 MW_{SNG} superkritieke vergassingsinstallatie is in ontwikkeling met een geplande start rond 2023 - 2024.

Bij vergassing onder superkritieke condities moeten eveneens nog verschillende hindernissen genomen worden voor continue bedrijfsvoering in een industriële omgeving. Het betreft onder andere de pompen voor de biomassavoeding, de warmtewisselaars tussen in- en uitgaande stromen en het omzettingsrendement. Een nog grotere uitdaging is het omgaan met assen en zouten in de biomassavoeding om te voorkomen dat deze de installatie verontreinigt of beschadigt. Verwijdering ervan kan zowel voor als na de superkritieke vergassing plaatsvinden. Een andere keuze betreft de plaats van methanisering, welke katalytisch in de SWG reactor plaats kan vinden of nageschakeld nadat het syngas is gekoeld en gereinigd.

Stand der techniek groen gas opwek via thermische vergassing in Nederland

De productie van SNG via thermische vergassing van biomassa is in Nederland nog niet op industriële schaal aangetoond. Wel is er uitgebreide ervaring opgedaan in verschillende pilot plants, zoals binnen het Ambigo-project en het Torrgas project. Daarmee wordt het huidige TRL-niveau op 6 – 7 geschat in Nederland.

Het **Ambigo** project is gebaseerd op ECN/TNO technologie. Het betreft een indirecte vergasser (Milena-vergasser) waarin biomassa met stoom wordt vergast, waarna het productgas wordt gereinigd (Olga-gasreiniging). Het gereinigde gas wordt vervolgens omgezet in SNG (Esme-technologie). Er is veel onderzoeks- en ontwikkelingswerk gedaan in een pilot plant, op basis waarvan plannen zijn ontwikkeld voor de bouw van een 3 - 4 MW_{SNG} installatie in Alkmaar. In 2018 is hiervoor een SDE+-subsidie toegekend. Medio 2019 heeft het consortium echter besloten het project niet voort te zetten omdat het niet financieel haalbaar was.

In het **Torrgas** proces wordt getorrificeerde biomassa in twee stappen vergast. In de eerste stap wordt in een zuurstof geblazen wervelbed de biomassa partieel geoxideerd, waarna de damp in een tweede reactor met zuurstof wordt omgezet in synthesesgas. Hierbij ontstaat een aanzienlijke hoeveelheid kool, die als bijproduct moet worden afgezet. In een pilot plant (circa 700 kW) zijn tussen 2016 en 2019 diverse testen uitgevoerd. Op basis hiervan is een commerciële demonstratie fabriek gepland in Farmsum met een capaciteit van 13,9 MW_{SNG}. In 2019 is hiervoor SDE+-subsidie toegekend, en de beoogde biograndstof betreft B-hout. De installatie wil waterstof en zuurstof gaan gebruiken vanuit elektrolyse van water door windenergie. De beoogde startdatum voor de SNG productie is 2023, waarna de fabriek in 2025 op volle productie moet draaien.

Een tweede initiatief betreft de plannen van **BioEnergy Netherlands (BEN)** voor een 60 MW_{SNG} installatie in Farmsum, waarvoor in 2020 SDE+-subsidie is verleend aan de daarvoor opgerichte entiteit Biofuel Groningen BV. De beoogde installatie bestaat uit 12 - 16 vergassingslijnen met down-draft vergassers van het Amerikaanse bedrijf Zero-Point Clean Tech. In Amsterdam heeft BEN sinds 2018 twee 5 MW_{th} vergassers van dit type in bedrijf

waarbij het geproduceerde synthesesgas wordt omgezet in een gasmotor voor WKK-toepassing.

Voor de productie van SNG is het nodig de down-draft vergasser met verrijkte lucht of zelfs pure zuurstof te bedienen. Voor zover bekend is hiermee internationaal nog geen of beperkt experimentele ervaring opgedaan, waardoor dit als een kritische stap in de technische ontwikkeling wordt gezien. In 2022 wordt een financieringsbeslissing genomen, waarna de productie in 2024 van start zou moeten gaan.

Internationale stand der techniek groen gas opwek via thermische vergassing

Internationaal is de productie van SNG via thermische vergassing van biomassa op industriële schaal aangetoond in de 20 MW_{SNG} installatie van GoBiGas in Zweden. Daarmee is het geschatte TRL-niveau 8. Naast het GoBiGas project zijn (of waren) er een aantal initiatieven voor grotere fabrieken van 100 – 200 MW_{SNG}, waarvoor gedegen engineering studies zijn uitgevoerd. Voorbeelden zijn het Bio2G project van E.ON in Zweden en het initiatief van SunGas Renewables in Californië (VS).

De enige installatie wereldwijd waar op industriële schaal SNG uit biomassa is gemaakt betreft de **GoBiGas** installatie in Zweden. Deze maakt gebruik van een indirecte vergasser, gebaseerd op de Güssing technologie. Met dit type vergasser is op industriële schaal ruime ervaring opgedaan voor WKK-toepassing (cumulatief > 200,000 draaiuren). Het productgas wordt gereinigd, waarbij met een RME scrubber het teer wordt verwijderd. Daarna volgen gasconditionering en de methaniseringsstap. Het SNG is geleverd aan het gasnet rond Gotenburg. De implementatie is uitgevoerd door een gerenommeerd consortium bestaande uit Valmet (vergasser), Haldor Topsoe (methanisering) en Jacobs (civiel en overall).

Gedurende de periode november 2013 – februari 2018 is de **GoBiGas** installatie meer dan 12.000 uren operationeel geweest. Meer dan 80% van tijd werd gedraaid op houtpellets waarmee een stabiele operatie mogelijk was. Tijdens een continue test van 1.850 uur is 21.500 MWh SNG geproduceerd. Dit komt neer op een gemiddelde capaciteit van 12 MW_{SNG}, circa 60% van de ontwerp capaciteit. In 2018 is de GoBiGas demonstratie fabriek gestopt om economische redenen en sindsdien staat de installatie te koop. Om het GoBiGas concept financieel haalbaar te maken wordt gesteld dat opschaling van de technologie naar 100 – 200 MW_{SNG} noodzakelijk is. Vanwege de huidige marktomstandigheden zijn de plannen voor een grotere installatie in de ijskast gezet.

Een ander grootschalig Zweeds initiatief betrof het **Bio2G** project van E.ON. Door gerenommeerde partijen als Andritz (vergasser), Haldor Topsoe (methanisering) en E.ON (overall) is hiervoor een uitgebreide engineering studie uitgevoerd voor een zuurstof geblazen wervelbedvergasser onder druk met een beoogde capaciteit van 200 MW_{SNG}. Een aanvraag voor Europese ondersteuning vanuit NER300 is goedgekeurd, maar het is toch niet gelukt het project te realiseren.

Ook voor het project van **SunGas Renewables** zijn uitgebreide engineering studies uitgevoerd, uitgaande van een 100 MW_{SNG} vergasser in California. SunGas Renewables is een spin-off van het Gas Technology Institute (GTI) uit Chicago dat tientallen jaren actief is op het gebied van biomassavergassing en uitgebreide pilot faciliteiten heeft. Er is gekozen voor een atmosferische zuurstof geblazen wervelbed vergasser van Andritz en teerverwijdering door middel van katalytische reforming. Ook hier is voor het methaniseringsproces de expertise van Haldor Topsoe aanwezig. Naar verluidt wordt op dit moment actief gewerkt om een installatie in California te realiseren.

Stand der techniek groen gas opwek via SWG in Nederland

De productie van SNG door superkritiek water vergassen van biomassa is in Nederland nog niet commercieel aangetoond. Het verst in de ontwikkeling is SCW Systems dat uitgebreid onderzoek heeft uitgevoerd met een pilot plant en momenteel bezig is om een 18,6 MW_{SNG} superkritieke vergasser in bedrijf te stellen. Daarmee wordt een stap van TRL 5 – 6 naar TRL 7 gezet. Naast SCW Systems zijn er nog een drietal consortia in Nederland bezig (geweest) met de ontwikkeling van SWG. Het betreft de consortia rondom Waterschap Maas en Aa, Gensos en de Yellow Gas Machine. Door deze consortia zijn kleinere experimentele pilots bedreven, waarbij een TRL niveau van 4 - 5 is gerealiseerd.

In het proces van **SCW Systems in Alkmaar** wordt een waterige biomassavoeding via pompen op druk gebracht en vindt warmte-uitwisseling met de uitgaande stromen plaats. Na verdere verhitting wordt de voeding in de reactor onder superkritiek water condities vergast. De methanisering vindt in een vervolgstap plaats na koeling en reiniging van het productgas. In 2014 is begonnen met testen in een kleine installatie van 100 l/uur, die later is opgeschaald naar 2,5 MW_{SNG}. In 2016 is een SDE+-subsidie toegekend voor een 18,6 MW_{SNG} superkritieke vergasser op de locatie Alkmaar. RVO geeft in de SDE-overzichten van januari 2021 aan dat dit systeem gerealiseerd is. Nadere informatie over gebruikte voedingen en draaiuren is niet publiekelijk bekend. In 2020 is een SDE+-subsidie voor nog eens 40 MW_{SNG} productie in Alkmaar toegekend. De beoogde toename in capaciteit is door meerdere vergassingseenheden parallel te schakelen.

Internationale stand der techniek van groen gas opwek via SWG

Internationaal is er door een aantal instituten onderzoek verricht naar superkritiek water vergassing, waarover uitgebreid is gepubliceerd. De experimenten zijn beperkt tot enkele kleinere pilot eenheden, waarmee het geschatte TRL niveau 4 – 5 bedraagt.

Het Duitse **Karlsruhe Institute of Technology** (KIT) heeft al ruim 15 jaar een de 100 liter/uur VERENA pilot plant in bedrijf. In de pilot plant vindt in-situ methanisering plaats. Er zijn diverse voedingen getest waaronder glycerol, ethanol en digestaat slib. KIT is ook betrokken geweest bij de experimenten met SWG bij het waterschap Aa en Maas.

Het Zwitserse **Paul Scherrer Institute** (PSI) heeft jarenlang onderzoek verricht naar groen gas opwek via SWG. Daarbij is veel aandacht besteed aan de invloed van zouten op het proces en de manier om deze af te kunnen scheiden van het superkritische reactiemengsel. In het

proces van PSI vindt de methanisering in-situ plaats in aanwezigheid van een katalysator. Door PSI is een pilot plant van circa 100 liter/uur in bedrijf gesteld. In samenwerking met het bedrijf TreaTech plannen om deze verder op te schalen.

Gebruikte biomassastromen en omzettingsrendementen

De afgelopen jaren zijn veel verschillende biomassa voedingen getest voor de productie van groen gas. Bij thermische vergassing ligt de nadruk vooral op houtige biomassa zoals houtpellets, hout chips, schors, en B-hout. Bij superkritieke vergassing is een breed pallet aan voedingen onderzocht, waaronder glycerol en voedingen met een hoog vochtgehalte zoals slib.

Thermische vergassing

Op industriële schaal is thermische vergassing voor groen gas productie voor zover bekend alleen bewezen voor houtpellets. In GoBiGas is cumulatief ruim 10.000 uur succesvol op houtpellets gedraaid. Voordelen van houtpellets zijn de constante samenstelling, het lage vochtgehalte en de uniforme morfologie die toevoer naar de vergasser vergemakkelijkt. Nadeel van houtchips is het lage asgehalte, waardoor het bedmateriaal van de vergasser onvoldoende wordt geactiveerd en er additionele as moet worden toegevoegd. GoBiGas heeft ook uitgebreid getest met verse houtchips, schors en sloophout. Met deze voedingen is echter geen stabiele operatie bereikt, waardoor er geen continue productie van SNG heeft plaatsgevonden.

Het geplande initiatief van Torrgas in Farmsum richt zich op B-hout, onder andere vanwege prijs en beschikbaarheid. Het B-hout zal eerst getorrificeerd worden, waarna het vergast wordt.

In het algemeen is de wens om een breed aanbod van biomassastromen flexibel te kunnen verwerken en het liefst ook afvalstromen. Bij de huidige stand der techniek is dit echter nog niet aangetoond, en vereist de vergassingsstap een homogene biomassavoeding die binnen de specificaties valt. Door voorbereidingsstappen (zoals torrefactie) kan de voeding op specificatie worden gebracht.

Het **omzettingsrendement** van biomassa naar SNG is circa 60 – 65% op energiebasis. Dit is op basis van de praktijktesten bij GoBiGas en de uitgebreide engineeringstudies voor internationale installaties. De methaan productie is daarmee circa 300 Nm³ SNG per ton biomassa droge stof. Voor een 100 MW_{SNG} installatie is dan ongeveer 300.000 ton biomassa droge stof per jaar nodig. Testen door GoBiGas met andere houtige biomassa voedingen (schors, chips en B-hout) laten een lager (berekend) omzettingsrendement zien, waardoor biomassabehoefte met 20-40% zou kunnen toenemen voor dezelfde SNG productie.

Superkritieke vergassing

Superkritieke vergassing is in potentie geschikt voor **natte biomassa-stromen**. Er moet dan efficiënte warmtewisseling plaatsvinden tussen de ingaande koude vloeibare biomassa-stromen en de hetere uitgaande stromen. Daardoor is atmosferische droging van de biomassavoeding, waarbij de warmte vaak verloren gaat, niet nodig. De biomassavoeding moet met pompen op hoge druk worden gebracht. De voeding zal dus al vloeibaar moeten zijn zoals glycerol/glycerine, of eerst voorbereikt moeten worden om er geschikte vaste stof slurry van te maken. Typische droge stof gehalten liggen daarbij rond de 15 – 25%.

De samenstelling van de voeding heeft een grote invloed op de werking van de installatie. Zo kunnen bij verkeerde voedingen pompen en warmtewisselaars verstopt raken of te snel slijten. Zouten en assen in de voeding zullen op een geschikt punt moeten worden verwijderd om afzetting in reactoren te voorkomen.

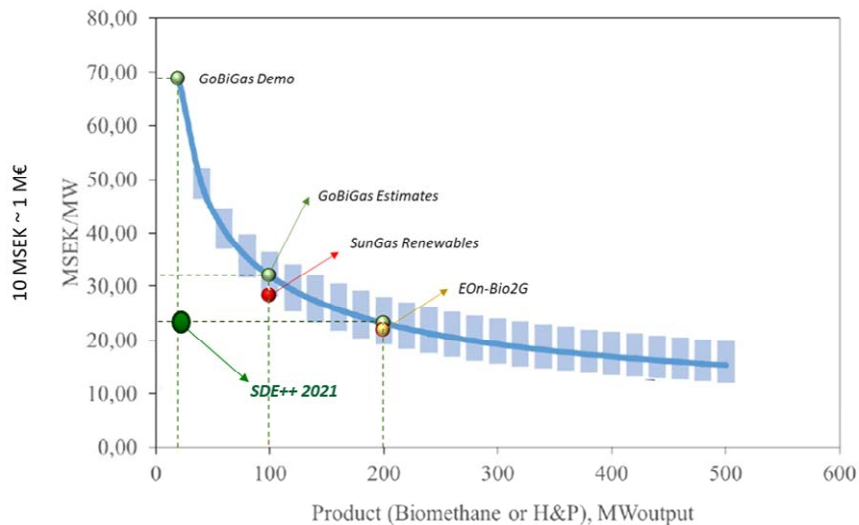
Er is weinig data beschikbaar voor gebruikte biomassa-stromen in superkritieke vergassings-installaties. Veel testen zijn uitgevoerd met glycerol/glycerine, omdat dit een relatief gemakkelijke voeding is. Daarnaast is er veel aandacht voor de verwerking van slib, aangezien dit een voeding is met een hoog vochtgehalte en vaak een negatieve waarde.

Er is weinig data beschikbaar m.b.t. **omzettingsrendementen**. Zonder additionele waterstof kan in theorie circa 250 kg SNG worden geproduceerd per ton biomassavoeding (droge, asvrije basis). Door rendementsverliezen zal in de praktijk deze waarde niet worden gehaald. In kleinschalige pilot experimenten met slib is een opbrengst van 150 – 175 kg SNG per ton droge stof gerealiseerd. De (theoretische) methaanopbrengst wordt gelimiteerd door de hoeveelheid waterstof die tijdens het proces ontstaat. Door toevoer van externe waterstof aan het proces kan het omzettingsrendement worden verhoogd.

Financiële aspecten

In Figuur 1 is een overzicht gegeven van de geschatte investeringskosten voor een installatie voor groen gas opwek via thermische vergassing. Het 20 MW_{SNG} GoBiGas demonstratie project kostte circa 150 – 170 M€ (circa 8 M€/ MW_{SNG}). Hiervan was circa 99 M€ investering voor de methaniseringsunit en circa 35 M€ voor het vergassingssysteem.

Om het proces rendabel te krijgen is in het GoBiGas project uitgebreid aandacht besteed aan opschaling tot een capaciteit van 100 tot 200 MW_{SNG}. Ook door SunGas Renewables en in het Bio2G project zijn gedegen engineeringstudies verricht voor deze capaciteit. Op basis van de beschikbare informatie wordt de specifieke investering geschat op 2-3 M€/MW_{SNG}. Oftewel 300 M€ voor een 100 MW_{SNG} installatie en 450 – 500 M€ voor een 200 MW_{SNG} installatie.



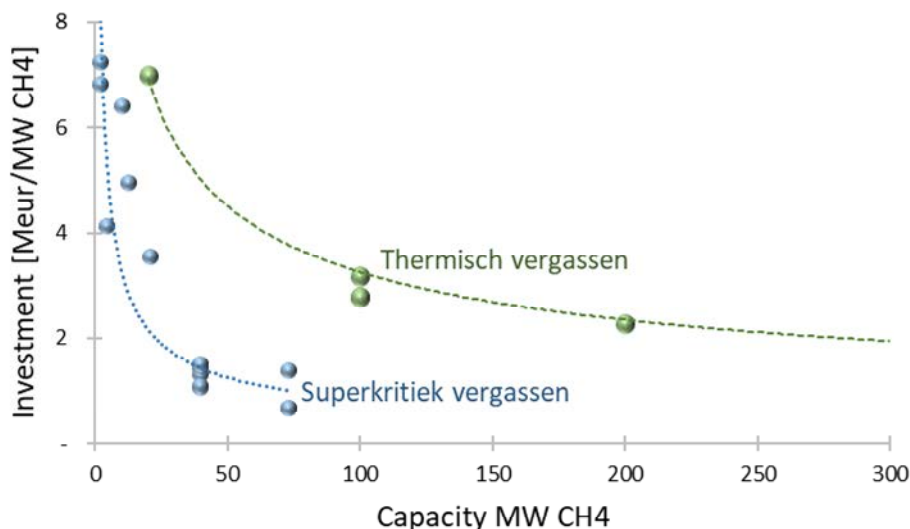
Figuur 1: Overzicht van de geschatte investeringskosten van een thermische vergasser voor groen gas opwekking.

Opvallend is het lage investeringsbedrag dat PBL/ECN hanteert bij de adviezen voor de SDE-subsidie. Deze zijn gebaseerd op een thermische vergassingsinstallatie met een output van een 21 MW SNG. Hiervoor wordt in het eindadvies SDE++ 2021 een specifieke investering van 2,5 M€/MW gehanteerd. Hiermee zit de specifieke investering op een soortgelijk niveau als de internationale studies voor de veel grotere 200 MW_{SNG} installaties.

Op basis van de bovengenoemde investering wordt door PBL/ECN wordt een kostprijs (basisbedrag) berekend voor de productie van groen gas via vergassing. In het eindadvies SDE++ 2021 is de berekende kostprijs 94 €/MWh groen gas voor snoeihout en 68 €/MWh bij B-hout. Het is opvallend dat de geadviseerde bedragen de afgelopen 5 jaar significant zijn gedaald, hoewel er nog geen installaties zijn gerealiseerd.

Ook door de initiatiefnemers in Nederland lijken deze lagere investerings- en productiekosten te worden gehanteerd. Zo wordt door Gasunie, waar Torrgas direct mee samenwerkt, een kostprijs prognose gegeven van 80 – 85 €/MWh groen gas, en heeft Torrgas ook aangegeven dat de investeringskosten circa 2,5 – 3 keer lager kunnen zijn dan voor de GoBiGas demo, omdat getorrificeerde biomassa wordt gebruikt. Of hierbij rekening is gehouden met de extra kosten voor torrificeren is niet bekend.

In Figuur 2 zijn ook de investeringskosten voor superkritieke vergassing weergegeven (naast die van thermische vergassing) die in de literatuur zijn aangetroffen. De voorgestelde investeringskosten voor SWG liggen duidelijk lager dan die voor thermische vergassing waarbij biomassa wordt omgezet in SNG. Aan de betrouwbaarheid van deze getallen kan worden getwijfeld, aangezien er geen praktijkgegevens voorhanden zijn, en het TRL-niveau beduidend lager is. Desondanks is de vraag gerechtvaardigd of de SDE-categorie voor groen gas opwek via vergassing in superkritiek water gedifferentieerd zou moeten worden naar SWG en thermische vergassing.



Figuur 2: Geschatte investeringskosten voor superkritieke vergassing en thermische vergassing. Er wordt opgemerkt dat de betrouwbaarheid van de data voor SWG lager is, omdat de getallen niet zijn gebaseerd op demonstratie installaties of op gedegen engineering studies zoals bij thermische vergassing.

Zowel Torrgas, BEN als SCW systems zetten in op “scaling up by numbers”. In de plannen voor grotere volumes SNG productie worden meerdere vergassingslijnen parallel geschakeld. Het risico van opschalen is daarmee beperkter, en heeft tevens als voordelen dat er minder engineering nodig is dan voor een nieuw opgeschaald systeem en dat de capaciteit relatief snel kan worden uitgebreid. Anderzijds is hierdoor een toekomstige reductie in investeringskosten beperkt.

Het is belangrijk om te realiseren dat SNG één van de mogelijke producten is van zowel thermisch als superkritiek vergassen, maar dat er ook veel alternatieve producten mogelijk zijn zoals FT, methanol en DME. De keuze voor het product wordt vooral bepaald door lokale marktomstandigheden (afzet product en incentives).

Verwachte ontwikkelingen in Nederland voor de komende 5 tot 10 jaar

Momenteel zijn in Nederland vier concrete projecten in ontwikkeling om de stap te zetten naar industriële groen gas productie via vergassing:

- Het verst gevorderd is het project van SCW Systems in Alkmaar, waarbij biomassa via superkritieke vergassing wordt omgezet in een 18,6 MW_{SNG} installatie. In het SDE-overzicht van RVO van 4 januari 2021 wordt vermeld dat de installatie gerealiseerd is. Aanvullende informatie zoals gebruikte biomassavoeding en aantal draaiuren ontbreekt. Als de ontwerp capaciteit in de komende periode wordt gerealiseerd kan de installatie circa 16 Mm³/jaar SNG produceren (circa 0,6 PJ/jaar).
- SCW Systems heeft plannen voor uitbreiding met 40 MW_{SNG} in Alkmaar waarvoor in 2020 SDE-subsidie is toegekend. Na opstarten en bereiken van ontwerpcapaciteit en

24/7 operatie zou hierin rond 2025 potentieel circa 34 Mm³/jaar geproduceerd kunnen worden (circa 1,2 PJ/jaar).

- In Farmsum is een initiatief voor 13,9 MW_{SNG} thermische vergasser van Torrgas in ontwikkeling waarvoor in 2019 SDE-subsidie is toegekend. De planning is dat de fabriek rond 2025 op volle productie draait en dan circa 12 Mm³/jaar SNG produceert (circa 0,4 PJ/jaar).
- Bio Energy Netherlands heeft eveneens plannen in Farmsum voor een 60 MW_{SNG} thermische vergasser, waarvoor in 2020 SDE-subsidie is toegekend. De start van de productie is rond 2024 gepland. Als de fabriek na 2025 op volle productie draait kan circa 50 Mm³/jaar geproduceerd kunnen worden (circa 1,8 PJ/jaar).

Als alle vier projecten succesvol gerealiseerd worden kan in de periode na 2025 circa 4 PJ/jaar aan groen gas worden geproduceerd in Nederland. Hiervoor moet in de komende jaren wel nog bewezen worden dat ontwerpcapaciteit en 24/7 operatie kan worden behaald. Daarnaast moet de economische haalbaarheid worden aangetoond hetgeen zou moeten resulteren in positieve investeringsbeslissingen.

Voor de 2030 doelstelling van 45 PJ/jaar groen gas is aanvullend de tienvoudige capaciteit nodig van de vier projecten die nu in ontwikkeling zijn:

- Om 5 PJ/jaar groen gas via thermische vergassing in 2030 te realiseren is circa 150 – 200 MW_{SNG} capaciteit nodig. Dit is een verdubbeling ten opzichte van de geplande projecten van Torrgas en BEN. De totale biomassabehoefte zal ruwweg 450 – 600 kton/jaar bedragen, uitgaande van een energetisch omzettingsrendement van 65%.
- De 2030 doelstelling voor groen gas opwek via SWG bedraagt 40 PJ/jaar, wat overeenkomst met bijna 1,400 MW_{SNG} vermogen. Dit is ruim 20 keer de capaciteit van de huidige SWG projecten van SCW Systems. De biomassabehoefte is dan circa 3-4 Mton/jaar (droog, asvrije basis) uitgaande van een energetisch rendement van 60-80%. Op ‘as received’ basis zal de biomassastroom een factor 5 tot 6 hoger liggen (circa 20 Mton/jaar).

Het is niet duidelijk waarop de verdeling van bijdrage naar thermische en superkritieke vergassing is gebaseerd. De veronderstelde groei van groen gas opwek via SWG tot 2030 lijkt erg optimistisch. Het succes van de vier projecten die momenteel in ontwikkeling zijn zal in belangrijke mate bepalen hoe snel opschaling technisch mogelijk is om de doelstelling van 2030 te kunnen realiseren.

Voor vergassing in superkritiek water is het onduidelijk wat de investeringen en operationele kosten zullen zijn, terwijl er voor thermisch vergassen al wel een redelijk goed onderbouwde analyse kan worden gemaakt. Voor economisch haalbare ketens blijft voor beide processen ondersteuning vanuit de SDE noodzakelijk, ook omdat productie van SNG via de synthesesegas route concurrentie ondervindt van producten met een (potentieel) hogere toegevoegde waarde zoals waterstof en methanol.

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting	iv
Inhoudsopgave.....	xiv
Afkortingen	xv
1. Context en aanleiding	1
2. Groen gas opwek door thermische vergassing	3
2.1 Introductie thermische vergassing	3
2.2 Thermische vergassing voor groen gas opwek in Nederland	3
2.3 Thermische vergassing voor groen gas opwek buiten Nederland	17
3. Groen gas door vergassing in superkritiek water	27
3.1 Vergassing in superkritiek water voor opwekking groen gas in Nederland	27
3.2 Voordelen vergassen in superkritisch water	28
3.3 SWG in Nederland	33
3.4 Historisch perspectief SWG clusters in Nederland	35
3.5 State of the Art SWG clusters in Nederland	37
3.6 Vergassing in superkritiek water voor opwekking groen gas buiten NL	47
4. Stimulering Groengas opwek vanuit SDE.....	58
4.1 Bedragen in de SDE+/++ regelingen	58
4.2 Toegekende SDE+/++ projecten	61
5. Conclusies	62
6. Lijst met Afgenomen interviews	64

AFKORTINGEN

2BCM	2 Billion cubic meter alliantie
BEN	Bio Energy Netherlands BV
CAPEX	Capital Expenditures
CCS	Carbon Capture and Sequestration
CEA	Franse Alternative Energies and Atomic Energy Commission
DME	DiMethylEther
DNV-GL	Bedrijf
DS	Droge stof
ECN	Energy research Centre of the Netherlands (nu onderdeel van TNO)
ESKA	Bedrijf
GTI	Gas Technology Institute
MSEK	Miljoen Zweedse Kronen
MW	Megawatt
OPEX	Operating Expenditures
PJ	Petajoule
RME	Rapeseed Methyl Ester
RNG	Renewable Natural Gas
RWZI	RioolWater ZuiveringsInstallatie
SDE*	Stimulering Duurzame Energieproductie
SNG	Substitute Natural Gas (of Synthetic Natural Gas)
SWG	Superkritiek Water vergassing
TNO	Nederlandse organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek
YGM	Yellow Gas Machine
W2C	Waste2Chemicals project
WKK	Warmte Kracht Koppeling

TRL	Technology Readiness Level, gedefinieerd als:
TRL 1	Basic principles observed
TRL 2	Technology concept formulated
TRL 3	Experimental proof of concept
TRL 4	Technology validated in lab
TRL 5	Technology validated in relevant environment
TRL 6	Technology demonstrated in relevant environment
TRL 7	System prototype demonstration in operational environment
TRL 8	System complete and qualified
TRL 9	Actual system proven in operational environment

1. CONTEXT EN AANLEIDING

In het klimaatakkoord is een belangrijke groei voorzien van de groen gas productie in Nederland tot 70 PJ (2 miljard m³) in 2030. Momenteel bedraagt de groen gas productie circa 5 PJ (0,15 miljard m³), voornamelijk opgewekt door vergistingsprojecten waarin het biogas wordt opgewaardeerd tot groen gas¹.

Om de ambitieuze doelstelling voor 2030 te realiseren wordt een grote rol voorzien voor superkritieke en thermische vergassing. Vanuit de routekaart groen gas is de verwachting dat deze technieken gemakkelijker opschaalbaar en repeteerbaar zijn dan vergisting. Het sectorstreven voor 2030 is circa 25 PJ groen gas uit vergisting, 5 PJ uit thermische vergassing en 40 PJ uit superkritieke vergassing².

Internationaal is er reeds ervaring opgedaan in het GoBiGas project. Op industriële schaal is door het Zweedse Göteborg Energi door middel van thermische vergassing 20 MW aan SNG geproduceerd. Naast technische informatie heeft het project ook uitgebreide financiële data opgeleverd.

In Nederland bevinden de nieuwe technologieën voor superkritieke en thermische vergassing zich momenteel in de pilotfase, waarbij eerste demonstratieprojecten worden voorbereid. Vergassing voor de productie van groen gas is opgenomen in de najaarsronde 2020 van SDE++ regeling voor zowel de categorie $\geq 95\%$ biogene voeding als B-hout.

De uitdaging is om de nieuwe vergassingstechnologieën snel verder te ontwikkelen en op te schalen in een grootschalige industriële omgeving, zodat rendabele business cases ontstaan. Dit zal in belangrijke mate bepalen of de ambitieuze doelstellingen uit het klimaatakkoord kunnen worden gerealiseerd.

Het centrale **doel** van de opdracht is om inzicht te verschaffen in de huidige stand der techniek van groen gas productie door middel van thermische en superkritieke vergassing en het (technische) ontwikkelingsperspectief in Nederland. Het project betreft een bureaustudie door middel van literatuuronderzoek en interviews met sleutelpartijen in Nederland en daarbuiten. Een lijst met afgenomen interviews is opgenomen in hoofdstuk 6.

¹ <https://www.topsectorenergie.nl/tki-nieuw-gas/innovatieprogramma/groen-gas>

² Kamerbrief Routekaart Groen Gas 30 maart 2020

2. GROEN GAS OPWEK DOOR THERMISCHE VERGASSING

2.1 Introductie thermische vergassing

Voor de productie van SNG via thermische vergassing wordt de grondstof eerst omgezet tot een synthesesgas, waaruit vervolgens methaan geproduceerd wordt. Vergassingssystemen die initieel al een hoge concentratie methaan in het synthesesgas hebben halen hier een voordeel uit, terwijl dit voor de productie van synthesesgas voor waterstof of chemicaliën juist nadelig is.

2.2 Thermische vergassing voor groen gas opwek in Nederland

Er zijn drie concrete initiatieven voor groen gas productie via thermische vergassing in Nederland gevonden, deze worden in de volgende paragrafen beschreven. Om het SNG potentieel via thermische vergassing iets breder in kaart te brengen zijn er ook een aantal andere initiatieven bestudeerd waarbij niet direct SNG geproduceerd wordt, maar waarover wel relevante informatie beschikbaar is. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in zuurstof/stoom systemen voor de productie van synthesesgas en lucht-geblazen directe vergassingssystemen welke normaal gesproken gebruikt worden voor warmte en/of elektriciteit productie.

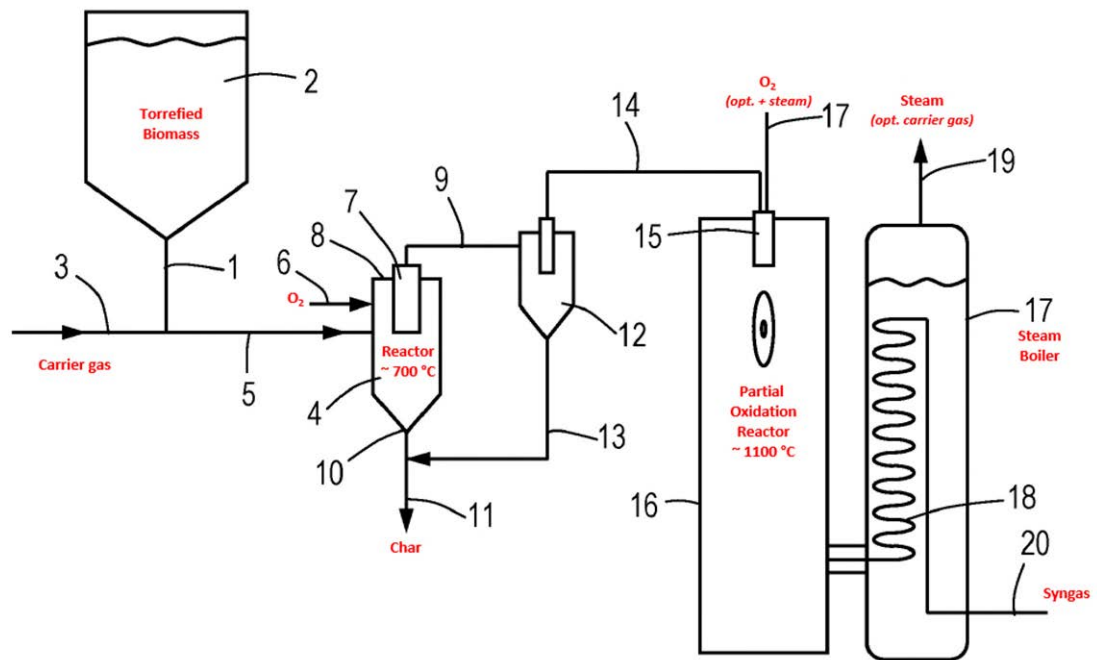
2.2.1 Torrgas

Achtergrond/principe

De Torrgas technologie bestaat uit een combinatie van torrefactie en vergassing. Via torrefactie kunnen zeer uiteenlopende biomassa stromen omgezet worden in een uniforme grondstof welke in het vergassingsproces verwerkt wordt tot synthesesgas. Voor houtige biomassa is torrefactie middels de torrcoal techniek (TRL 8-9) bewezen, en agro-residue stromen en grassen kunnen via de torrgreen techniek (~TRL 6) omgezet worden.

Het vergassingsproces is een 2-traps proces (Figuur 3), waarbij in de eerste stap de getorrificeerde biomassa via partiële oxidatie wordt ontgast bij een temperatuur van c.a. 700 °C. Door deze relatief lage temperatuur blijft het aandeel 'fixed carbon' samen met de aanwezige as in de biomassa in de vaste fase. Deze kool komt als bijproduct uit het proces. De damp wordt in een tweede reactor met zuurstof bij een temperatuur van c.a. 1100 °C omgezet tot een schoon syntheses gas (teer < 1 ppm). Het synthesesgas wordt afgekoeld in een stoom-boiler. Uit het afgekoelde synthesesgas wordt vervolgens SNG gemaakt (niet afgebeeld in Figuur 3). Het vergassingsproces is gepatenteerd³.

³ EP 3 430 107 B1 – Process to prepare a char product and a syngas mixture



Figuur 3: Schematische weergaven van het Torrgas vergassingsproces.

Status van de techniek

Torrgas heeft bij DNV-GL een Demo plant in Groningen (~ 700 kW) waar in de periode 2016-2019 uitgebreid mee getest is (Figuur 4). Hier zijn externe partijen, waaronder Gasunie en DNV-GL, bij betrokken geweest (TRL ~6). Het ontwerp van de geplande commerciële demonstratie unit in Delfzijl (~30 MW input) is hier mede op gebaseerd.



Figuur 4: Foto van de Torrgas pilot plant bij DNV-GL

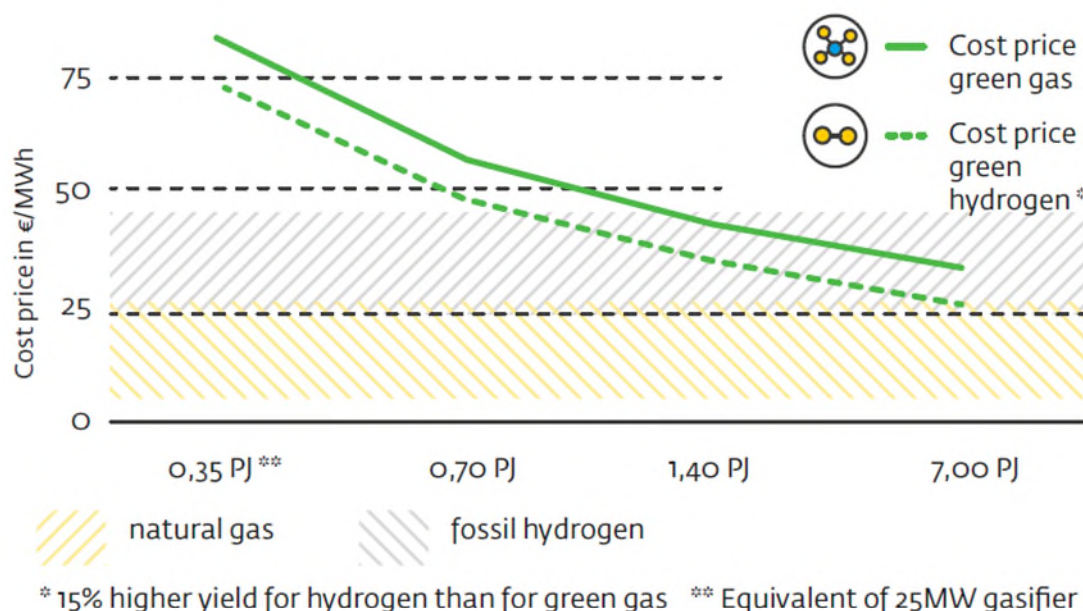
Voor de demonstratie fabriek in Delftzijl wordt op dit moment (Q4-2020) gewerkt aan een financial close. Andere aspecten met betrekking tot de realisatie van de installatie:

- De benodigde omgevingsvergunning is toegekend⁴
- SDE+ subsidie is toegekend⁵
- De basic-engineering fase van de installatie is afgerond, er wordt nu gewerkt aan de 'detailed-design' fase.
- De beoogde biomassa die verwerkt gaat worden is B-hout.
- Voor het kool bijproduct uit het proces is een afname contract afgesloten.

De verwachting is dat de installatie in de 2^e helft van 2023 operationeel is, en na de opstart fase rond 2025 op volle capaciteit SNG (13.9 MW) aan het gasnet levert.

Financiële aspecten

De economische haalbaarheid van het proces is uiteraard afhankelijk van de schaalgrootte van operatie. Met betrekking tot de OPEX zijn voor de economische haalbaarheid van het Torrgas proces de extra inkomsten van het kool bijproduct, en in een later stadium mogelijk groene CO₂, van belang. Op de website van de Gasunie⁶, waar Torrgas mee samen werkt, staat een schatting van de kostprijs voor groen gas (en ook groene waterstof) weergegeven als functie van de schaalgrootte (Figuur 5).



Figuur 5: Verwachte kostprijs van SNG en groene waterstof via de Torrgas techniek.

⁴ Omgevingsvergunning Torrgas Delfzijl B.V. voor realisatie van een inrichting bedoeld voor de torrefactie en vergassing van schone biomassa, vth-nummer GR-VERG-2016-000222, zaaknummer Z2017-00001481

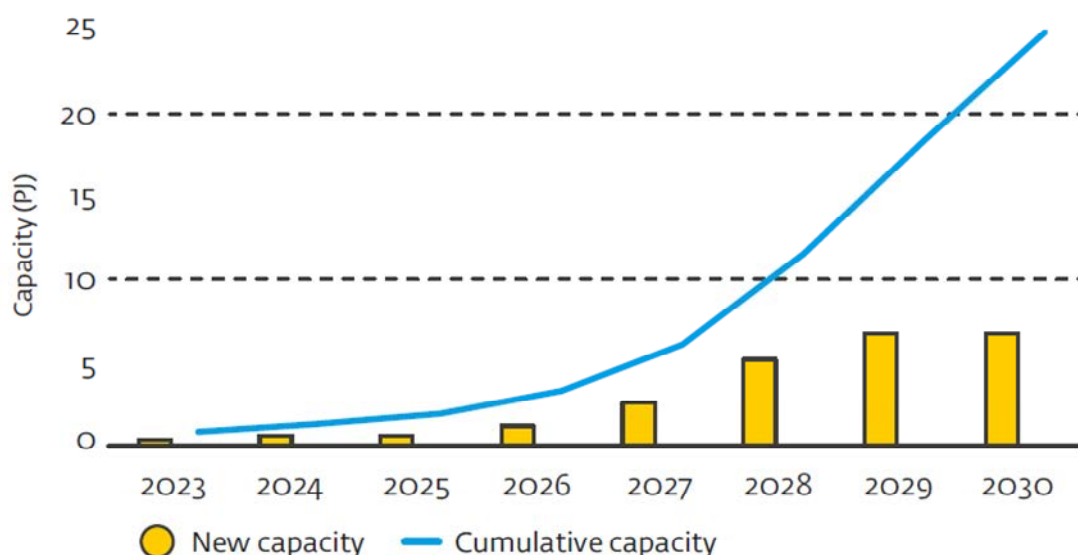
⁵ SDE1910456, Biogas en groen gas in Farmsum vermogen 13,9000 MW, beschikte productie per jaar 104.250,00 MWh, looptijd 12 jaar.

⁶ <https://www.gasunienewenergy.nl/projecten/torrgas>

De demonstratie installatie in Delfzijl heeft een capaciteit van 30 MW biomassa input (~0.42 PJ) en de verwachte kostprijs van SNG is 80 - 85 €/MWh. Exacte details over CapEx en OpEx verdeling in de installatie zijn niet openbaar bekend. De investeringskosten (per MWh geïnstalleerd) zouden een factor 2.5 - 3 lager zijn dan bijvoorbeeld voor de GoBiGas installatie. Deze lagere investeringskosten worden met name toegeschreven aan de voorbehandeling van de biomassa. Het getorrificeerde materiaal zou eenvoudiger en efficiënter worden omgezet in de vergasser dan de ruwe biomassa die in alternatieve systemen, zoals GoBiGas, wordt gebruikt. De energie inhoud van getorrificeerde pellets is ongeveer 15 GJ/m³, terwijl die van houtsnippers ongeveer 3 GJ/m³ is. Bij een vergelijkbaar reactor volume kan hierdoor 5 maal meer energie worden verwerkt, en ook operatie bij verhoogde druk (4 bar in de Delfzijl installatie) is hierdoor efficiënter. Ook het ontbreken van vocht in de grondstof levert voordelen doordat een lagere verblijftijd en hogere opbrengst behaald wordt. Teer reiniging is in het proces niet nodig. Tot slot heeft ook het biochar bijproduct een positief effect op de economische haalbaarheid van het Torrgas proces.

Toekomstperspectief

Naast de geplande demonstratie unit lopen er ook andere initiatieven waarbij verdere opschaling wordt overwogen. De Torrgas technologie kan opgeschaald worden tot c.a. 100 MW per locatie door meerdere vergassers parallel te bedienen. Het schone synthese gas wat geproduceerd wordt kan ook worden ingezet voor de productie van waterstof of als grondstof voor de synthese van bijvoorbeeld methanol. Voor de productie van waterstof is recent Brigh2 BV (Joint Venture met Chemelot Brightlands) opgericht. Doel is een 50 MW groene waterstof plant te ontwikkelen op het Chemelot terrein waar groene waterstof moet worden geproduceerd voor een geschatte prijs van 2000 €/ton. Een prognose van de productiecapaciteit de komende 10 jaar is weergegeven in Figuur 6.



Figuur 6: Verwachte productie capaciteit via de Torrgas techniek.

De totale productie zal tot 2025 relatief beperkt zijn en de demonstratie unit in Delfzijl moet de belangrijkste bijdrage leveren. Bij succesvolle operatie kan de techniek snel verder opgeschaald worden. Er wordt verwacht dat in 2030 circa 20-25 PJ aan productiecapaciteit gerealiseerd kan zijn.

Productie van SNG zal ook bij hogere capaciteiten in ieder geval tot 2030 afhankelijk zijn van SDE subsidie. Een vast en voldoende hoog tarief is cruciaal om de beoogde productie capaciteiten te gaan benutten voor SNG productie. Wanneer producten met een hogere waarde dan SNG geproduceerd kunnen worden kan dit (indirect) ten koste gaan van de SNG productie capaciteit.

Ten aanzien van het toekomstperspectief is het vermelden waard dat via torrefactie zeer uiteenlopende biomassa stromen (houtig, agro, maar ook natte stromen) geschikt kunnen worden gemaakt voor het Torrgas proces. Hiermee wordt het risico op eventueel alternatief gebruik van de beoogde grondstof beperkt.

2.2.2 Bio Energy Netherlands (BEN)

Achtergrond/principe

Bio Energy Netherlands B.V.⁷ gebruikt een downdraft vergasser techniek geleverd door het Amerikaanse bedrijf Zero-Point Clean Tech.⁸ In de Amsterdamse haven is sinds eind 2018 een 10 MW vergassingsinstallatie in operatie waarbij niet-recyclebaar afvalhout en snoeihout wordt vergast voor CHP. Twee vergassers (van elk 5 MW) produceren een gas met relatief weinig teer, wat in een Jenbacher gasmotor (J620) wordt omgezet in 2 MWe. Daarnaast wordt er 8 MW warmte aan het Amsterdamse warmtenet geleverd via het naastgelegen afval energie bedrijf. Een foto op de website van Zero-Point Clean Tech laat de installatie zien (Figuur 7). Op de foto is 1 vergasser en gasreinigingslijn te zien, de tweede lijn is later bijgebouwd.



Figuur 7: Vergassingsinstallatie Bio Energy Netherlands B.V. in de Amsterdamse haven.

⁷ <https://bioenergynetherlands.nl/>

⁸ <https://zeropointcleantech.com/>

In totaal is de installatie tot nu toe een paar honderd uur operationeel geweest. De technologie van Zero-point Clean Tech zou c.a. 4000 uur operationele uren hebben gemaakt. Bij de vestiging in Amsterdam wordt nog een 3^e lijn (eveneens 5 MW) geïnstalleerd.

SNG productie in Delfzijl

BEN is een initiatief gestart in Delfzijl. Hierbij wordt beoogd jaarlijks 45 miljoen m³ (~60 MW) aardgas te produceren. Oorspronkelijk werd gemikt op 80 miljoen m³ SNG. Deze capaciteit is ook in de vergunning opgenomen maar bleek financieel een te groot risico. De 45 miljoen m³ installatie zal bestaan uit 16 vergasserlijnen. Binnen de vergunning is ruimte voor 24 lijnen. De SDE+ subsidie voor de installatie is toegekend (onder naam 'Biofuel Groningen BV').

Voor de productie van SNG is het gebruik van verrijkte lucht of zelf pure zuurstof noodzakelijk, en hiervoor worden nu in Amsterdam de testen uitgevoerd. Het gebruik van verrijkte lucht of pure zuurstof in een downdraft vergasser systeem is in de wetenschappelijke literatuur gemodelleerd⁹ maar er zijn geen experimentele resultaten van een dergelijk systeem te vinden. In hoeverre een zuurstofrijke oxidant operationele problemen kan opleveren in een downdraft vergasser is niet bekend, en dit zal één van de meest kritische stappen zijn in het ontwikkelingstraject van BEN.

Financieel

Een totale investering van 150 - 180 miljoen euro wordt op dit moment genoemd voor de installatie, gebaseerd op de 'basic engineering' studie. Voor een 60 MW installatie is dit ruim onder de schatting uit het internationale deel van dit rapport (~2,5 ME/MW voor BEN installatie versus ~4,0 MK/MW als GoBiGas referentie). De financiële investeringsbeslissing voor de Delfzijl installatie wordt in 2022 verwacht, en als deze positief uitpakt zal de operatie medio 2024 kunnen starten.

BEN is betrokken bij de '2BCM' alliantie¹⁰, waarin beoogd wordt in 2030 in totaal 2 biljoen m³ SNG geproduceerd kan worden. Naast de installatie in Delfzijl zijn er ook plannen voor vergelijkbare installaties in Amsterdam en Rotterdam, echter zijn deze minder concreet.

Alternatieve producten

In de toekomst wil BEN naast CHP en SNG ook duurzaam waterstof en CO₂ kunnen produceren. Recent is hiervoor een subsidieproject verkregen vanuit de topsector energie (TWAS118011). In dit project wordt samen met Hygear B.V. een gas opwerkingssysteem gebouwd welke gekoppeld kan worden aan de vergasser voor waterstof productie. Doel van het project is de ontwikkeling, bouw en test op kleine schaal (10 Nm³/h H₂, ~30 KW) en een ontwerp van een installatie op volledige schaal. Voor de productie van waterstof zal, net als voor SNG productie, ook het aandeel zuurstof in de oxidant verhoogd moeten worden. Een publicatie in het Agro-Chemie tijdschrift eind 2019 beschrijft de plannen van BEN om op grote schaal waterstof te gaan produceren in de installatie in Amsterdam¹¹.

⁹ Gujar et al. Oxygen-blown gasification of pine charcoal in a top-lit downdraft moving-hearth gasifier. Fuel Vol. 118, p. 27-32 (2014)

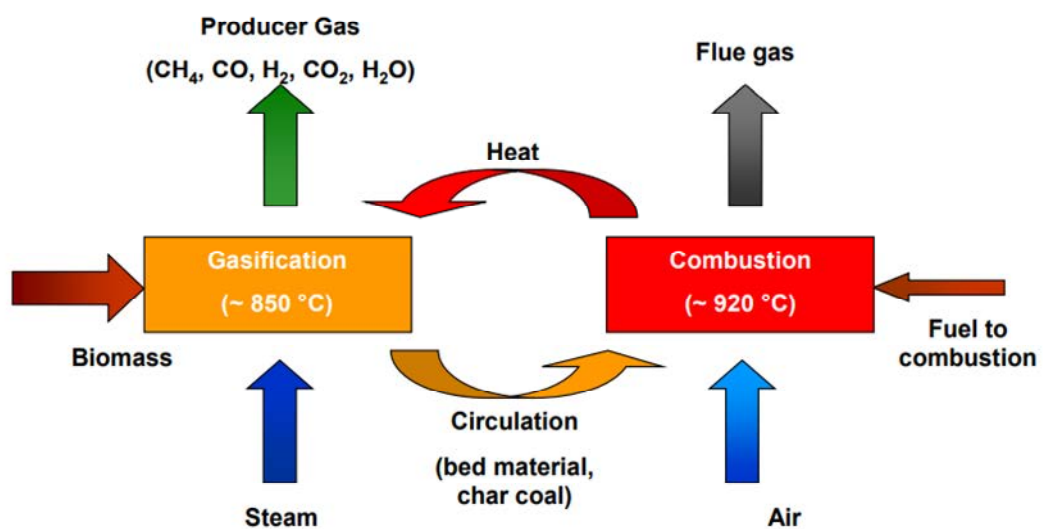
¹⁰ <https://www.2bcmalliantie.nl/>

¹¹ Bio Energy Netherlands opent eerste bio-waterstoffabriek | Agro&Chemie (agro-chemie.nl)

2.2.3 Ambigo

Achtergrond/principe

Het Ambigo project is ontstaan op basis van de bij ECN (nu TNO) ontwikkelde vergassingstechnologie 'Milena'. De Milena vergasser is een indirecte vergasser waarbij biomassa wordt vergast met stoom en de benodigde warmte wordt geleverd door circulatie van heet bedmateriaal. Het bedmateriaal wordt verwarmd in een 2^e reactor door verbranding van het kool bijproduct uit de vergasser (Figuur 8). Het productgas uit de Milena vergasser bevat nog relatief veel teer en andere verontreinigingen. Om het gas op te zuiveren is de 'Olga' gasreinigingstechniek ontwikkeld. Vanuit het opgezuiverde gas wordt methaan (SNG) geproduceerd door middel van de 'Esme' technologie (beide eveneens ontwikkeld door ECN/TNO).



Figuur 8: Schematische weergave van het Milena vergassingsconcept.

Status

Het Ambigo project beoogde na een aantal aanpassingen van de plannen een 4 MW SNG installatie te bouwen in Alkmaar. In het consortium waren naast TNO ook Dahlman, Gasunie, Engie en Participatiefonds Noord-Holland betrokken. Het Ambigo project was een van de meest vergevorderde initiatieven maar lijkt op dit moment gestopt gezien de opmerking in de eindrapportage van het subsidieproject DEI1170004 (september 2019): *“partners van het Ambigo project hebben tijdens een bestuursvergadering op 19 juni 2019 helaas moeten besluiten het project niet voort te zetten.”*¹². Een presentatie van Martijn Theelen (Gasunie) van November 2019¹³ duidt op een herformulatie van het project: *“New start of project with adjusted scope for demo facility (2 MW SNG) to prove the concept of waste to gas”*. De

¹² Eindverslag DEI project Ambigo. DEI117004, September 2019.

¹³ Innovative gasification technologies supported by Gasunie New Energy in the Netherlands, Martijn Theelen, Groningen November 2019.

technologie wordt hier ook als ‘pilot’ aangemerkt, en de beoogde schaal van operatie is verlaagd.

De belangrijkste reden van het niet doorzetten van de plannen is de financiële haalbaarheid. Verhogen van de productiecapaciteit is gewenst om de financiële haalbaarheid te verbeteren, echter vergroot dit ook het financiële risico van het project. Ten aanzien van de hiervoor benoemde initiatieven is het Ambigo project technologisch gezien echter wel het verst gevorderd. De technologie is uitgebreid beproefd op pilot/demo schaal en er is een detailed engineering studie uitgevoerd. Wanneer de marktcondities voor SNG productie veranderen, is het denkbaar dat het Ambigo consortium snel zou kunnen schakelen en de commerciële productie van SNG snel zou kunnen opvoeren. Dit laatste is dan ook de primaire reden het initiatief wel in dit rapport op te nemen.

2.2.4 Productie van synthesesgas voor alternatieve producten

Synthesegas kan in plaats van SNG ook voor een scala aan andere producten worden gebruikt. Vanuit economisch oogpunt zijn alternatieve producten zoals methanol, waterstof of diesel (via Fischer Tropsch) vaak aantrekkelijker. Torrgas heeft naast de SNG plant in Delfzijl bijvoorbeeld ook concrete plannen voor een 50 MW installatie voor de productie van waterstof op het Chemelot terrein¹⁴.

Wellicht het bekendste initiatief waarbij de omzetting van afval tot een synthesesgas voor chemicaliën wordt onderzocht is het W2C project in de Rotterdamse haven.

W2C/Enerkem

In het W2C (Waste2Chemicals) project zijn partners Enkern, Nouryon, Air Liquide, Shell en Havenbedrijf Rotterdam betrokken. Het project beoogt om een afval-naar-chemicaliën installatie in het havengebied te ontwikkelen. De stad Rotterdam en de provincie Zuid-Holland zijn eveneens bij het project betrokken. 360.000 ton aan afval moet in de te bouwen installatie jaarlijks omgezet worden in 270 miljoen liter methanol (~150 MW). Om een hoog rendement te kunnen halen is het wenselijk om extra waterstof aan het syngas toe te kunnen voegen voor de synthese. Hiervoor worden verschillende mogelijkheden onderzocht, onder andere de import van groene waterstof uit IJsland¹⁵ (waterkracht) en de omzetting van windenergie via elektrolyse^{16,17}.

Op dit moment (eind 2020) is het wachten op een financial closure om met het project verder te kunnen. Met betrekking tot investeringskosten is er weinig openbare informatie te vinden. De enige gepubliceerde schatting bedraagt 200 miljoen euro. Echter is deze schatting gepubliceerd in februari 2018 en gemaakt voordat de detail engineering uitgevoerd was¹⁸. Met een specifieke investering van 1,3 €/MWh lijkt dit in verhouding tot de beschikbare investeringskosten uit het buitenland (Figuur 16) een erg lage schatting. Er is meerdere malen

¹⁴ https://enzuid.nl/docs/ENZuid_FICHES_Ketentransitie.pdf

¹⁵ <https://industrialinqs.nl/havenbedrijf-rotterdam-onderzoekt-import-groene-waterstof-uit-ijsland/>

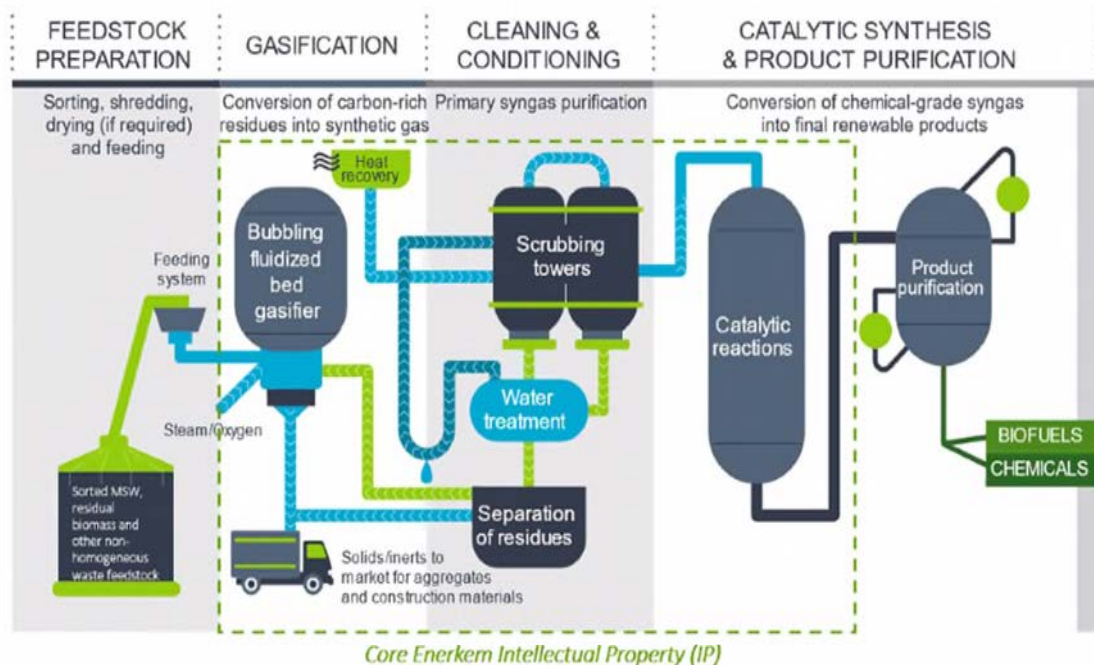
¹⁶ <https://petrochem.nl/shell-wil-electrolyser-bouwen-op-tweede-maasvlakte/>

¹⁷ <https://petrochem.nl/waterstofproject-bp-in-rotterdam-heeft-naam-h2-50/>

¹⁸ <https://w2c-rotterdam.com/press-release-feb-2018>

contact gezocht met het W2C project voor een interview, maar hier is geen gehoor aan gegeven.

De installatie maakt gebruik van de vergassingstechnologie ontwikkeld door Enerkem. Enerkem is een Canadees bedrijf en heeft de afgelopen 20 jaar technologie ontwikkeld op basis van een bubbling fluidized bed reactor, waarbij pure zuurstof en stoom gebruikt worden als oxidant (Figuur 9). Enerkem richt zich nadrukkelijk op de omzetting van afvalstromen.



Figuur 9: Schematische weergave van het Enerkem proces.

De installatie in Edmonton Canada is de eerste ‘commerciële demonstratie plant’ met Enerkem technologie. Het beoogde product van de installatie is bioethanol, met een beoogde productie capaciteit van 36 miljoen liter per jaar (~20 MW product). De productie is in 2016 opgestart met de productie van methanol, de eerste ethanol is eind 2019 geproduceerd. De installatie heeft meer dan 10,000 operationele uren gehaald op dit moment. De Enerkem technologie is uitgebreid gepatenteerd, met op dit moment 81 toegekende patenten.

Productie van SNG (RNG in Noord-Amerika) is een van de mogelijkheden in het beschreven product portfolio, maar wordt op dit moment in geen van de projecten beschreven.

Synova LLC

Synova is een bedrijf dat mogelijkheden zoekt via vergassing afval en biomassa reststromen om te zetten tot elektriciteit, brandstoffen en chemicaliën. De Milena vergassingstechnologie en Olga gasreiniging ontwikkeld bij ECN (nu TNO) worden hiervoor toegepast. Een belangrijk aandachtspunt van Synova is de circulaire economie, bijvoorbeeld het gebruik van niet-recyclebaar plastic als grondstof levert een synthesesgas rijk in korte koolwaterstoffen zoals etheen welke als grondstof voor plastic productie gebruikt kunnen worden.

Synova richt zich met name op het leveren van (hernieuwbare) grondstoffen in de industrie. SNG/RNG productie is wel onder de aandacht, echter vindt het bedrijf de productie van methaan via vergassing economisch te afhankelijk van subsidies. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld etheen, waarbij de productiekosten veel dichterbij de huidige marktprijs van de chemicaliën liggen. Een voor de hand liggend alternatief is om uit het synthesegas een 'advanced biofuel' te maken in plaats van SNG aangezien deze een hogere toegevoegde waarde vertegenwoordigt.

Synova richt zich in mindere mate op de omzetting van enkel biomassa naar SNG/RNG, ook een mengsel van biomassa met niet-recyclebaar plastic is een kansrijke grondstof. Op basis van een vertrouwelijke studie noemt Synova een minimale schaalgrootte van c.a. 60 MW input, maar om de financiële risico's van een nieuwe installatie voldoende af te dekken zou de schaalgrootte nog een factor 2 (120 MW) hoger moeten worden. Op dit moment zijn er geen concrete grootschalige initiatieven van Synova bekend.

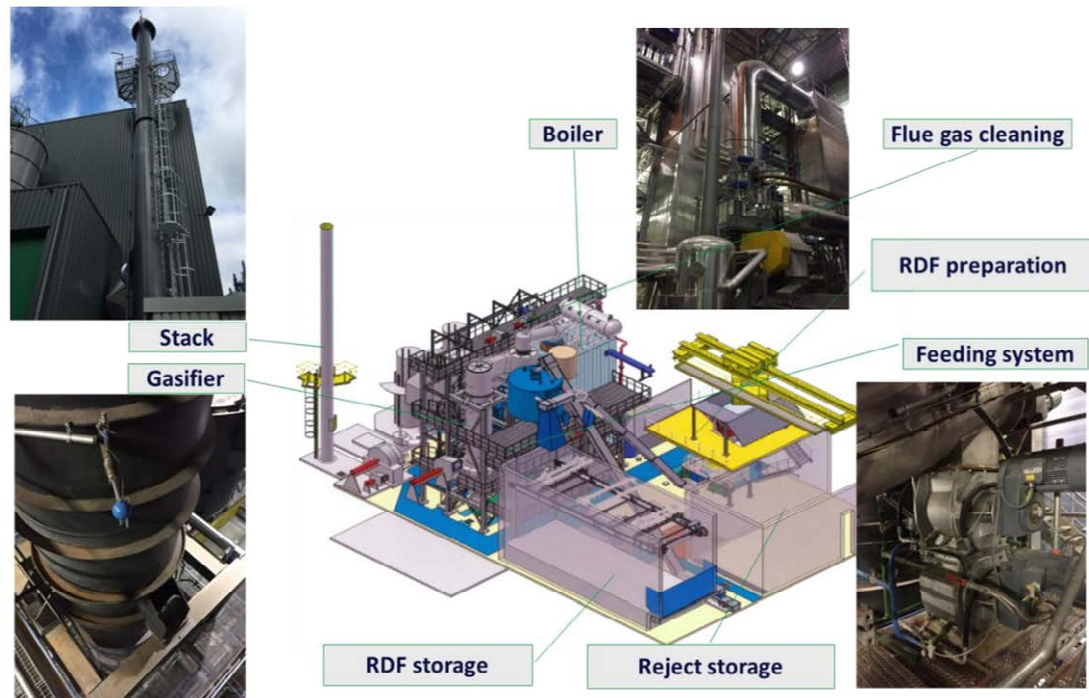
Synova ziet belangrijke voordelen wanneer vergassing een combinatie met bestaande industrie kan maken. Wanneer vanuit de vergasser een scala aan producten wordt verkregen zal dit economisch een beter scenario opleveren. Zeker bij de vergassing van plastics kan bijvoorbeeld het mengsel aan korte koolwaterstoffen direct als grondstof voor de scheidingsinstallaties van krakers gebruikt worden. Methaan wordt hier via cryogene techniek gescheiden, dit coproduct heeft een kwaliteit die de specificaties voor het aardgas benadert, maar net niet bereikt. Een eenvoudige opzuivering hiervan zou technisch en economisch voordelig zijn in vergelijking met vergassing voor enkel methaan (SNG) productie. De methaan uit het biomassa-deel van de biomassa/plastic grondstof kan gewaardeerd worden als groene aardgas geproduceerd, terwijl het plastic-deel omgezet wordt in bouwstenen voor nieuwe plastics. Op deze wijze kunnen doelstellingen op het gebied van bio-energie en biofuels gecombineerd worden met circulariteit in de plastic productie op basis van RDF biomassa/plastic mengsels.

2.2.5 Vergassing voor warmte en/of elektriciteit

Een aantal partijen in Nederland hebben vergassingsinstallaties in bedrijf voor de productie van warmte en/of elektriciteit. De kennis en visie van deze partijen is in deze evaluatie beknopt meegenomen, en de reden hiervan is dat deze informatie eventuele implementatie van groen gas productie kan bespoedigen. De vergassingsprocessen van ESKA, Synvalor en Host worden hieronder beschreven.

ESKA

ESKA is een kartonfabriek in Hoogezand waar oorspronkelijk aardgas gestookte boilers stoom produceerden voor het productie proces. In 2015 heeft ESKA geïnvesteerd in een circulating fluidized bed vergasser, welke restproducten (paper rejects) uit de productie vergast en het gas in een boiler verbrand voor stoom productie. De vergasser heeft een capaciteit van 10-13 MW (afhankelijk van de samenstelling van de grondstof) en is in 2016 in bedrijf genomen, de investeringskosten waren c.a. 14 miljoen euro. De vergasser is gebouwd door Leroux &



Figuur 10: ESKA vergasser, foto's en het 3d ontwerp van de installatie¹⁹.

Lots (Frankrijk). In Figuur 10 is het 3D model en een aantal foto's van de gerealiseerde installatie weergegeven.

De vergasser is vanaf de opstart in 2017 circa 6000 uur per jaar operationeel, waarvan ruim 5000 uur per jaar op RDF. De capaciteit is circa 2 ton per uur. Oorspronkelijk is de vergasser ontworpen voor paper rejects met een mix van c.a. 30/30/30 vezels/kunststof/water. Als gevolg van een pulpproces verbetering worden de vezels beter teruggewonnen en is het aandeel kunststof in de RDF, en dus de stookwaarde ervan, op het moment hoger.

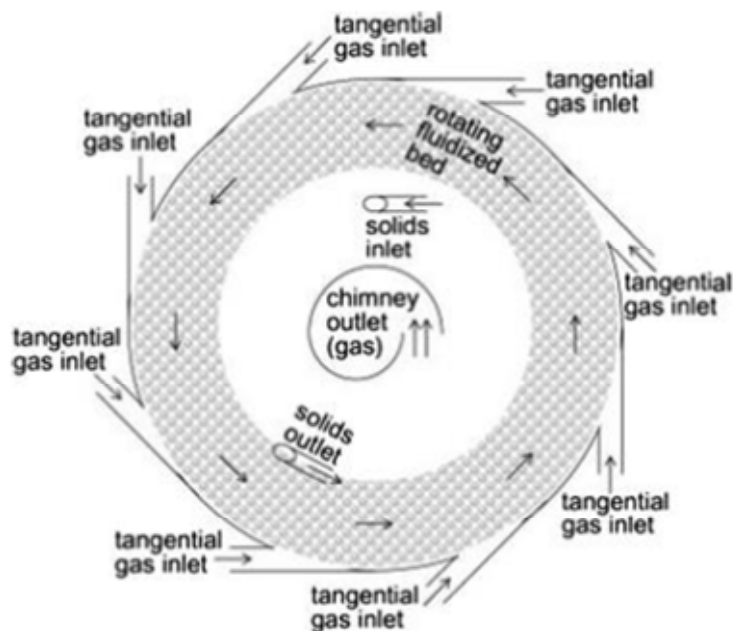
Met name vervuiling in het systeem door teer en stof beperkt het aantal operationele uren. De vergasser wordt nu nog door bijna fulltime door 1 operator bedreven, maar de verwachting is dat de belasting de komende jaren lager wordt en de operator naast de vergasser ook in de papier productie kan meewerken. De verwachting is dat de vergasser door continue verbetering en optimalisatie naar een bedrijfszekerheid gaat van c.a. 7200 uur per jaar.

Productie van SNG is voor ESKA geen optie, het belangrijkste argument voor het project is om een gesloten keten te creëren waarbij minder tot geen afval geproduceerd wordt en ESKA onafhankelijk wordt van de energie markt. De keuze voor een vergassingsproces was met name gebaseerd op de beschikbaarheid van een subsidie voor de investering, in principe zou verbranding ook een geschikte methode zijn om de gestelde doelen te behalen met de kanttekening dat vergassing in theorie een grotere mate van operationele dynamiek heeft die goed past bij de kernactiviteit van ESKA.

¹⁹ Industrial Process Heat: case study 2 – gasification of paper reject to displace natural gas usage in a pulp and paper process. Sander Grootjes, Berend Vreugdenhil en Bert Bodewes. September 2020.

Synvalor

Synvalor richt zich op de vergassing van biomassa reststromen en afvalmateriaal voor de productie van warmte en elektriciteit. Diverse vergasser types zijn in het verleden (afgelopen 25 jaar) ontwikkeld en bedreven door Synvalor. De SynvaTor[®] technologie is een vortex-reactor (Figuur 11) welke specifiek ontwikkeld is om lastige grondstoffen om te zetten in een teer-vrij gas. In de periode 2015-2017 is met behulp van financiering uit de topsector energie een project (DEI1150010) uitgevoerd waarin een vergasser als WKK-systeem bij een gerbera teler (S.C. Zwarts) in Mijdrecht geplaatst is. Het systeem heeft een capaciteit van 750 kWe, en wordt gevoed met riet en onbenut maaisel. De installatie zou na afloop van het project (september 2017) in bedrijf worden genomen.



Figuur 11: Schematische weergave van de vortex reactor.

De huidige status van de vergasser is dat er diverse testen uitgevoerd worden om het systeem te verbeteren. Tot nu toe is de vergasser circa 500 uur in bedrijf geweest, waarvan een paar honderd uur probleemloos. De problemen met het systeem betreffen met name de invoer van de biomassa in de vortex reactor en de gasreiniging. Doorslag van teer naar de motor was een belangrijk probleem, wat nu door een verbeterd ontwerp van de scrubber opgelost zou moeten zijn. De vergasser draait op een temperatuur van ongeveer 720 °C, en het productgas heeft een relatief hoge stookwaarde rond de 9 MJ/Nm³.

Als grondstof wordt lokaal bermgras gebruikt, dit bermgras wordt ingekuild om een continue levering buiten het maaiseizoen mogelijk te maken. Het bermgras wordt met een gate fee van 15 euro per ton (nat) ingenomen.

Het gas wordt in een Guascor gasmotor (tegenwoordig Siemens) omgezet en voor zowel de warmteproductie als de elektriciteitsproductie wordt SDE-subsidie verkregen. Met het huidige systeem (capaciteit c.a. 1000 kg/h input, c.a. 2,5MW) zou dit bij stabiele operatie een

economisch haalbare business case opleveren. De terugverdientijd van de installatie is berekend op 6-7 jaar.

Uit de vergasser komt as met een relatief hoog koolstof gehalte, het plan is om deze koolstof in een tweede reactor te verbranden en hiermee hete lucht te produceren die voor het drogen van de biomassa voor de reactor gebruikt kan worden. Hiermee zou circa 200 KW aan extra warmte beschikbaar komen. Naast testen met bermgras worden ook testen uitgevoerd met stro uit slachterijen, wat vervuild is met varkens en koeienmest, en ook kippenmest-stro wordt als potentiële grondstof gezien. Synvalor denkt na over hoogwaardige toepassingen, maar productie van bijvoorbeeld SNG via een dergelijke vergasser wordt niet overwogen. Een continue bedrijfsvoering van de vergasser is nog niet gerealiseerd maar zal naar verwachting medio 2021 gebeuren.

HoSt

HoSt levert naast bio-WKK's en biomassaketels ook wervelbed vergassers. Zo is er in 2006 een 3 MW wervelbedvergasser (Figuur 12) geleverd aan een pluimvee bedrijf in Tzum (Friesland). Hierin wordt kippenmest, RDF en beendermeel omgezet in laag calorisch synthesesgas, wat via een boiler en stoomturbine wordt omgezet in warmte en elektriciteit. In 2009 is een 5 MW wervelbedvergasser geleverd aan een pluimveebedrijf in Santiago de Besteiros, Portugal (Figuur 13). Deze installatie is uitgevoerd met gasreinigingssysteem en 1 MW gasmotor voor elektriciteitsproductie.



Figuur 12: HoSt wervelbedvergasser voor kippenmest in Tzum.



Figuur 13: HoSt wervelbedvergasser in Santiago de Besteiros, Portugal.

HoSt is meerdere malen benaderd voor een interview, maar heeft hier geen gehoor aan gegeven.

2.2.6 Samenvattend

Samenvattend kan het volgende gesteld worden met betrekking tot productie van groen gas via thermische vergassing in Nederland:

- Productie van SNG is in Nederland aangetoond tot een TRL van 6-7 (Ambigo, Torrgas).
- Torrgas heeft concrete plannen voor de opschaling naar commerciële productie (25 MW).
- Bio Energie Netherlands heeft concrete plannen om SNG te gaan produceren op een 60 MW schaal, echter de technologie voor SNG productie is, voor zo ver bekend, nog niet aangetoond op pilot schaal.
- Productie van SNG via de synthesesegas route ondervindt concurrentie van producten met een (potentieel) hogere toegevoegde waarde zoals waterstof en methanol.
- B-hout is de grondstof waar de meest concrete initiatieven zich op richten. Voor economische haalbare ketens is SDE subsidie, en mogelijke CO₂ inkomsten van groot belang.
- Gebruik van afval als negatieve-waarde grondstof wordt eveneens beoogd (W2C)
- Initiatieven richten zich op internationale havens en industriële gebieden.

Een aantal technische hordes zullen wel genomen moeten worden om de productie van SNG via thermische vergassing succesvol in Nederland te laten worden, zoals

- Het probleemloos bedrijven van een downdraftvergasser met zuurstof voor diverse soorten biomassa en specifiek ook reststromen. Het risico voor oververhitting met “klinkervorming”/verslakking tot gevolg is aanzienlijk.
- Stabiele productie van synthesesegas via thermische vergassing uit biomassa reststromen (zoals B-hout en snoeihout) nodig voor de conversie naar methaan. Wereldwijd zijn er wel vergassers in bedrijf die reststromen omzetten in synthesesegas, maar geen van allen in combinatie met methaanproductie.

- Technologiedemonstratie waarbij wordt aangetoond dat de geplande combinatie van capaciteit, draaiuren, en product opbrengst en kwaliteit kan worden behaald of benaderd op industrieel relevante schaal. Wereldwijd is dit nog niet aangetoond en zal zeker nog implementatie risico's kennen.
- Naast de genoemde hordes zijn er ook duidelijke nieuwe kansen zoals bijvoorbeeld in combinatie met de verwachte toename in waterstofproductie via elektrolyse. Het bijproduct zuurstof kan worden gebruikt in de vergasser, en additioneel waterstof kan het koolstofrendement van de thermische vergassingsroute sterk verbeteren. Dit soort hybride systemen staan nadrukkelijk in de aandacht zowel nationaal als internationaal.

2.3 Thermische vergassing voor groen gas opwek buiten Nederland

Wereldwijd zijn er ook diverse initiatieven te vinden betreffende de productie van SNG via thermochemische conversie van biomassa. Het is hier nadrukkelijk niet de bedoeling een compleet overzicht te maken, maar vooral de belangrijkste initiatieven en ervaringen weer te geven.

2.3.1 GoBiGas

Het **Gothenburg Biomass Gasification** (GoBiGas) project^{20, 21, 22} is - voor zover bekend - wereldwijd de grootste installatie waarin de productie van SNG uit biomassa via de thermische vergassingsroute is gedemonstreerd. Bovendien is het project goed gedocumenteerd en is er veel informatie beschikbaar over de bedrijfsvoering als ook over economische aspecten.

Het GoBiGas project is geïnitieerd in 2005 en had tot doel de productie van SNG via thermische vergassing te demonstreren en commerciële implementatie mogelijk te maken. Oorspronkelijk werd een productiecapaciteit van 100 MW SNG, maar dat is na uitvoering van een haalbaarheidsstudie verlaagd naar 20 MW (fase 1). Belangrijke redenen waren onder meer de totale projectkosten en twijfels of de technologie al volwassen genoeg was voor een dergelijke grote schaal. In fase 2 zou proces dan opgeschaald worden naar 80 MW. Voor de vergassingstechnologie zijn verschillende benaderingen beschouwd, waaronder een indirect dual wervelbed vergasser en een zuurstof geblazen drukvergasser. Uiteindelijk heeft men gekozen voor de indirecte vergasser. Voor de implementatie van het project is een gerenommeerd consortium opgezet: de vergassingsunit is door Valmet (vh Metso) gebouwd onder een licentie van Repotec, de methaniseringsunit door de combinatie Haldor Topsoe en Jacobs.

²⁰ GoBiGas: An Industry Relevant State-of-The-Art Reference for Advanced Biofuel Production via Gasification, Prof. Henrik Thunman (Chalmers University of Technology) & Freddy Tengberg (Göteborg Energi).

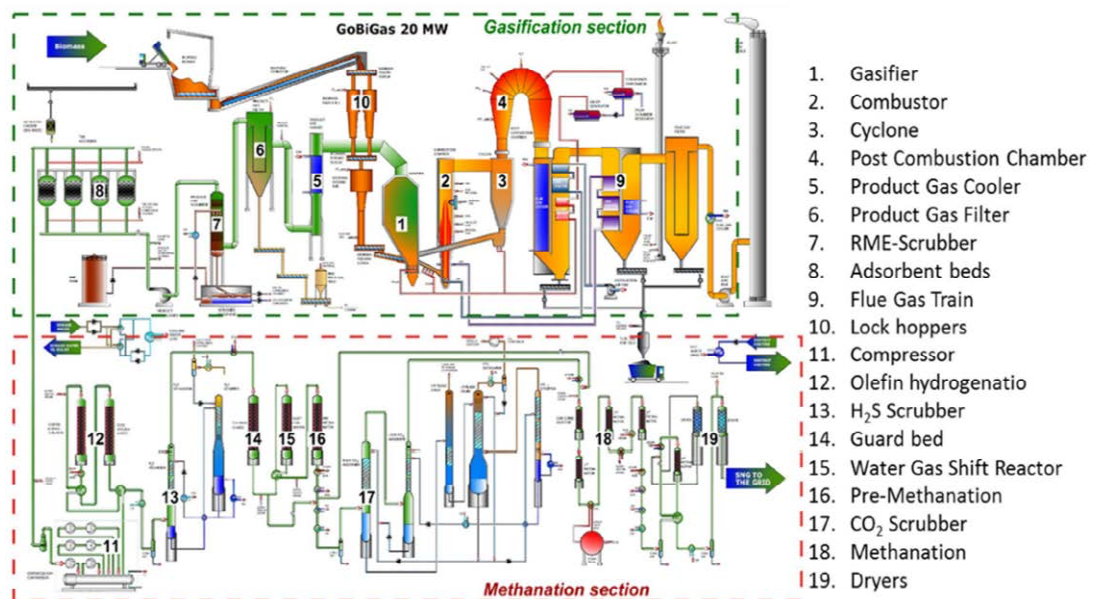
²¹ The GoBiGas Project – Demonstration of the production of Biomethane from biomass via gasification, Göteborg Energi AB, Anton Larsson, Ingemar Gunnarsson & Freddy Tengberg (2018).

²² GoBiGas Demonstration- a vital step for a large-scale transition from fossil fuels to advanced biofuels and electrofuels, Chalmers University of Technology, Henrik Thunman, (2017-2019).

De indirecte vergasser is oorspronkelijk ontwikkeld in Oostenrijk door de TU Wien (prof Hermann Hofbauer). De eerste demonstratie van de technologie op industriële schaal (8 MW_{th}) vond plaats in Güssing voor WKK-toepassing. De installatie is zo'n 15 jaar in bedrijf geweest. Ook zijn er onderzoeksprojecten uitgevoerd gericht op de productie van SNG door een slipstream van de vergasser te gebruiken. Dezelfde vergassingstechnologie is vervolgens gebruikt in o.a. Oberwert (8 MW_{th}), Ulm/Senden (16 MW_{th}, Duitsland). In alle gevallen wordt houtachtige biomassa als voeding gebruikt. Cumulatief zouden deze installaties zo'n 200.000 bedrijfsuren hebben gerealiseerd. Momenteel zijn deze fabrieken echter niet meer in bedrijf.

GoBiGas Proces

Het proces is schematisch weergegeven in Figuur 14. Het bovenste gedeelte betreft het vergassingsproces en teerverwijdering, het onderste deel de gas conditionering en methanisering. De verschillende units zijn benoemd in de figuur.



Figuur 14: Schematische weergave van het GoBiGas demonstratieproject.

De ontwerpcapaciteit van de vergasser is 32 MW_{th} hetgeen overeenkomt met ca 150 ton biomassa per dag en 20 MW SNG (ca 2.000 Nm³ SNG per uur). Verder wordt aangenomen dat 65 energie-efficiency van biomassa naar methaan kan worden behaald, een overall energie-efficiency van 90%, en 8.000 bedrijfsuren per jaar. De constructie is in 2011 begonnen en het volledige systeem (vergassing en methanisering) was gereed voor productie in December 2014.

De totale kosten van het demonstratieproject bedroegen 1,561 MSEK (150-170 M€-afhankelijk gehanteerde koers). Opmerkelijk genoeg was de methaniseringseenheid (57% - 99 M€) aanzienlijk duurder dan het vergassingssysteem (20% - 35 M€). Ook projectmanagementkosten vormden een substantieel aandeel (12% - 22 M€).

Bedrijfservaring

De opstart van de vergasser heeft aanzienlijk langer geduurd dan gepland (12 maanden i.p.v. 2 maanden), en vervolgens heeft het nog een jaar gekost tot stabiele operatie van de vergasser. Het laatste is essentieel voor de methaniseringssectie. Eind 2014 is de eerste SNG geleverd aan het gasnet. Er zijn verschillende soorten biomassa gebruikt: hout pellets, hout chips, schors en “sloophout, klasse A”. De overall resultaten zijn samengevat in onderstaande tabel. In totaal zijn er meer dan 12.000 operationele uren gerealiseerd in de periode november 2013 -februari 2018.

Verreweg het grootste aantal uren is gedraaid met houtpellets (>80%). De ervaring was dat drogere biomassa tot betere resultaten leidt, en minder operationele problemen. Met de andere 3 biomassa soorten (Tabel 1) kon geen voldoende stabiele operatie worden gerealiseerd waardoor de methaniseringsreactor niet kon worden opgestart. Het nadeel van de schone biomassa was echter deze biomassa weinig as bevat waardoor het bedmateriaal onvoldoende geactiveerd werd door de as in biomassa. Het bleek daarom noodzakelijk additieven (as) toe te voegen bij gebruik schone biomassa.

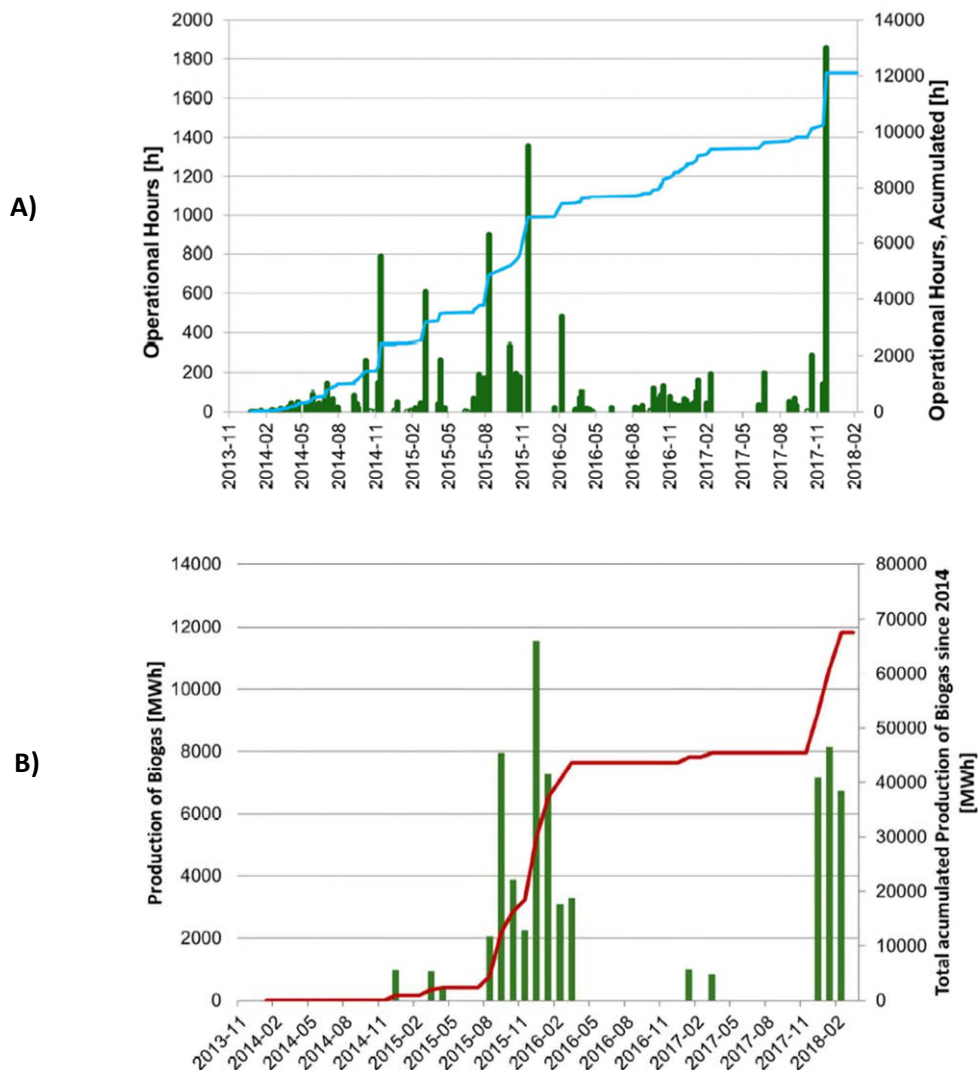
Tabel 1: Overzicht van de GoBiGas operatie met verschillende biomassa's.

Fuel	Pellets	Wood chips	Bark	Recovered Wood Class A1
Hours of operation (h)	~10,000	~1,150	~750	~100
Fuel moisture (%)	8-9	24-30	20-23	19-21
Load	80-100%	55-70%	40-70%	55-85%
Load-limiting factor	-	Moisture, fuel feed - mechanical	Fuel feed - mechanical	Fuel feed - mechanical
η_{CH_4}	50-63%	40-55%*	45-55%*	45-55%*
CO _{2,eq} red.	80-85%**	-	-	-

*Estimation base on gasification performance.

**During steady-state operation.

De beoogde efficiency van 65% kon dicht benaderd worden, en er is aangegeven dat de capaciteit van 20 MW SNG is behaald. Dit laatste is moeilijk uit de resultaten af te leiden. De SNG gasstroom (na methanisatie) bestond uit ca 97 mol% CH₄, 2 mol% H₂ en kleine hoeveelheden CO₂ en N₂. De stookwaarde van het gas is ca. 35 MJ/Nm³. Productiegegevens en operationele uren zijn weergegeven in Figuur 15. Overall zijn 12.000 bedrijfsuren gehaald en een cumulatieve productie van ~ 68.000 MWh SNG (~7.000.000 Nm³).

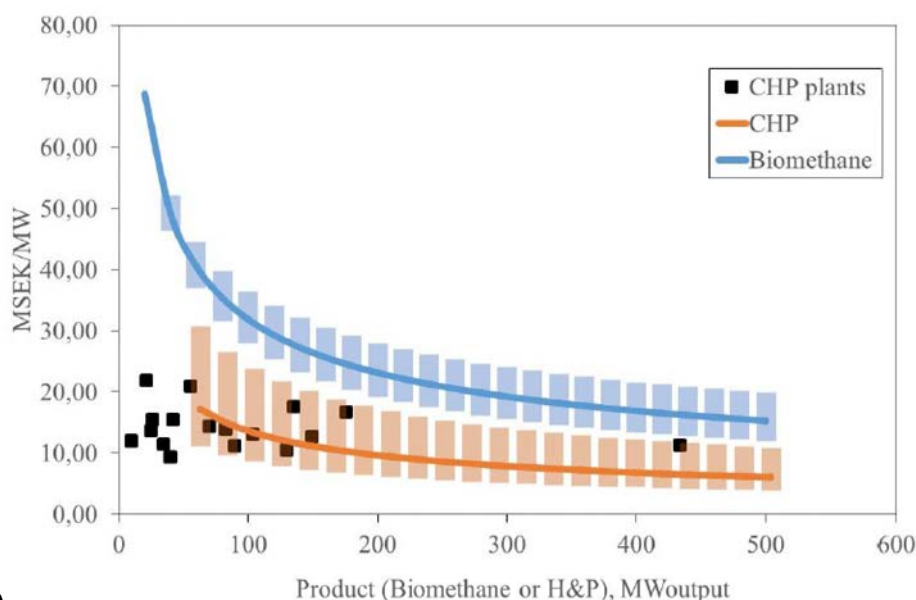


Figuur 15: Productiegegevens. A): Operationele uren per run (groen, linker as) – cumulatief (blauwe, rechter as). B): Biogas productie in MWh per run (groen, linker as) en cumulatief (rood, rechter as).

Dit komt neer op een gemiddelde capaciteit voor alle runs van 5,7 MWh (~30% van ontwerpcapaciteit). Aan het einde van de testperiode is een succesvolle continue test uitgevoerd van 1.850 uur (December 2017 – Februari 2018). Hout pellets werd gebruikt als voeding en ca 21.500 MWh SNG werd geproduceerd in die periode. Gemiddelde capaciteit voor deze run komt daarmee op bijna 12 MWh (~60% ontwerpcapaciteit).

Opschaling proces (CAPEX & OPEX)

Binnen het GoBiGas project is ook uitgebreid aandacht besteed aan de opschaling van het proces en de gevolgen voor CAPEX en OPEX (Figuur 16 A). Initieel werd een schaal van 100 MW voldoende geacht, op basis van huidige inzichten wordt een minimale capaciteit van 200 MW_{output} (~20.000 Nm³/h) aangenomen. Totale investering voor een dergelijke installatie wordt geschat op 5.000 MSEK (~ 500 M€) (Figuur 16 B). De biomassa behoefte voor een dergelijke installatie bedraagt ca 500 kton/jaar. De jaarlijkse gasproductie is dan 160 miljoen Nm³ SNG (5.6 PJ/jaar).



A)

B)

	Reference plant 20 MW SEK/MWh	Commercial plant 100 MW SEK/MWh	Commercial plant 200 MW SEK/MWh
Capital cost, depreciation	430	199	145
Capital cost, interest (5%)	258	120	87
Development cost	43	20	15
Operation costs (excluding feedstock)	352	166	132
Feedstock cost	217	217	217
Total cost	1300	722	596

Figuur 16: A): Investeringsschattingen als functie van SNG-output capaciteit. B): Productiekosten voor verschillende productiecapaciteiten; (1MSEK ~ 1Meur).

In maart 2018 is besloten het project niet verder te vervolgen. De plannen voor een grotere installatie zijn in de ijskast gezet vanwege ongunstige marktomstandigheden (i.e. lage prijs product gas). Er schijnt wel een consortium te zijn die het plan heeft opgevat de GoBiGas demo-installatie over te nemen en weer op te starten. Het product hoeft dan echter niet noodzakelijkerwijs SNG te worden. In de VS werd in een persbericht een plan aangekondigd een 'GoBiGas installatie' te realiseren (Williams Lake), maar concrete activiteiten lijken er voorlopig niet plaats te vinden.

2.3.2 Bio2G – E.ON

Een ander groot Zweeds initiatief betrof een project geïnitieerd door E.ON genaamd Bio2G. In dit geval werd een zuurstof geblazen wervelbedvergasser onder druk beschouwt. De beoogde schaal was 200 MW SNG productie met een biomassa naar methaan energieconversie van 57%. De benodigde biomassa komt overeen met een capaciteit van 345 MW (~ 1 miljoen ton verse houtchips/jaar; op locatie wordt de biomassa gedroogd tot een vochtgehalte van 15-20%). Naast SNG zou er ook ca 20 MW elektriciteit en 60 MW warmte (stadsverwarming) worden geproduceerd. Voor dit project is ook een uitgebreide engineering studie uitgevoerd door gerenommeerde partijen als Andritz, E.ON en Haldor Topsoe. De totale investeringskosten werden geraamd op ca 430 M€. Een aanvraag voor ondersteuning vanuit NER300 werd toegekend, maar het project is niet gerealiseerd (investeringsbesluit had uiterlijk in 2020 moeten vallen om aanspraak te houden op NER300 subsidie).

2.3.3 SunGas Renewables

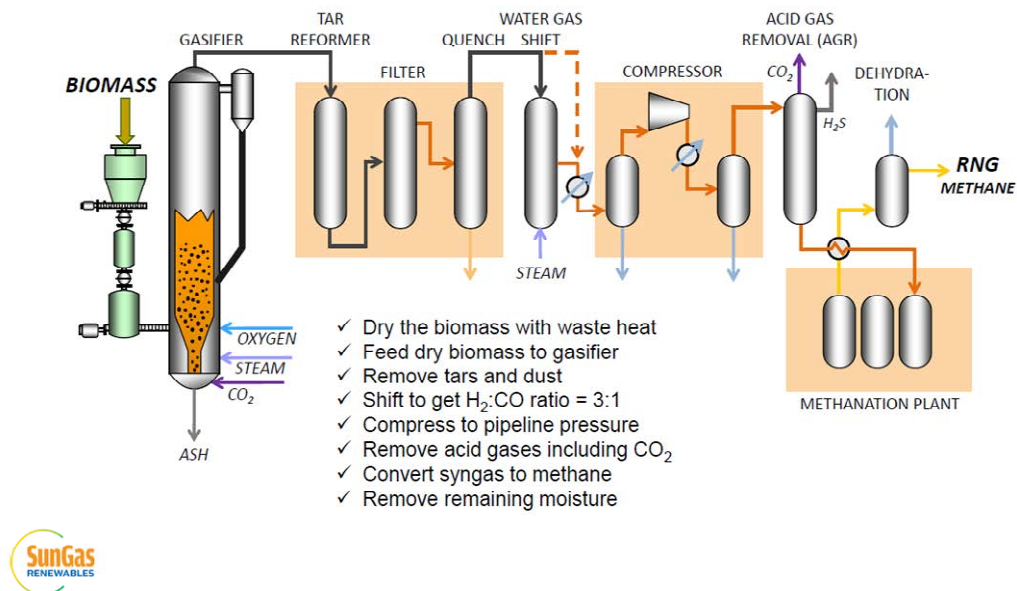
Het Gas Technology Institute (GTI)^{23,24} uit Chicago is al zeer lang actief op het gebied van biomassavergassing en heeft ook grote pilot faciliteiten ter beschikking. Voor de implementatie is een samenwerking aangegaan met Andritz. De Skive Fjernvarme WKK installatie in Denemarken is een succesvolle demonstratie van deze technologie. De capaciteit bedraagt 6 MW elektrisch en 11 MW warmte; de biomassavoeding bestaat uit houtpellets en jaarlijkse behoefte is ca 40.000 ton. De vergasser is een luchtgeblazen, atmosferische wervelbedvergasser.

In 2019 heeft GTI een nieuwe entiteit opgericht genaamd SunGas Renewables die zich onder meer richt op de productie van SNG (RNG) uit biomassa. In samenwerking met industrie is er een engineeringstudie en economische analyse uitgevoerd voor een 100 MW SNG productie-installatie. De keuze van het beoogde product hangt sterk af van de lokale omstandigheden (i.e. incentives). RNG is interessant in California voor toepassing in de transportsector.

Interessant verschil t.o.v. van het GoBiGas project is het type vergasser dat is gekozen. In dit geval wordt een directe, zuurstof geblazen, atmosferische wervelbedvergasser toegepast en is ontworpen door Andritz. Voor de primaire teerverwijdering/conversie wordt een katalytische reforming reactor gebruikt in plaats van een was-stap met RME. Het downstream methanisering proces is vergelijkbaar met GoBiGas en ook ontworpen door Haldor Topsoe. Verder zijn GTI en Black & Veatch bij de studie betrokken. Schematische weergave van het proces is weergegeven in Figuur 17.

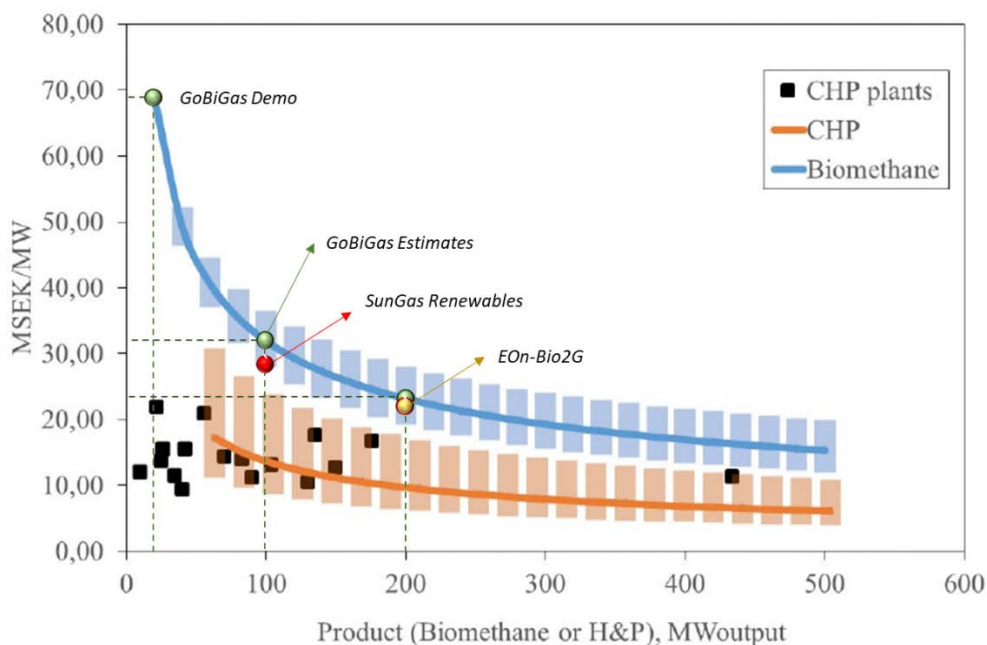
²³ Low-Carbon Renewable Natural Gas (RNG) from Wood Wastes, Gas Technology Institute (GTI), February 2019

²⁴ Low Carbon Renewable Natural Gas (RNG) from Wood Wastes, Context and Site Specific Engineering Design Study, SunGas Renewables (subsidiary GTI), 2019



Figuur 17: Schematische weergave van SNG-proces van Sungas Renewables.

De engineering is uitgevoerd voor een specifieke locatie nl. Stockton Biomass Power Plant in California. Er wordt gesteld dat verschillende biomassa krachtcentrales in California worden gesloten en dat er steeds meer houtige biomassa (afvalstromen) beschikbaar komen. Een RNG productie-installatie op een bestaande locatie wordt gezien als goed alternatief, waarbij deels gebruik wordt gemaakt van bestaande infrastructuur. De studie gaat uit van een 100 MW (RNG output) installatie gevoed met houtige biomassa (mix van forest waste, demolition wood and orchard waste). Een totale biomassa input van 310.000 ton/jaar levert ca. 85 miljoen m^3 SNG per jaar uitgaande van 7500 bedrijfsuren en 60% energetische efficiency (biomassa naar RNG). De samenstelling van de SNG is zeer vergelijkbaar met GoBiGas. Totale investering wordt geraamd op 340 MUS\$ (~ 286 M€) met een 30% onnauwkeurigheid. Specifieke investering is dan bijna 3 M€/MW_{output} (~ 28 MSEK/MW) (Figuur 18). In Figuur 18 zijn de investeringskosten weergegeven van de verschillende initiatieven en komen onderling goed overeen. De vergassing technologieën zijn verschillend, maar in alle gevallen is de methaniseringsstap van Halso Topsoe. De geschatte investeringskosten komen goed overeen met de GoBiGas en Bio2G schattingen. Specifieke investering is 2 -3 M€/MW_{methaan} voor een productiecapaciteit van 100 – 200 MW_{methaan}.



Figuur 18: Investeringschattingen als functie van SNG-productiecapaciteit.

De prijs per m³ SNG ligt in de GTI studie lager dan bij GoBiGas. GTI geeft een prijs van ~ 0,35 – 0,41 €/Nm³, waar GoBiGas -bij dezelfde capaciteit – tot een prijs van 0,72 – 0,79 €/Nm³ komt. Belangrijkste verschillen lijken bijdrage biomassakosten (22 versus 10 Eur/MWh) en kapitaalkosten (32 versus 10 €/MWh) te zijn. Naar verluidt wordt er actief gewerkt om een project te realiseren in Californië voor de productie van SNG, maar mogelijk op een andere locatie dan aangegeven in de studie.

2.3.4 Overig

Naast bovengenoemde projecten zijn er een aantal andere initiatieven die zich meer in een demo-fase bevinden, niet specifiek op SNG zijn gericht of waarvan weinig informatie bekend is:

- Het Gaya project in Frankrijk - onder leiding van Engie - is bijvoorbeeld gebaseerd op een indirecte vergasser ("Güssing") op een schaal van 0,5 MWth. Naast hout zou ook andere biomassa worden gebruikt. Ondanks dat het project al geruime tijd loopt is er weinig informatie beschikbaar.
- In Oostenrijk wordt door de oorspronkelijke ontwikkelaars van de "Güssing vergasser" gewerkt aan een nieuwe demonstratiefabriek waarbij de focus is op de mogelijkheid ook niet-houtige biomassa goed te kunnen verwerken. De huidige (semi-) commerciële vergassers gebaseerd op dit principe gebruiken allen hout als voeding.
- In Zweden is het bedrijf Cortus Energy AB actief met het ontwikkelen van hun eigen vergassingstechnologie genaamd Woodroll®. Pyrolyse wordt gebruikt als voorstap en vervolgens wordt syngas geproduceerd in een indirect verwarmde entrained flow vergasser. In een Europees samenwerkingsverband is ook een demonstratie uitgevoerd, waarbij een SNG demo unit gekoppeld is met een Woodroll vergasser. De huidige activiteit van Cortus richt zich op een 6 MW commerciële demonstratie

(Höganäs plant) waarbij het gas direct benut wordt in de staalindustrie. Het project bevindt zich in een opstartfase.

- In Zweden is een succesvol demonstratieproject uitgevoerd waarbij black liquor werd omgezet in methanol/DME. De vergasser is een zuurstof geblazen, entrained flow vergasser waarbij de methaanconcentratie in het gas laag is. Drijvende kracht achter dit initiatief was Chemrec. Momenteel is de installatie buiten bedrijf, maar er schijnt interesse te zijn de installatie opnieuw in gebruik te nemen. Productie van SNG lijkt daar echter niet de meest logische optie.

2.3.5 Samenvattend

- De enige installatie wereldwijd waar op industriële schaal SNG uit biomassa is gemaakt betreft de GoBiGas installatie in Zweden.
- Het is gebaseerd op een indirecte vergasser ("Güssing"); Er is ruim ervaring met dit type vergasser op industriële schaal voor WKK toepassing (> 200.000 uren operatie); In alle gevallen is houtachtige biomassa gebruikt als voeding.
- Op basis van beschikbare informatie (waar minimaal een gedegen engineering studie aan ten grondslag ligt):
 - Beoogd of verwacht rendement: 60 – 65%. SNG productie is ca. 300 Nm³/ton biomassa.
 - Minimum schaal 100 MW SNG mogelijk zelfs 200 MW; de biomassa behoefte is 300 – 600 kton/jaar per installatie.
 - Specifieke investering: 2-3 M€/MW_{SNG}: een 100 MW installatie vergt een investering van zo'n 300 M€, een 200 MW installatie zo'n 450 – 500 M€
- SNG is één van de mogelijke producten, maar alternatieven zijn o.a. FT, methanol, DME. Keuze wordt vooral bepaald door lokale marktomstandigheden (afzet product en incentives).
- Het opstarten van een nieuwe technologie en bereiken van ontwerpcapaciteit en 24/7 operatie kost typisch 2-4 jaar.

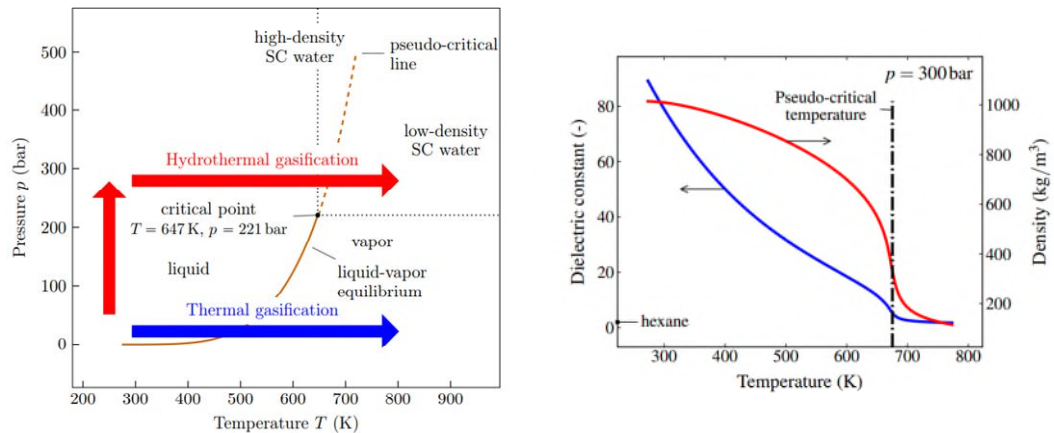
3. GROEN GAS DOOR VERGASSING IN SUPERKRITIEK WATER

3.1 Vergassing in superkritiek water voor opwekking groen gas in Nederland

Tot een zekere combinatie van druk en temperatuur laten materialen als water een duidelijke faseovergangen zien van bijvoorbeeld vast naar vloeistof, en vervolgens naar gas. Deze faseovergangen vergen energie, en in de regel zijn de fysische en chemische eigenschappen tussen de verschillende fasen sterk verschillend. Voor vloeistof – gas overgangen veranderen met name de dichtheden, viscositeit, oplosbaarheden van as/zout en de polariteit.

De overgangen van gas naar vloeistof vinden bij hogere druk bij hogere temperaturen plaats, echter worden de verschillen in deze parameters tussen vloeistof en gas kleiner en neemt ook de energie benodigd voor de faseovergang af. Bij het zogenaamde kritieke punt - voor water 374 °C en 221 bar - is er geen onderscheid meer tussen de beide fasen en is er geen sprake meer van een duidelijke overgang. (zie Figuur A) Er is geen onderscheid meer tussen vloeistof en gas. Een groot voordeel van deze technologie is dat ingaande koude waterige, vloeibare stromen efficiënt moeten kunnen worden warmte-gewisseld met warmere uitgaande stromen. Natte stromen, veelal het geval voor biomassastromen als glycerine, vinasse, molasse en slib kunnen zo worden verwerkt - bij hoge drukken/temperaturen - zonder dat de voeding eerst gedroogd moet worden waarbij de warmte veelal verloren gaat.

Rond dit kritieke punt zijn sommige karakteristieken van water bijzonder: de polaire eigenschappen van water bijvoorbeeld, waardoor apolaire verbindingen goed oplosbaar zijn. Polaire componenten - waaronder zouten - zullen neerslaan. Deze veranderde eigenschappen zorgen ervoor dat het water reageert met organische componenten. Dit heeft onderzoek gerechtigd naar enerzijds het vervloeien van vaste biomassa – hier aangeduid als ‘hydrothermale liquefactie’ of HTL – en het vergassen ervan de biomassa – hier beschreven onder ‘superkritieke vergassing of SWG’. In dit verslag is het vergassen van organische componenten van belang, en dan met name uitgaande van natte biomassa, met de mogelijkheid om de verkregen gassen om te zetten in methaan (aangeduid als ‘SNG’).



Figuur 19: Overview en karakteristieken van water als functie van druk en temperatuur.²⁵

Het onderhavige project is in zeker opzicht een update op een eerder review uit 2003, waarin de historie van SWG en productie van productie van groen gas (SNG), SNG/H₂ mengsels, basis chemicaliën en puur H₂ daaruit in details is samengevat.²⁶

3.2 Voordelen vergassen in superkritisch water

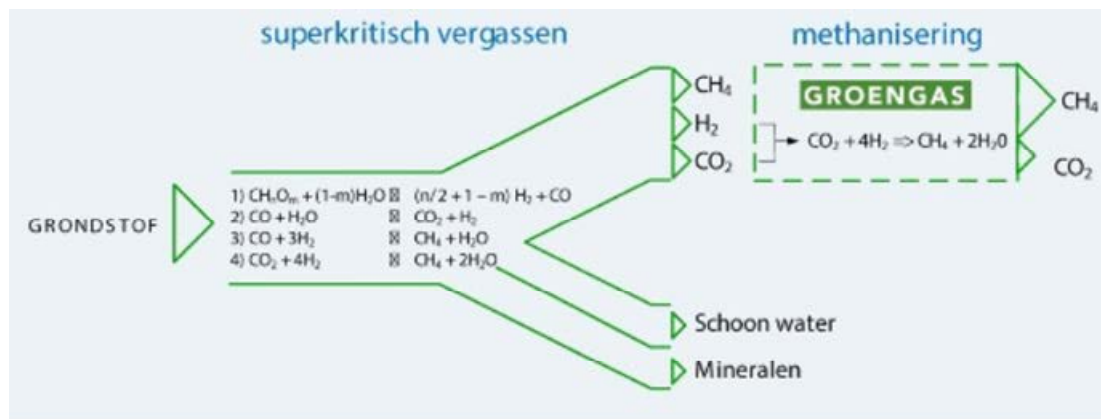
In theorie heeft vergassen van waterige – as bevattende – koolstof bevattende stromen in superkritiek water een aantal specifieke voordelen:

- Doordat het water zich in een superkritieke fase bevindt op een hoog temperatuurniveau kan de warmte in het ‘schone’ water grotendeels teruggewonnen worden middels warmte wisseling met koude inkomende voeding. Dit is in tegenstelling tot atmosferisch drogen waar de benodigde warmte meer is dan de energetisch waarde van de voeding. De warmte benodigd voor het verdampen van water kan hier niet eenvoudig worden teruggewonnen. De potentieel gunstiger energiebalans voor SWG is echter sterk afhankelijk van het droge stofgehalte in de voeding, de aanwezigheid van zouten, het type zouten en de keuze van zoutafscheiding, en als gevolg een zeer goede warmtewisseling.

²⁵ <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/270697>

²⁶ Vergassing van natte biomassa/reststromen in superkritiek water (SCWG), voor de productie van groen gas (SNG), SNG/H₂ mengsels, basis chemicaliën en puur H₂, BSE-2003 Ondersteuning Transitie-Coalities Projectnummer: 5005-03-20-01-040 K. Hemmes L. van de Beld (BTG, Biomass Technology Group BV) S.R.A. Kersten (Universiteit Twente)

- Door de aanwezigheid van de as/zout en het agressieve karakter van water onder deze condities, kan water in de reactie reageren met de bij de reactieconditie gevormde gedefragmenteerde koolstofmoleculen. In het ideale geval is de overall reactievergelijking te benoemen als CH_2O (biomassa) + $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{CH}_4$ (Figuur 20).



Figuur 20: Overall proces schema SWG naar methaan.

In de procesvoering zijn diverse variaties mogelijk. Figuur C geeft een tweetal schema's voor superkritisch vergassen. In hoofdlijnen kunnen de volgende processtappen worden herkend:

1. Drukverhoging: de voeding wordt met een pomp op druk gebracht. Deze stap vereist mogelijk nog een voorbehandeling van de voeding, bijvoorbeeld vermalen, oplossen of emulsificeren (bijvoorbeeld als slurry) of anderszins. Doel van deze voorstap is te voorkomen dat grotere deeltjes of vezelachtige materialen zorgen voor verstoppingen.
2. Verwarmen en koelen: als gevolg van het gebruik van natte reststromen bij hoge temperaturen is efficiënte warmte-integratie in het proces essentieel. Een onderdeel daarvan is in de regel de warmtewisseling tussen de ingaande koude voeding en de warmere uitgaande stroom. Vaak lijkt het dat een externe energiebron (verhitting middel aardgas, rookgas, en/of elektriciteit) vereist zal zijn om de uiteindelijke vergassingstemperatuur te bereiken.
3. Reactor: bij voldoende verblijftijd (orde grootte enkele minuten) en temperaturen (typisch $> 650\text{ }^{\circ}\text{C}$) wordt een voldoende hoge conversie bereikt. Het Zwitserse ETH, kiest ervoor de bedoelde methanisering te laten plaatsvinden in de SWG reactor door er een katalysator in te plaatsen.
4. Gasscheiding: Na koeling en zo mogelijk door een drukaflaat, kan het geproduceerde gas worden afgescheiden. Als optie kan de druk aflaat op meerdere niveaus plaatsvinden om gas van de juiste kwaliteit te kunnen produceren.
5. Conversie van het geproduceerde SWG-product naar een mengsel van methaan en bijproducten.
6. Scheiding van ruwe methaan en opwerking naar SNG.
7. Diverse reinigings- en verwerkingsstappen voor de bijproducten.

Afhankelijk van het type voeding – in de regel meer regel dan uitzondering – is een essentieel onderdeel van het proces de manier waarop met de verontreinigingen wordt omgegaan. Rondom het superkritisch punt van water zullen zouten (in glycerine, vinasse, slib e.d.) niet (meer) oplosbaar zijn in water, en deze worden afgezet in de reactoren en buizen als er geen maatregelen worden genomen. Er kan ervoor worden gekozen om de zouten/as rond dit punt te laten neerslaan om verstoppingen en corrosie door het zout te voorkomen, of om de zouten en assen pas na de vergassing af te scheiden hetgeen kan leiden tot een hogere conversie, aangezien de zouten een katalytisch effect kunnen hebben in de reactor. Een tweede variatie is de keuze of de methanisering plaatsvindt *ex-situ* of *in-situ*, ofwel methanisering van het syngas nadat deze is gekoeld en vervolgens gereinigd of dat de methanisering plaatsvindt in de superkritische conversiereactor. Vanuit een risicomijdend perspectief lijkt de keuze voor *ex-situ* gerechtvaardigd (met name risicospreiding ten aanzien van katalysatoren en proces condities), vanuit een economisch perspectief lijkt de *in-situ* optie voordeliger (potentieel lagere reactortemperaturen, hogere opbrengsten, en lagere CAPEX/OPEX). Andere voordeel van de *in-situ* methanisering is dat de warmte die vrijkomt bij het vormen van methaan zeer efficiënt kan worden benut in het proces.

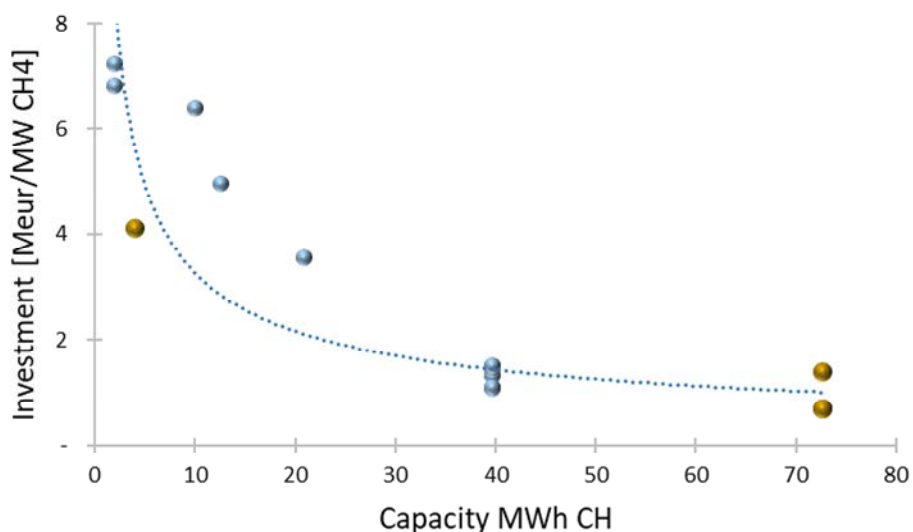
Diverse variabelen in het proces – in diverse gevallen een combinatie ervan – bepalen de potentie van het proces. Een groot aantal van deze variabelen zijn in de meeste van de Nederlandse clusters nog niet volledig vastgelegd, en waren of zijn nog onderdeel van langere termijn onderzoeksprojecten. Deze variabelen betreffen in eerste aanleg:

- Type voeding, en flexibiliteit van voeding;
- Fractie droge stap;
- Stadia van en typen warmtewisselingen;
- Tussenschappen /reactoren/locaties voor o.a. verwijdering van verontreinigingen (met name zouten);
- Druk/temperatuur combinatie in reactor;
- Al dan geen katalysatoren (anders dan zouten en as) in het reactie gedeelte
- Verblijftijd in reactor (volume);
- Druk van de gas afscheiding;
- Recycling van product water en zo mogelijk van product gassen;
- Kwaliteit van afvalwater, in relatie tot conversie van de voeding naar bruikbaar gas;
- Druk en samenstelling van het uiteindelijke product gas en verder opwerking;
- Procesomstandigheden en type reactoren voor opwerking naar SNG;
- Finishingstap van het SNG voor daadwerkelijke eindtoepassing.

Als voordeel wordt genoemd is dat deze techniek op Kleinere RWZI schaal kan worden gerealiseerd.²⁷ Argumenten hiervoor ontbreken echter, en het sterk chemisch technologische karakter van een dergelijke installatie strookt bijvoorbeeld niet geheel met het karakter van een RWZI.

Op hoofdlijnen bevestigt onderzoek dat de chemische energie in zuiveringsslib met deze techniek met een hoog rendement kan worden omgezet in een hoog-calorisch gas zonder dat droging van de voeding nodig is. Tegelijk laat het onderzoek zien dat er nog tal van zaken zijn die op pilot schaal verder onderzocht moeten worden voordat de stap naar een demonstratieschaal kan worden gemaakt

In voorgaande wordt melding gemaakt van relatief lage CAPEX en OPEX voor superkritisch vergassen. Dit voordeel kan op dit moment niet worden gestaafd aan praktijkgegevens. Geen van de geïnterviewden heeft hier data over verstrekt. In openbare literatuur worden investeringskosten afgeschat: een overzicht is samengevat door Chen et al (2020)²⁸. De conclusie daaruit is uiteraard dat investeringen sterk afhankelijk zijn van de schaal van operatie. Dit is verduidelijkt in Figuur 22 waar de specifieke investeringen in EUR per ton droge stof verwerkt per dag zijn uitgezet tegen de schaal van operatie. Te weinig data zijn beschikbaar over de operationele kosten om daar conclusies uit te kunnen trekken.



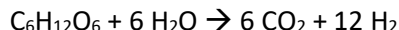
Figuur 22: Specifieke investeringen in EUR/MWCH₄ geïnstalleerd versus de schaal van operatie MW CH₄. Data zijn samengevat uit Chen et al (2020; blauw) en Hemmes et al (2003 – geel). Aangenomen is dat de opbrengst aan methaan per ton DS (as vrij) 20% is voor suikerige stromen en 25% voor voedingen met een hoog lignine gehalte^{27, 28 29}.

²⁷ <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202016/STOWA%202016-16.pdf>

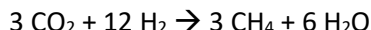
²⁸ <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113497>

²⁹ Vergassing van natte biomassa/reststromen in superkriek water (SCWG), voor de productie van groen gas (SNG), SNG/H₂ mengsels, basis chemicaliën en puur H₂, BSE-2003 Ondersteuning Transitie-Coalities Projectnummer: 5005-03-20-01-040 K. Hemmes L. van de Beld (BTG, Biomass Technology Group BV) S.R.A. Kersten (Universiteit Twente)

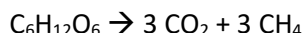
Voor een overall massabalans kan theoretisch in eerste aanleg worden uitgegaan van de conversie van glucose:



Per kg droge stof (in case glucose) wordt zo 0.13 kg H₂ gemaakt. In geval methaan wordt gemaakt, is de waterstof (indien niet extern aangevoerd) gelimiteerd en zal een deel van de CO₂ niet worden omgezet. De balans voor de methanisering is als volgt:



Voor de overall balans:



In massa: per kg droge stof (in case glucose) wordt maximaal 0.25 kg CH₄ gemaakt (50% koolstof opbrengst). Door rendementsverliezen (waaronder lagere conversie; lagere opbrengst hogere koolwaterstoffen, evenwicht, hogere waarden voor de verhouding koolstof en waterstof in de voeding) zullen deze theoretische opbrengsten niet worden gehaald. In een experimenteel onderzoek van STOWA wordt voor 1000 kg/h input aan slib (aannemende 20% DS) 150 Nm³/h gas wordt gevormd, dat voor 1/3 uit methaan bestaat. Dit komt overeen met een methaan-opbrengst van ca. 150 - 175 kg CH₄/t_{DS}.³⁰

3.3 SWG in Nederland

Tabel 2: Overzicht van projecten met inbreng van Nederlandse partijen.

<i>Titel</i>	<i>Looptijd</i>	<i>NL-partijen</i>	<i>Reference</i>
Clean fuel gases from aqueous biomass	1997-1998	BTG, Sparqle	
Technische haalbaarheid superkritiek water vergassen	1999-2000	BTG, Sparqle, TNO-MEP, Promikron	
Technical feasibility of biomass gasification in a fluidized bed with	2000-2003	BTG, Universiteit Twente	
Biomass & waste conversion in supercritical water for the production of renewable hydrogen (Superhydrogen)	2001-2005	BTG, Universiteit Twente, Sparqle, TNO-MEP	
Hydrogen-rich gas from supercritical water gasification of wine grape residues and greenhouse rest biomass (Winegas)	2001-2004	Sparqle, BTG, Promikron, Compost. Bedrijf Z-Holland	EC-contract number ENK5-CT-2001-
Biologische waterstof II: gebruik bijproduct van biologische	2003-2007	A&F, WUR, TNO-MEP Sparqle e.a.	
Superschoon: conversie fossiele brandstoffen	2003-2004	TNO-MEP, Sparqle	

³⁰ STOWA 2018-33 supersludge.pdf

SuperDiesel: Ontwikkeling van een superkritische diesel reformer in een hybride brandstofcelsysteem	2003-2006	TNO-MEP, Koninklijke Marine, Sparqle, UT	
Productie van SNG/CNG via vergassing van natte biomassa in superkritiek	2003-2004	BTG, Cogas, DutCH4	
Bio-H2: evaluatie	2003	ECN	
Biocon: biomassa conversie-fundamenteel onderzoek		Universiteit Twente, Universiteit Delft,	
SNG produktie door middel van superkritische vergassing van biomassa	2003-2004	ECN, Universiteit Twente	BSE-2003. No. 5005-03-20-01-040 K
Superkritische vergassing van natte reststromen	2010-2014	Gensos, Univeriteit Delft	EOSLT10051
Gensos Biomassstromen	2014-2018	Antha van Hienen B.V., Gensos, Gensos B.V., Universiteit Delft	TKIG01041 Waddenfonds WF220986
COCOMINE 2		SCW systems	EFRO, Provincie Noord-Holland
MOSS Supercritical Aqueous Reforming of Moist Sewage Sludge a sustainable Energy Concept for Sewage Treatment Plants (STPs)	2011-2014	Aa en Maas, SPARQLE, Recycling Consult (coordinator), Maribor University, Feluwa Pumpen, Calleng.	Eurostars
SCARLET-PLUS Supercritical aqueous reforming (SCAR) of digestate and sewage sludge into green gas	2013-2017	SPARQLE, Recycling Consult (coordinator), Waterschap Aa en Maas, Fryslan, Hygear, UTwente, HAS Den Bosch, Jansen Wijhe, Buizer Advies, Urschel	TKIG01053

Op dit moment zijn in Nederland een viertal clusters van diverse partijen actief in de ontwikkeling van superkritisch vergassen. Verwijzingen naar de clusters worden in dit rapport gedaan door de hieronder als vetgedrukte referenties:

- Een cluster met als oorsprong Twente rond de eeuwwisseling, van waaruit de ontwikkeling is gestart van de Yellow Gas machine (**YGM**, www.yellowgasmachine.nl). Hierin was SPARQLE International van wijlen Prof. Penninger instrumentaal. Op dit moment werken drie partijen hierin actief aan SWG, Jansen Wijhe, Artifex Innovatie en Recycling Consult.

- Een cluster met als oorsprong Universiteit Delft, actief vanaf ca. 2010. Dit cluster, **Gensos** Beheer met daarin actief twee bedrijven (van resp. John Harinck en Gerton Smit) ontwikkelde een systeem om met name de zoutkristallisatie rond het kritisch punt te sturen.
- Een cluster met als middelpunt Brabant: in eerste instantie was hier procesontwikkelaar Procede BV uit Enschede actief om SWG uit te voeren op rioolslib in de jaren negentig. Vervolgens is dit concept opgepakt en verder ontwikkeld rondom een voormalig werknemer/eigenaar van Procede Biomass BV en nu ondergebracht in ProBiomass B.V, dat samen met STOWA, Gasterra, **Waterschap Aa en Maas**, waterschap De Dommel en Slibverwerking NoordBrabant de ontwikkeling heeft doorgezet (zie ook <http://www.probiomass.nl/>)
- Een cluster Noord-Holland/Groningen, te weten **SCW Systems**, gestart rondom ondernemer Gerard Essing (zie ook <http://www.scwsystems.com>).

De historie van de diverse clusters worden hieronder in meer details besproken.

3.4 Historisch perspectief SWG clusters in Nederland

Het cluster rondom de **YGM** Yellow Gas Machine heeft zijn oorsprong in onderzoek dat door wijlen Prof. Penninger, onder ander via zijn bedrijf Sparqle, is uitgevoerd. De relatief lange geschiedenis ervan vanaf 1994 omvat onderzoek tezamen met TNO binnen een Novem onderzoek, en later Universiteit Twente en BTG, het laatste gefinancierd door een Japanse onderzoeksbijdrage vanuit NEDO. Binnen dit kader is een eerste pilot plant geconstrueerd op de Universiteit Twente waarin schone glycerol is vergast. Op basis van de resultaten zijn vervolgens een serie projecten gelanceerd, waaronder *Scarlet* (AgentschapNL) en *Supermethanol* (EC).

In Scarlet (2004-2007; TNO, LTO, VVR, Urschel, Promikron, SPARQLE, Hexion, Atlas Copco, Stork Industry Services) was de intentie om organische reststromen uit de glastuinbouw te benutten voor de productie van waterstof (H₂) en koolzuur (CO₂). De waterstof is te gebruiken voor het opwekken van elektriciteit en warmte, en CO₂ voor de bemesting van de planten. Resultaten toonden aan dat > 70 % van de energie in de biomassa vrij komt als waterstof.

Supermethanol (2007-2011: BTG, Sparqle, Universiteit Groningen) toonde aan dat de hoge druk van de vergassing efficiënt kon worden aangewend voor de productie van methanol, maar dat slechts een deel van de koolstof in glycerol beschikbaar komt als methaan en niet naar methanol kan worden omgezet zonder dure vervolgstappen. Tevens leidt gebruik van ruwe glycerine snel tot verstoppingen ten gevolge van het afzetten van de daarin aanwezige zouten.

Vanaf 2012 is rondom Sparqle het concept van de YGM ontwikkeld. Resultaten van Scarlet, Supermethanol en andere zijn hierin vertaald naar een eerste pilot installatie met een capaciteit van 250 l/h (Scarlet Plus). In dit consortium is de doelstelling geweest om stromen als slib van waterschappen te vergassen, naast mest en digestaat van vergisting. In het concept van YGM worden zouten en minerale bestanddelen (incl. sulfaat, stikstof en fosfaat) niet afgescheiden maar door de installatie gevoerd. Het effluent bevat dan alle mineralen en zouten, al dan niet in opgeloste vorm. Een deel van de zouten slaat onvermijdelijk neer in de installatie, en moeten in-situ worden teruggewonnen.

Het consortium rond **Waterschap Aa en Maas** is begonnen in 2008 met als uitgangspunt dat efficiënte omzettingsprocessen van de voeding ertoe kunnen leiden dat waterzuiveringen energieneutraal kunnen worden bedreven. Een eerste studie naar superkritische vergassing liet zien dat er bij een typische zuivering van 100.000 vervuilingseenheden (VE) ca. 1,6 MW aan chemische energie binnenkomt met het influent, waarvan ca 1 MW weer wordt afgevoerd met het slib. Daaropvolgend is in 2010 op initiatief van Waterschap Aa en Maas, slibverwerker SNB en onderzoeksbureau Procede een haalbaarheidsstudie uitgevoerd naar de status en potentieel van superkritische vergassing van zuiveringsslib. Na een positief advies is een volgende stap gezet en is door STOWA besloten om praktisch onderzoek te laten uitvoeren naar het superkritisch vergassen van slib. Het concept is verder getrokken door een van de initiatiefnemer, Jaap Koppejan, in eerste instantie via Procede Biomassa, en later via zijn eigen firma ProBiomass B.V. Financiering is verkregen in het kader van het project Supersludge (STOWA) om het superkritisch vergassingsproces te ontwikkelen voor zuiveringsslib, in een consortium met waterschap Aa en Maas, waterschap De Dommel, Slibverwerking Noord-Brabant en Electron Thermal Process Equipment B.V. Een detail ontwerp gemaakt voor een demonstratie installatie met een capaciteit van 1000 l/h, op basis van resultaten verkregen uit een kleinere eenheid (ca. 200 l/h) en van proeven uitgevoerd bij het Duitse Karlsruher Institut für Technologie.

Het van oorsprong Delftse **Gensos Holding B.V.**, een samenwerkingsverband tussen de bedrijven Harinck Beheer B.V. (eigenaar John Harinck) en K.G. Smit Beheer B.V (eigenaar Gerton Smit) werkt sinds 2010 aan een concept voor superkritisch vergassen. Uitgaande van een experimenteel georiënteerd afstudeerwerk rondom superkritisch vergassen richt Gensos zich op het gebruik van een wervelbed systeem om daar rond het kritisch punt van water de afzetting en verwijdering van zouten te sturen en controleren. Als bijkomstig positief aspect zorgt het wervelbed voor een hoge warmteoverdracht. Het zout en as worden na de vergassing afgescheiden. In 2010 is dit principe uitgetest in een “proof of principle”-opstelling met een capaciteit van 100 l/h, en in 2015 is een pilot installatie gebouwd, deels in werking gesteld (500 l/h). Voedingen betreffen mede zuiveringsslib van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.

Het laatste consortium betreft **SCW Systems B.V.** Instrumentaal in dit bedrijf zijn Gerard Essing en Douglas Hendry, welke beiden rond 2013 een samenwerking zijn aangegaan na de promotie van Hendry aan de universiteit van Missouri op het gebied van vergassing in superkritisch water. Een eerste pilot plant is gebouwd in Alkmaar, waarin in eerste instantie

met name is gekeken naar glycerol/glycerine als voeding. Op basis van de resultaten is de stap naar opschaling gezet, samen met o.a. Gasunie New Energy.

3.5 State of the Art SWG clusters in Nederland

3.5.1 YGM

In samenwerking met Sparqle is eind jaren negentig een eerste pilot plant gebouwd op de Universiteit Twente waarin vervolgens schone glycerol is vergast. Op basis van de resultaten zijn vervolgens een serie projecten gelanceerd, waaronder *Scarlet* (AgentschapNL), *Winegas* (EU) en *Supermethanol* (EC). Vanaf 2012 is het concept van de **YGM** ontwikkeld tot een eerste pilot installatie met een capaciteit van 200 l/h (Scarlet Plus). Doelstelling hiervan is om waterige biomassa stromen zoals slib van waterschappen, mest en digestaat te vergassen (300 bar en 600°C). De eindproducten zijn uit een gasmengsel (CO_2 , H_2 , CH_4 en CO), proceswater en fosfaatrijke mineralen. Aandacht is vooral op het voorbereiden van ingaande biomassastromen, en het ontwikkelen en testen van het verpompen van slurries, de doorontwikkeling van het omzettingsproces.

Er is ervoor gekozen om de installatie zoals die is gerealiseerd geschikt te laten zijn voor een variatie van natte biomassastromen. Het systeem zou schaalbaar zijn door meerdere identieke units parallel te schakelen. Een enkele installatie zou voldoende zijn om het slib van één waterzuivering te verwerken. Een keuze voor het gas, en optimale verwerking van het gas is hier een uitdaging.



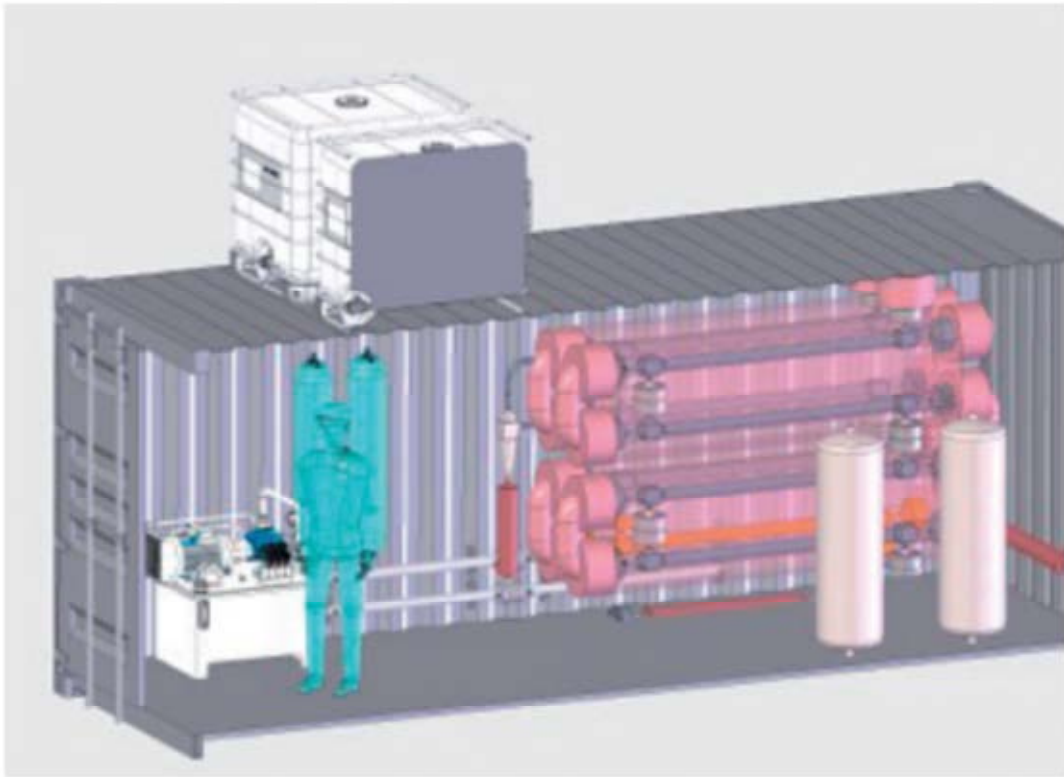
Figuur 23: YGM Machine.

De pilot installatie van YGM kan worden ingeschat op een TRL 4 tot 5 en gereed om getest te worden in een daartoe relevante omgeving. Fase TRL 4 lijkt gepasseerd te zijn, nadat het consortium de belangrijkste modificaties en verbeteringen heeft aangebracht (vernieuwing en aanpassing van proces apparatuur; instrumentatie en besturing; vervanging overbodige en verouderde apparatuur en onderdelen; vernieuwing software en hardware voor de procescontrole; aanbrengen sensoren en meetapparaten; aanpassing gas/vloeistof scheider). De installatie wordt op veelal op ad-hoc basis bedreven. Genoemd wordt dat mest, slib en digestaat uitvoerig zijn getest, en ook andere vuile stromen zijn getest zoals water van textielwasserijen. Helaas zijn gedetailleerde resultaten van experimenten niet openlijk gedeeld.

Realisatie van een grotere installatie met een capaciteit van 1 t/u vloeibare voeding wordt genoemd als de eerstvolgende stap. Specifieke elementen als ontwerptekeningen, P&IDs, voorbereidende HAZOP, etc. Getallen voor de CAPEX en OPEX zijn niet publiekelijk gedeeld.

3.5.2 Waterschap Aa en Maas

Het consortium rond **Waterschap Aa en Maas** wordt op dit moment geleid door Jaap Koppejan (ProBiomass B.V.). In het kader van Supersludge wordt het vergassingsproces ontwikkeld voor zuiveringsslib. Net als voor YGM is een eerste concept installatie in operatie op een schaal van ca. 200 L/u, met als vervolgstap een eenheid van eerste demo installatie met een capaciteit van 1000 L/u. Voordat de pilot plant is gebouwd heeft het consortium rond Waterschap Aa en Maas een divers aantal proeven kunnen uitvoeren bij het Duitse Institut für Katalyseforschung und –technologie (IKFT) van het Karlsruher Institut für Technologie (KIT). KIT is sinds 2003 actief in SWG, en beschikt over een relatief grote pilotinstallatie ('VERENA') met een capaciteit van 50-100 l/h en daarnaast een drietal bench-scale opstellingen met een capaciteit van 100-200 ml/h. Eerst zijn op bench scale (capaciteit ca. 200 ml/h) zeventien proeven uitgevoerd om informatie te krijgen over de vergassing van slib en de invloed van verschillende procesparameters. Na deze eerste fase zijn op pilotschaal (capaciteit 50 l/h) twee proeven uitgevoerd met zuiveringsslib.



Figuur 24: Ontwerp pilot plant Waterschap Aa en Maas.



Figuur 25: Foto pilot plant Waterschap Aa en Maas.

Op basis van deze testen werd besloten is om eerst een pilotinstallatie op kleinere schaal te ontwerpen (Supersludge 1A), te bouwen (Supersludge1B) en te bedienen (Supersludge 2B), ter validatie van de ontwikkelde concepten. In deze R&D pilot plant (ca. 150 L/u, ca. 1 MW met ca. 10-20% droge stof) is gezocht naar maximale warmte integratie, en vindt zout- en as-afscheiding plaats voor de reactor. Details van de pilot plant zijn niet publiekelijk bekend. Duidelijk is wel dat zout en as afscheiding plaatsvinden voor de reactor, en wel rondom het superkritisch punt van water (374 °C, 221 bar) waar de zouten onoplosbaar zijn.

De hoop is hierbij dat een zoutconcentraat ‘brine’ wordt gevormd welke relatief makkelijk uit het systeem kan worden afgevangen. Een substantiële fractie van de aanwezige zouten werd in de KIT testen niet afgescheiden, waardoor afzettingen en corrosie optraden in downstream procesunits. Tegelijkertijd werd met de aanwezige cycloon ook organische stof afgescheiden met een lagere gasopbrengst als gevolg. In het ontwerp van Waterschap Aa en Maas zijn voorzieningen aangebracht om ontstane neerslagen te kunnen verwijderen. Een speciaal ontworpen meet- en regelsysteem is bedoeld om de zoutafscheiding te optimaliseren, waardoor verlies aan organisch materiaal via de zoutfractie beperkt wordt. Afscheiding van anorganische stof uit het systeem vindt bovendien plaats bij minimale drukverschillen om erosie tegen te gaan.

Op dit moment operationeel gemaakt en ad hoc bedreven op slib, in totaal ‘enkele honderden uren’. Ook dit systeem lijkt zich te bevinden op TRL 4 tot 5 niveau. Aanpassingen en verbeteringen aan de eenheid worden op dagelijkse basis uitgevoerd. Genoemd wordt een energetische efficiency van ca. 80% in het geproduceerde gas in relatie tot de energetisch input in de voeding. Details over de elektriciteitsbehoefte – met name de verhittingsstap naar reactor condities - zijn niet bekend.

De beoogde toepassing van het geproduceerde gas leek vooraleerst als voeding voor WKK, maar ook de toepassing als voeding voor biologische conversie naar groen methaangas wordt nu serieus onderzocht. Genoemd wordt dat dit conversiesysteem gedurende honderden uren naar tevredenheid heeft geopereerd – op relatief kleine schaal - op een gesimuleerd modelgas.

Het consortium hoopt begin 2021 klaar te zijn met een grotere aanpassing in het systeem en in 2021 het Supersludge 2A project te kunnen afronden. Een eerste blauwdruk voor een 1 t/u installatie (ca. 10 MW) is gereed, en de hoop is om in 2022 de bouw te starten van de grotere eenheid, en eerste experimenten te kunnen starten in 2023 (Supersludge 2B).

Onder auspiciën van het cluster Waterschap Aa en Maas zijn investeringskosten afgeschat. De totale investeringskosten worden geschat tussen 5 en 6 MEUR. De investeringskosten voor de demonstratieplant zijn verder met behulp van schaalvergrotingsregels (en uitgaande van een commercieel - TRL 9 - bewezen installatie). De totale investeringskosten voor deze capaciteiten van 1.5, 5 en 15 t/uur bedragen 7 tot 21 miljoen Euro.

3.5.3 Gensos

Gensos Holding B.V. werkt sinds 2010 aan een gepatenteerd wervelbed concept voor superkritisch vergassen. Vanaf 2010 is het principe verder ontwikkeld in het door RVO gesponsorde programma EOSLT10051 (2010-2014). Hierin is een “proof of principle”-opstelling gebouwd met een capaciteit van max. 50 l/h. Openbare informatie betreffende het proces in de PoP is beschikbaar in een Delfts proefschrift³¹. Als voeding in de proof of

³¹ <https://doi.org/10.4233/uuid:99a7d296-3e4e-4c9c-a01b-41d2ba2863a9>

pinciple installatie is zetmeel gebruikt in lage concentratie (< 5 wt%), voor een max. bedrijfsduur van iets meer dan 2 uur. De opstelling bestaat uit een voedingssectie, een 55 m lange tegenstrooms warmtewisseling, een 4 m lange verhitte gebruikmakend van een propaanbrander, het eigenlijke wervelbed reactorsysteem (OD/ID x L = 25/17 mm x 1.1.m) en een gas/vloeistofafscheider op omgevingsdruk.

In 2012 is een patent aanvraag ingediend, hetgeen is gehonoreerd.



Figuur 26: Foto pilot plant Gensos Holding.

In 2012 is subsidie verleend binnen TKIG01041 en het Waddenfonds voor de bouw van een pilot installatie (250 L/u) gebouwd. Volgens een van de geïnterviewde personen heeft de pilot plant 273 uren gedraaid op natte organische reststromen, waarvan totaal 105 uur op mineraalrijke natte organische reststromen als GFT digestaat. De beoogde toepassing van het geproduceerde gas lijkt groen gas. Openbare informatie over dit project is niet verder beschikbaar. Door ontwikkelaars wordt aangegeven dat voedingen als glycerol, zetmeel en organische natte fractie van HVC, zijn getest. Een orde grootte aan draaiuren is niet genoemd.

CAPEX noch OPEX getallen zijn publiekelijk bekend.

Een bestuurlijk conflict over medewerking aan de subsidie-eindverantwoording, toegang tot administratie en belangenverstrengeling met het constructiebedrijf heeft geleid tot een terugvordering van de subsidie. Dat veroorzaakte uiteindelijk mede het faillissement van Gensos B.V. eind 2018.³² Afhandeling van de boedel is nog niet voltooid.³³ Smit is gelieerd aan AVH Machinebouw B.V. (en deze weer gelieerd aan Smitac B.V. en Sejrol B.V.), waar de beide pilot plants zijn gebouwd/ bedreven. Er zijn geen activiteiten meer bekend van Smit op

³² Een complicatie genoemd bij de ontwikkeling van de technologie is dat Gensos de constructie van de eenheid heeft uitbesteed aan AVH Machinebouw B.V., gelieerd aan Smitac B.V., met als bestuurder eerst K.G. Smit Beheer B.V. en later Sejrol B.V. (beiden gelieerd aan Gerton Smit).

³³ <https://www.faillissementsdossier.nl/nl/faillissement/1449218/gensos-b-v.aspx>

gebied van superkritisch vergassen. Harinck heeft met andere procestechnologen ontwikkelingsactiviteiten op het gebied van superkritisch vergassing ondergebracht bij het in Delft gevestigde bedrijf Bright Circular.³⁴

3.5.4 SCW systems

Het vierde consortium actief op SWG betreft **SCW Systems B.V.** Instrumentaal in dit bedrijf zijn Gerard Essing en Douglas Hendry, welke beiden rond 2013 een samenwerking zijn aangegaan. Hendry is gepromoveerd in dit gebied aan de The University of Missouri-Columbia. Details van het proces, het ontwerp en condities zijn niet of nauwelijks in de openbare literatuur bekend gemaakt en een deel van de informatie hieronder is dan ook verkregen uit interviews.

Een eerste kleine pilot plant is gebouwd in Alkmaar rond 2014, waarin de nadruk in eerste instantie lag op glycerol/glycerine als voeding. De capaciteit was rond 100 L/h (10% glycerine). Vergassing van de voeding vindt plaats in een reactie systeem, na intensieve warmtewisseling met uitgaand gas. Genoemd wordt dat voor de pilot plant eerste instantie althans de temperatuur in de reactor wordt verkregen door elektrische heaters. Essentieel onderdeel van het systeem is de vervuiling van de installatie, mogelijk als gevolg van zouten en koolafzettingen. SCW Systems meent daar oplossingen voor te hebben gevonden in de pilot plant, en patentaanvragen zijn ingediend maar nog niet gepubliceerd.



Figuur 27: Superkritisch vergassen SCW Systems³⁵

Op basis van de resultaten is de stap naar opschaling gezet, samen met o.a. Gasunie New Energy. Genoemd wordt een pilot plant van 2.5 MW (2 t /u; 25% DS, op basis van glycerol), waarin volgens geïnterviewden een breed scala aan voedingen is getest. Een methaniseringsreactor op lager druk niveau (genoemd wordt een druk van 90 bar) is nageschakeld, alhoewel informatie op de website van SCW systems anders doet vermoeden

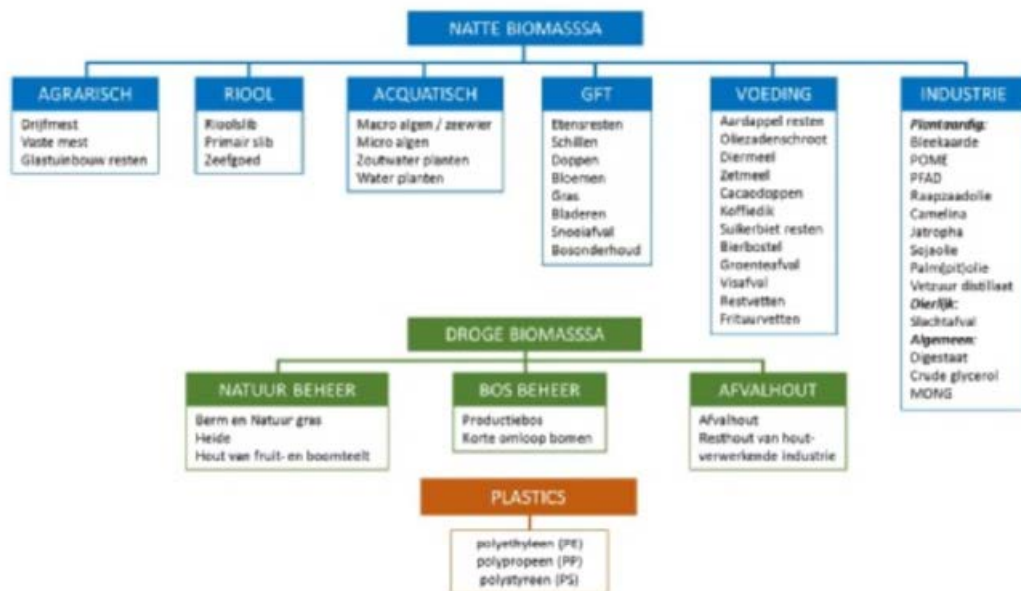
³⁴ <https://www.bright-circular.com/>

³⁵ <http://www.scwsystems.com/Technologie.html>

aangezien naast methaan ook nog steeds hoge concentraties CO₂ en H₂ als eindproduct worden genoemd (met CO₂ als mogelijke bron voor fixatie voor mineralen en cement). Genoemd wordt dat heel veel aandacht en resources zijn besteed geweest op het vlak van de nabehandeling en uiteindelijk op specificatie brengen van het geproduceerde groene aardgas. Het systeem bevindt zich volgens de ontwikkelaars op een TRL 5 tot 6, hetgeen realistisch lijkt.

Een stap naar TRL 6 tot 7 of hoger lijkt echter wel snel gemaakt: de pilot moet in juli 2021 uitmonden in een eerste demo installatie met een capaciteit van 20 MW, waarna op basis van 'scaling up by numbers' een vervolg wordt gegeven aan een 40 MW en vervolgens 100 MW installatie in Alkmaar. Een mogelijkheid voor een 350 MW installatie wordt genoemd voor Delfzijl, en een 400 MW installatie in Rotterdam.

Zowel schone als ruwe – as bevattende – glycerine worden genoemd als geteste voeding. Daarnaast wordt een heel breed scala aan voeding gepresenteerd en wordt aangegeven dat dat de technologie heel veel verschillende grondstoffen kan verwerken (Figuur 28) en dat deze grondstoffen naar hartenlust kunnen worden gemixt. Het is onduidelijk in hoeverre deze beide veronderstellingen realistisch zijn, dan wel heel erg opportunistisch.



Figuur 28: Voedingen genoemd voor SCW systems.



Figuur 29: Impressie SCW systems.

Kentallen voor CAPEX en OPEX zijn niet publiekelijk bekend gemaakt.

3.5.5 Samenvattend

In eerste aanleg lijkt het erop dat veel activiteit binnen Nederland gaande is op SWG. Dit is voor een deel schijn. Van de vier initiatieven is er in een- Gensos - een zodanig conflict ontstaan dat enig serieuze vooruitgang op korte termijn richting TRL 5 tot 6 niet realistisch is. Twee ander clusters blijven ogenschijnlijk al lange tijd op een TRL 4 tot 5 hangen (YGM en waterschap Aa en Maas), en serieuze doorbraken lijken daar nodig om de stap te zetten naar TRL 5 tot 6. Voor YGM is het onduidelijk in hoeverre de organisatie voldoende robuust is en er voldoende (financiële) middelen beschikbaar zijn. Een specifieke voeding en eindproduct is niet benoemd en nog variabel. Er zijn bijvoorbeeld een tal van voedingen getest, onder specifieke strategie daarbij te noemen, waaronder water vervuild met pesticiden en medicijnresten, rioolslib, mest en digestaat). Toepassingen zijn gezien in de verbranding voor de opwekking van warmte of elektrische stroom, maar ook dus groen methaan. De technologieontwikkeling lijkt doel, en geen middel. Ander probleem is dat gedurende de ontwikkelingsfase de grondlegger en trekker van YGM's ontwikkeling, prof. Penninger, overleden. Ondanks de doorstart als de YGM Group BV lijkt de slagkracht van deze organisatie (nog) niet voldoende om de ontwikkeling een vereiste impuls te kunnen geven;

Waterschap Aa en Maas lijkt te worstelen met het operationeel krijgen gedurende langere tijd van de installatie. Ook voor dit cluster is het niet goed duidelijk hoe de organisatie om deze ontwikkeling heen daadwerkelijk vorm moet gaan krijgen, en was het vanaf begin niet geheel duidelijk welk eindproduct uiteindelijk afgeleverd moest gaan worden. Ook hier, maar weliswaar in mindere mate vergeleken met YGM, is technologieontwikkeling eerder doel dan middel, maar is dit beter gerechtvaardigd aangezien de waterschappen als initiatiefnemer juist geïnteresseerd zijn in de relatie technologie en 'eigen' voeding en eindproduct.

Met betrekking tot Gensos, YGM en Waterschap Aa en Maas zijn twee andere parallellen te ontdekken:

- De door de ontwikkelaars genoemde daadwerkelijke operatie-uren van de installaties zijn in de orde grootte van enkele honderden uren in totaal, waarna experimenten werden stopgezet om diverse redenen. De stadia 'Proof of concept' (TRL 3) en 'small scale prototype built in laboratory environment' (TRL 4) lijken daarmee behaald. Het stadium TRL 5 (Large scale prototype in intended environment' wordt net aangetikt.
- Partijen zien de urgentie ontstaan om gezamenlijk de belangrijkste knelpunten van SWG te willen oppakken. Aangegeven wordt dat met meer kennisuitwisseling en samenwerking tussen ontwikkelaars en experts uit aanverwante disciplines de technische en andere barrières sneller kunnen worden opgelost. Tijdens de interviews is sterk de indruk gewekt dat er regelmatig gesprekken tussen de partijen zijn (geweest), met als belangrijkste gedeelde doelstelling om uit de TRL 4 tot 5 impasse te komen. Dit lijkt een gunstige ontwikkeling, gezien de huidige 'stilstand van zaken'.

Duidelijk is dat het voor deze partijen heel lastig is op dit moment de vereiste investeringen in zowel de pilot installatie (onder andere voor langdurige operatie, voor verbeteringen en voor vervangingsonderdelen) als voor de bouw van een grotere 1 t/u te realiseren. Vertragingen en moeilijkheden in deze zijn terug te voeren op de nog relatieve onbekendheid van de technologie bij mogelijke investeerders, maar ook omdat het eindproduct van SWG als zodanig niet per se een product is dat in de huidige infrastructuur kan worden afgezet. Het gevormde synthesesegas vereist nog nadere opwerkingen, hetgeen nog niet duidelijk is gedefinieerd.

De situatie rond het cluster om SCW systems is daarin degelijk anders. De visie en doelstelling zijn het produceren van groen gas, en technologieontwikkeling is daarin een middel en geen doel. Dit zou mede veroorzaakt kunnen zijn door de inbreng van GasUnie New Energy. Een opportunistisch doch niet onrealistisch beeld wordt geschapen van de mogelijkheden van SWG naar methaan. De organisatie lijkt heel volwassen, en geschikt om ver te komen. Een aantal van enkele honderden uren aaneengesloten draaiuren wordt genoemd, echter zonder aan te geven op welke voeding.

Toch zullen er diverse hordes moeten worden genomen om succesvol te gaan worden. De veronderstelling dat al deze hordes kunnen worden genomen in afzienbare tijd is opportunistisch. Eigenlijk geldt dit voor alle clusters:

- Robuustheid van pompen, die zowel de vloeibare voedingen als glycerol naar hoge druk kunnen verpompen, maar met name de pompen voor de vaste stof slurries. Door geïnterviewden wordt gewag gemaakt van bestaande pompen, die naar tevredenheid werken, maar verder gezocht wordt naar een combinatie van een lager

energieverbruik, minderslijtage, en een lagere prijs. Duurzaamheid van dergelijke pompen is dan uiteraard nog de meest beslissende afweging.

- Door de noodzaak van warmtewisseling zullen enerzijds de rendementen van de wisseling zeer hoog moeten zijn (orde grootte 90+ % of meer van de warmte van het reactiewater moet worden teruggevoerd naar de voeding), en daarnaast de droge stof gehalte van de voeding zo'n 15 tot 20% moeten bedragen.³⁶ Op basis van openbare literatuur kan niet worden geconcludeerd dat aan een combinatie van deze twee lijkt te zijn voldaan aangetoond.
- Onvolledige conversie van de voeding, zoals weergegeven in werk van o.a. ETH en KIT, wat leidt tot (mogelijk vervelende) teer afzettingen, slechtere warmteoverdracht in de essentiële warmte-integratie, lagere opbrengsten aan gas (en dus methaan), en vervuild afvalwater.
- Na het deels terugwinnen van de warmte in het superkritische reactie water naar de voeding, zal een serieuze temperatuursprong, zeg van 350-400°C naar reactie condities 600-650°C, moeten worden gemaakt, waarvoor een externe verhittingsbron is vereist. Dit moet worden gedaan middels elektriciteit (zoals in de meeste pilot eenheden) of verbranding van methaan in demo eenheden. Het eigen energieverbruik kan aanzienlijk zijn.
- Volledige conversie van de koolstof in de voeding naar een bruikbaar gas equivalent (CO_x, methaan of een andere koolstof houdende verbinding) is niet vanzelfsprekend. Uiteraard afhankelijk van voeding, reactor ontwerp en procescondities, zijn conversies in de orde grootte van 60 - 70% niet ongebruikelijk, speciaal waar het complexe voedingen betreft.³⁷ Dit probleem vertaalt zich uiteraard naar andere, wellicht grotere en duurdere reactoren, teervorming. Koolvorming, blokkades in pijpen en reactoren, lagere opbrengsten, verontreinigde waterstromen, e.d.
- Tenslotte is daar de problematiek rondom de verontreinigen in de voedingen, die enerzijds de superkritische procesvoering nadelig kunnen beïnvloeden, maar daarnaast in de verdere opwerking zeer schadelijk kunnen zijn. Er lijken hiervoor niet direct een 'fit for all' oplossing te zijn, noch voor alle (typen) zouten, noch om aan te nemen dat een brede range aan voedingen kan worden benut. In geen van de interviews met de betreffende Nederlandse stakeholders wordt melding gemaakt van de bijzonderheden voor verschillende typen zouten, hetgeen de geloofwaardigheid van het ontwikkeld hebben van een robuuste techniek voor zoutafscheiding deels ondermijnt:
 - De technologie om te gaan met zouten en assen is een ware uitdaging. Enerzijds moet afscheiding zout/as: gepaard gaan met minimaal verlies aan organische grondstof (en zo mogelijk weinig water), ook omdat water en organisch materiaal in de rest fractie de afzet hiervan bemoeilijkt en kostbaarder maakt. Zwitsers onderzoek van de groep Vogel (ETH/PSI; sectie

³⁶ Yukananto, R. (2019). *Towards the utilization of wet biomass gasification in supercritical water: on the energy efficient and char formation*. University of Twente. <https://doi.org/10.3990/1.9789036547550>

³⁷ DOI 10.1007/s13399-017-0238-x

3.6.1) heeft intensief het gedrag van zouten onderzocht, en eigenlijk geconcludeerd dat robuuste technieken nodig zijn om het nadelig effect van deze problematiek te minimaliseren. Door alle partijen wordt genoemd dat het probleem ondervangen lijkt, in geval van Gensos door toepassing van wervelbedden voor de reactie, door YGM door de afzettingen te voorkomen en de zouten door het systeem te leiden, door waterschap Aa en Maas door de zouten af te scheiden voor de reactie. Het concept achter SCW systems voor verwijdering van de zouten is niet duidelijk, en er wordt verwezen naar een nog niet gepubliceerde patentaanvraag. In geen van de gevallen kon de oplossing, waarschijnlijk om redenen van IPR, worden gestaafd door onafhankelijke bronnen. In een lange reeks van experimenten van ETH/PSI (sectie 3.6.1) kan worden geconcludeerd dat verschillende zouten anders reageren. Meer specifiek, zouten van het type 1 efficiënt worden gescheiden en teruggewonnen uit de processtroom in het SWG-proces door het vormen van een pekkel, terwijl de zouten van type 2 een vast neerslag.

- Voor geen van de clusters is (publiekelijk) bekend wat de efficiency van afscheiden en verwijderen van verontreinigingen uit de voeding is, in relatie tot (positieve of nadelige) effecten ervan op de daaropvolgende synthese van eindproduct. Te denken valt aan stikstofoxiden, zwavel, alkali's en halogeen houdende verbindingen. Genoemd wordt dat concentraties aan andere schadelijke componenten zoals zware metalen, stof, en dioxines in het productgas, o.a. via de zoutfractie en het water, voldoende laag zijn om acceptabele emissies te krijgen. Zelfs nutriënten terugwinning als extra bron van inkomsten is voor de clusters een optie. Dit lijkt wensdenken. Voor geen van de sterkhouders is het duidelijk dat hier voldoende informatie over bekend is, noch op basis van welke voedingen.

3.6 Vergassing in superkritiek water voor opwekking groen gas buiten NL

3.6.1 Paul Scherrer Institute Zwitserland / ETH

Discontinuu vergassing van biomassa als hout, mest, of microalgen tot methaan (synthetisch aardgas, SNG) is met succes aangetoond door het Paul Scherrer instituut, en Vogel's groep in het bijzonder.

Een continu superkritisch vergassingsproces is ontwikkeld voor de productie van SNG. Dit proces omvat zoutscheidingsstap voor een katalytische reactor. Bovendien zorgt het verwijderen van potentiële katalysatorgifstoffen, zoals sulfaten, voor nuttige levensduur van de katalysator.

De zoutscheiding van het superkritische reactiemengsel is daarin duidelijk één van de belangrijkste stappen van het proces. De scheidingsprestaties van tal van biomassa relevante

zouten werd daartoe in details onderzocht, met als doel om de parameters te bepalen, waarvoor de zouten het best van het superkritische water kunnen worden gescheiden.

Een en ander is samengevat in een aantal proefschriften.^{38,39} De groep aan zouten wordt in deze geënclassificeerd als zouten van type 1 en type 2. Onder superkritische omstandigheden vormen oplossingen van een type 1 zout, zoals KNO_3 of K_3PO_4 , een vloeistof en een dampfase elk verzadigd met zout; oplossingen van een type 2 zout, zoals Na_2SO_4 of Na_2CO_3 , vormen een superkritische vloeistoffase en een vaste zoutfase. Voor beide zoutsoorten is de zoutoplosbaarheid van verdunde oplossingen sterk verminderd in de nabijheid van het (pseudo-) kritische punt.

In het huidige werk werden experimenten uitgevoerd met binaire (één zout opgelost in water) en ternaire (twee zouten opgelost in water) waterzoutmengsels, bij een systeemdruk van zo'n 300 bar.

In de meeste experimenten varieerde de vloeistoftemperatuur van het zout-afscheidervat stapsgewijs van onder- tot superkritische temperaturen. Zouten van type 1 kunnen worden gescheiden en teruggewonnen als geconcentreerde pekels uit het water nabij de superkritische toestand. Type 2 zouten echter werden wel afgescheiden van het superkritische water, maar niet teruggewonnen als geconcentreerde pekels, omdat dit type 2 zouten, vaak beschreven als "kleverig", neerslaan als vaste stoffen en hechten op de hete oppervlakken van de plant, wat uiteindelijk leidt tot blokkades.

Zoutscheiding en herstel van superkritisch water is niet alleen een fysiek proces, maar omvat ook chemische reacties zoals hydrolyse, condensatie of ontbinding. Dit is met name van cruciaal belang voor de terugwinning van ammoniumzouten, die ontleden tot gasvormige ammoniak, NH_3 en het overeenkomstige zuur van het respectieve anion. Dit zou leiden tot een verlies van ammoniak in de gasfase. Nitraatzouten daarentegen kunnen reageren met de organische stof of met de koolstofsteun van de katalysator. Dit zou leiden tot het verlies van nitraat als gasvormige stikstof, N_2 , en tot de vernietiging van een katalysator.

Aangezien biomassa of organische afvalstromen een verscheidenheid aan verschillende zouten bevatten, werden zoutscheidingsexperimenten van ternaire mengsels (twee zouten opgelost in water) uitgevoerd. Deze mengsels betroffen combinaties van type 1 – type 1, type 1 – type 2 en type 2 – type 2 zouten. De scheidingsprestaties van dergelijke mengsels werden sterk beïnvloed door de mogelijkheid van de permutatie van de ionen in de waterige oplossingen van deze mengsels. Bijvoorbeeld, een oplossing van de twee zouten type 2 Na_2CO_3 – K_2SO_4 kan ook een mengsel van een K_2CO_3 – Na_2SO_4 (type 1 – type 2) vormen in de buurt van het pseudo-kritieke punt. Dit leidde tot onverwachte scheidingsprestaties en tot preferentiële scheiding van één zout van het mengsel. Interessant is dat de scheiding en het herstel van een geconcentreerde pekels mogelijk was uit een mengsel van twee zouten van het type 2 (Na_2SO_4 – K_2SO_4) onder bepaalde omstandigheden. Voor dit specifieke mengsel

³⁸ <https://doi.org/10.3929/ethz-a-006212308>

³⁹ <https://doi.org/10.3929/ethz-a-010578835>

leidt een permutatie van de ionen niet tot een mengsel dat een ander zout dan type 2 bevat. Het is niet duidelijk of de mate van scheiding voor een specifiek zout- of zoutmengsel uitsluitend kan worden verklaard door het fasegedrag.

Een tweede deel van het werk werd de vergassing uitgevoerd met een gelijktijdige zoutverwijdering. Hiertoe werden waterige oplossingen van 20 wt.% glycerol met en zonder K_3PO_4 gevoed als modelbiomassa.

Het doel van deze studie was om de invloed van de glycerol (of de hydrothermale afbraakproducten) op de scheiding te bepalen, en de invloed ervan op de katalytische vergassing. Glycerol werd efficiënt vergast tot een methaanrijk gas (op of nabij evenwicht).

Er bleek daarnaast tevens dat in aanwezigheid van glycerol (of de hydrothermale afbraakproducten) een hogere temperatuur nodig was voor een efficiënte zoutscheiding: ongeveer 2/3 van het zout uit een zoutmengsel van 0,05 mol/kg K_3PO_4 kon als pekkel werd teruggewonnen bij 430 °C en 300 bar zonder glycerol, maar er werd geen zoutscheiding waargenomen in een mengsel van 20 wt.% glycerol onder verder identieke omstandigheden. Een hogere temperatuur in de afscheider (ca 470 °C) was daarvoor nodig. Dit werd toegeschreven aan de afnemende dichtheid van het gas-vloeistof mengsel als gevolg van zout gekatalyseerde vergassing bij hogere temperaturen.

De aanwezigheid van zouten in de reactor kunnen dan ook nog eens leiden tot een verschuiving in de gassamenstelling, bijvoorbeeld door fosfaten die hogere (C2-C4) koolwaterstoffen opleveren ten koste van methaan. De studie naar de continue vergassing werd voltooid door korte vergassingsexperimenten (duur ongeveer 6 uur) van ruwe glycerol, een bijproduct van de biodieselproductie, als een echte grondstof. Ruwe glycerol kon – in tegenstelling tot schone glycerine – niet volledig worden vergast. De lange keten vetzuren in de ruwe glycerol lijkt vrij stabiel te zijn onder deze omstandigheden. Deze vetzuren werden deels omgezet over de katalysator, maar de verblijftijd lijkt te kort voor het volledig vergassen van de resulterende lange keten alkanen. Bovendien konden de zouten niet worden verwijderd uit de ruwe glycerol in de zoutscheidingsstap. Mogelijk werd de zoutscheiding belemmerd door het complexe mengsel van verschillende biologische afbraakproducten van glycerol en vetzuren. Een progressieve katalysator de-activering werd waargenomen tijdens de vergassing van de ruwe glycerol.

Vervolgonderzoek liet zien dat ook reactor dimensies een groot effect hebben op de zoutafscheiding.⁴⁰ Bijvoorbeeld, het verhogen van de snelheid van de stroom en de vat diameter vermindert zout depositie, omdat hogere snelheden de zoutafzetting kunnen breken; ook grotere vattendiameters zouden gunstiger kunnen zijn. Dit lijkt overigens geen robuuste oplossing, maar artefacten. Voor type-2 zouten lijkt het zeer redelijk om aan te nemen dat een zekere mate van zoutdepositie altijd zal plaatsvinden. In commerciële

⁴⁰ <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000270697>

toepassingen moeten dan ook robuuste volgende methoden worden geïmplementeerd om het afgezette zout te verwijderen.

Opties lijken het injecteren van water om gedeponeerde zouten van de oppervlakken te wassen, of het toevoegen van schrapers of andere mechanische apparaten in de zoutafscheider om gedeponeerde zouten te verwijderen.

In experimenteel werk van ETH/PSI is ook digestaat getest – in batch en continu - voor de productie van methaan middel SWG.⁴¹ Diverse kleinere installaties zijn daarvoor gebouwd, op een schaal van ca. 1 kg/u vloeistof. Het proces bevat een superkritische zoutscheiding (pekkel), een ‘lage’ temperatuur katalytische vergassing en in-situ methanisering over ruthenium.

In continue experimenten bleef ongeveer 50% van de koolstof in het systeem achter als teer. Een homogene vaste cokes werd gevormd, vermoedelijk afkomstig van deze teer. Daarnaast bleef een groot deel van de zwavel achter in deze teren/kool. Bijzonder was de vinding dat bij hoge temperaturen meer teer- en dus coke vorming bleek op te treden.

Ontzouten werd weliswaar waargenomen in de zoutafscheider, maar veel zouten konden niet als geconcentreerde pekkel worden afgevangen. Opmerkelijk daarbij is dat relatief hoge temperaturen nodig waren voor deze verwijdering, en rond 430°C (ver boven de superkritische temperatuur) vond geen duidelijke zout scheiding plaats.

De gebruikt katalysatoren – veelal Ru gebaseerd - deactiveerden bovendien snel in de continue experimenten, hetgeen een gevolg lijkt van zwavel. Titaan- of zirkonium-gedragen Ru kunnen deels worden gereactiveerd.

Met de opgedane kennis werd een nieuwe procesdemonstratie-eenheid (KONTI-C, 1-2 kg/u) gebouwd in het kader van het SunChem-project.⁴² Deze diende voor de SWG-methanisering over Ru/C-katalysatoren van eerst isopropanol (IPA) en later microalgae. Ook hier werd de-activatie van de katalysator aangetoond, door coke vorming op de katalysator. Een hogere Ru-dispersie, een gemodificeerde katalysatorbereiding leiden tot een verbetering van de katalytische activiteit. Tegelijkertijd werd het ontwerp van de zoutafscheider verbeterd. De microalgen (*Chlorella vulgaris*) werden met succes vergast (400 °C, 28 MPa) tot een CH₄-rijk gas (55-60 vol %) gedurende een periode van 55 uur. Een lage totale organische koolstof in het reactor-effluent demonstreerde de goede katalytische prestaties van de katalysator, terwijl een pekkel rijk aan voedingsstoffen (N, K, S, P, en Na) werd verkregen met de zoutafscheider.

Door een afstudeerder en gepromoveerde van EFPL, Frédéric Juillard en Gael Peng resp., is in nauwe samenwerking met ETH/PSI in 2015 het bedrijf TreaTech opgericht om SWG naar methaan op grotere schaal te kunnen gaan aanbieden. Doel is om van TRL4-5 in 2014/2015 te komen tot TRL8-9 in 2023 (Figuur 31). Bij PSI is een grotere pilot plant gebouwd van zo’n 100 L/u waarin de kennis betreffende zoutafscheiding, SWG, en in-situ methanisering is

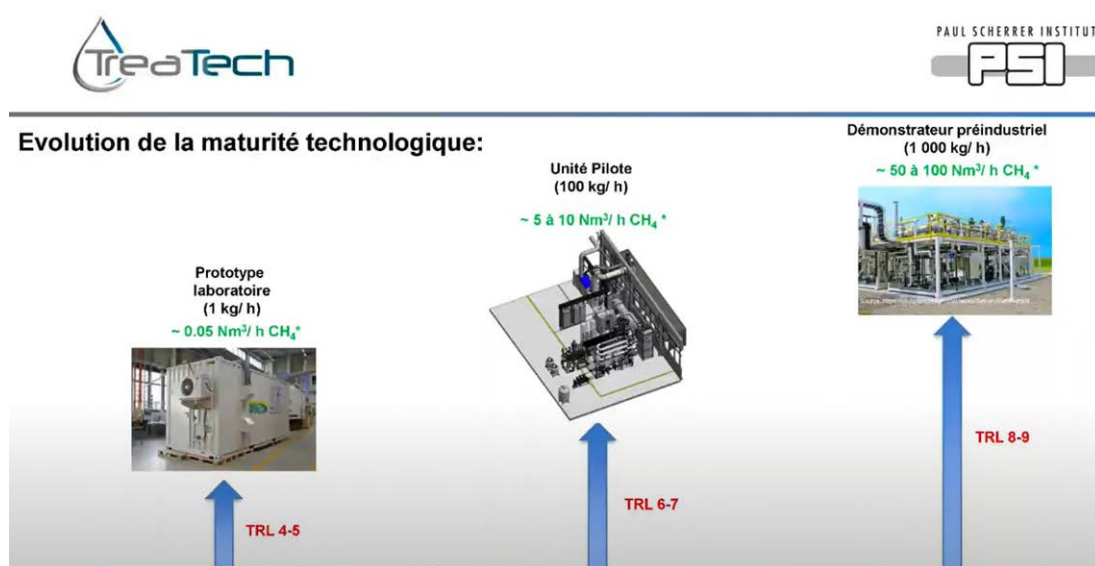
⁴¹ <https://doi.org/10.3929/ethz-a-010006442>

⁴² [10.5075/epfl-thesis-6740](https://doi.org/10.5075/epfl-thesis-6740)

gecombineerd (Figuur 30). Aangegeven is dat er twee opties zijn geïmplementeerd voor de as/zoutafscheiding, te weten een zoutafscheiding door het creëren van een pek en deze af te voeren (de 'PSI' methode), en een door Treatech geclaimde oplossing waarin een 'klein drukverschil' de as-zoutafscheiding laat plaatsvinden. Afgaande op de patent literatuur lijkt deze nogal cryptische opmerking te slaan op het gebruik van een wervelbed achtige methode om zouten rond het kritisch punt te laten neerslaan middels of op een vaste stof.⁴³



Figuur 30: Pilot plant installatie PSI/ETH.



Figuur 31: TRL evolutie van TreaTech⁴⁴.

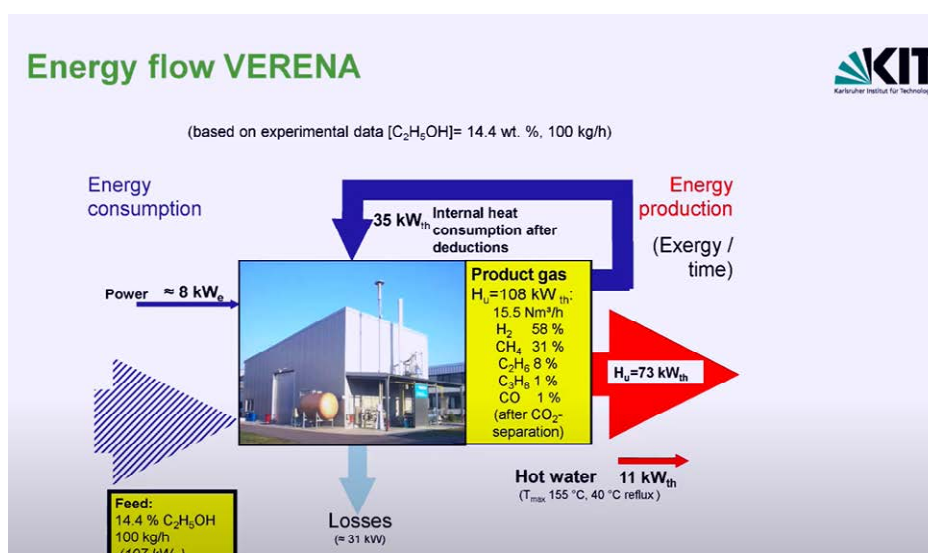
⁴³ EP3045433A1

⁴⁴ <https://www.youtube.com/watch?v=0rnxxbFKue8>

3.6.2 Karlsruhe Institute of Technology, Duitsland

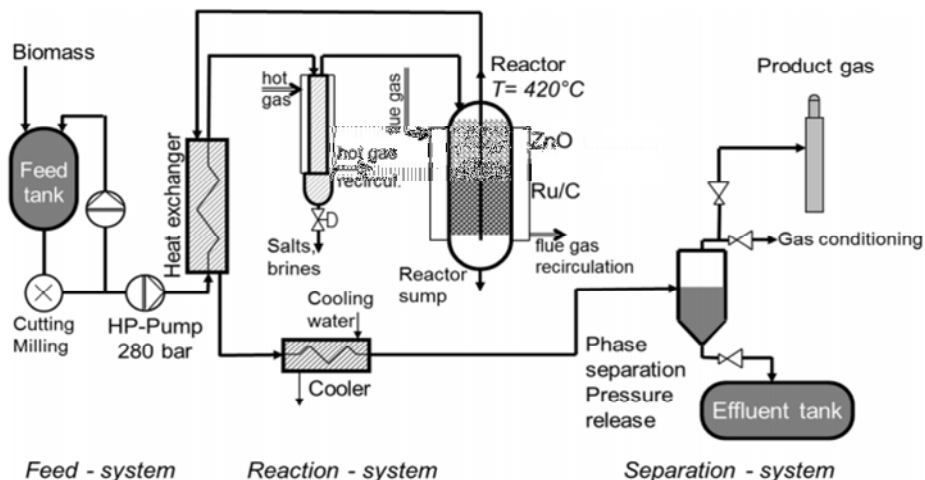
Een van de actieve sterkhouders op het gebied van SWG is het Duitse KIT. Al in een vroeg stadium is KIT betrokken geweest bij de experimenten van waterschap Aa en Maas, en de belangrijkste conclusies zijn samengevat in de STOWA rapportages.

Een belangrijke ontwikkeling vanuit KIT is geweest om de eerste grote 'proeffabriek' te realiseren voor SWG, VERENA (ca. 100 L/u; Figuur 32 en Figuur 33). Over deze eenheid is genoeg bekend en geschreven in de afgelopen 15 jaar, voor de volledigheid is een korte samenvatting opgenomen.



Figuur 32: Energie balans proeffabriek KIT⁴⁵.

⁴⁵ <https://www.youtube.com/watch?v=0rnxxbFKue8>



Figuur 33: De Verena pilot plant van KIT.

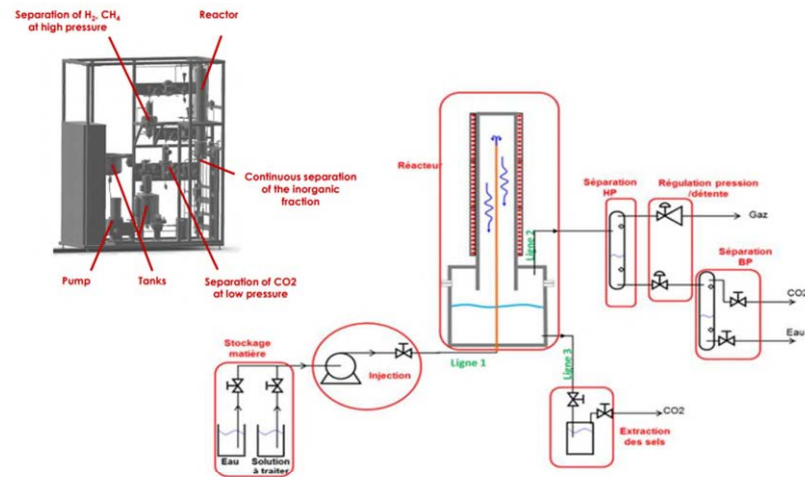
In de VERENA wordt biomassa in het reactiesysteem gepompt en in één stap gecompriëerd. Middels een warmtewisselaar wordt de warmte van de productstroom teruggewonnen. Na een zoutscheider (zie hieronder) wordt de voeding vergast, in onderhavig geval bij een temperatuur van zo'n 420°C en nadat eerst door een vast bed met ZnO de zwavel is weggevangen. In-situ vindt de methanisering plaats over een Ru/C katalysator. Zowel voorverwarmer als reactor zijn extern verwarmd door hete gassen. In de reactor vormen zich voornamelijk methaan, CO₂ en waterstof.

VERENA bestaat al een twintigtal jaar, en diverse modificaties en verbeteringen zijn aangebracht. KIT is gevraagd input te leveren aan dit review, maar beperken zich helaas tot het toetsen van recente artikelen uit de periode 2015-2017. In een van deze artikelen werd gewag gemaakt van een nieuw apparaat voor voorverwarmen en een zoutscheider opgeschaald volgens het ontwerp van PSI. De temperatuur in de zoutafscheider is 470°C . Als voeding zijn glycerol, ethanol en digestaatslib bestudeerd, en voor alle voedingen werden gassamenstellingen dicht bij thermodynamisch evenwicht bereikt. Zoutscheiding was in de regel effectief, maar afhankelijk van de exacte component (bijvoorbeeld minder voor kalium dan voor fosfor): ca. 56% van de as in digestaatslib kon worden teruggewonnen. Zwavel ontsnapte gedeeltelijk aan het zoutscheidingssysteem en bereikte de reactor, waarin het guard bed het grootste deel van deze resterende zwavel kon afvangen.

De afgelopen 3 - 4 jaar is er weinig gebeurd binnen KIT op dit gebied, en de laatste publicatie van de sterkhouders binnen KIT, Nikolaos Boukis dateert van 2017. Gemeld wordt echter dat 2 nieuwe projecten recentelijk zijn gestart op SWG gerelateerde onderzoeken. In de tussentijd heeft VERENA wat modificatie/reparaties ondergaan, maar bijna klaar voor verdere operatie.

3.6.3 CEA

Het Franse Alternative Energies and Atomic Energy Commission (CEA) is een andere speler op het gebied van SWG.



Figuur 34: De pilot plant van CEA.

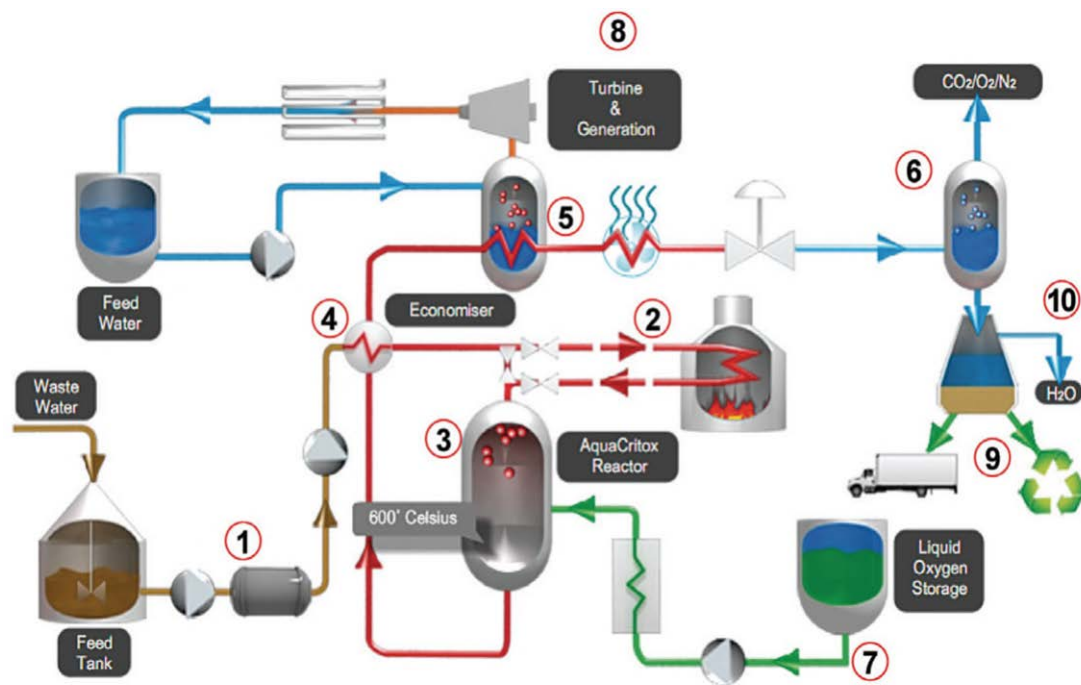
Een representatie van de pilot plant (max 700°C; 300 bar; 5-10 kg/h) is weergegeven in Figuur 34. De warmtewisseling tussen in-en uitgaande vloeistoffen is in deze pilot configuratie niet meegenomen.



Figuur 35: Visie van CEA.

De visie van CEA is weergegeven in Figuur 35. De eerste opschaling is van 5 - 10 kg/u naar 100 - 300 kg/u, waarvoor een ontwerp is gemaakt. Constructie van de eenheid staat gepland voor 2023. Vervolgdemonstratie naar 1 - 3 t/u is dan verwacht na 2025.

Ook hier is een specifieke richting voor onderzoek (in PhD programma's) de afscheiding van zouten en vervuilingen. Illustratief hiervoor zijn de figuren hieronder, waarin de oplosbaarheid is gegeven van Na_2CO_3 als functie van de temperatuur (verondersteld bij 250 bar), en afzettingen in de reactor.



Figuur 37: Het AquaCritox proces: 1. Hogedrukpomp; 2. Procesverwarming; 3. Reactor; 4. Warmtewisselaar; 5. Ketel; 6. Gas-vloeistofscheider; 7. vloeibare zuurstof; 8. Turbine/generator; 9. Vast stof afvangst; 10. Afvoer schoon water.

Een processchema is gegeven in Figuur 37. Interessant aan deze ontwikkeling is dat SCFI een AquaCritox-demonstratie-eenheid heeft gebouwd en bedreven. De mobiele eenheid bestaat uit drie zeecontainers (Figuur 38) en kan worden meegenomen naar sites over de hele wereld om de effectiviteit van het systeem in industriële omgevingen en over een reeks afvaltypen aan te tonen. Een deel van de kennis en informatie gegenereerd binnen deze ontwikkeling zouden goed van pas kunnen komen in de beoogde ontwikkeling van SWG in Nederland, waaronder:

- Gebruik van zuurstof in het superkritisch proces, met als nadruk daarin dat geen overmaat wordt toegepast zoals bij SCFI maar een onder-stoichiometrie om volledige conversie van de koolstof houdende voeding te garanderen, maar wel een gas te verkrijgen voor verdere synthese; Interessant is daarbij dat geen externe energie meer is benodigd (nu veelal verkregen via externe verwarming)
- Expertise in procesvoering: bijvoorbeeld processchommelingen ten gevolge van o.a. kleine druk en/of temperatuur variaties.

In de publiek toegankelijke informatie van SCFI wordt niet specifiek gerefereerd aan de problemen voorzien met zouten. Mogelijkerwijze wordt dit veroorzaakt doordat het proces wordt bedreven bij een temperatuur juist net iets lager dan voor het echte superkritisch vergassingsgebied, waarin zouten zich beginnen minder goed oplosbaar zijn in de waterige fases. De schaal van operatie is onbekend, maar zal waarschijnlijk in de orde grootte van enkele 100 kg/u bedragen.



Figuur 38: De mobiele AquaCritox demonstratie unit van SCFI.

4. STIMULERING GROENGAS OPWEK VANUIT SDE

Groen gas dat is geproduceerd via biomassavergassing is in Nederland duurder dan aardgas. Om groen gas productie op industriële schaal toch financieel rendabel te maken is ondersteuning vanuit de SDE-regeling mogelijk. De subsidiebedragen worden jaarlijks vastgesteld met behulp van advies berekeningen van PBL (en voorheen ECN). In de periode 2016 – 2020 is aan een vijftal projecten in de categorie groen gas via vergassing SDE-subsidie toegekend.

4.1 Bedragen in de SDE+/++ regelingen

In het najaar van 2020 is de regeling Simulering Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie (SDE++) geïntroduceerd als opvolger van de SDE+. In de SDE++ 2020 waren twee categorieën opengesteld voor de productie van groen gas via biomassavergassing: “biomassavergassing, uitgezonderd B-hout” en “biomassavergassing inclusief B-hout”.

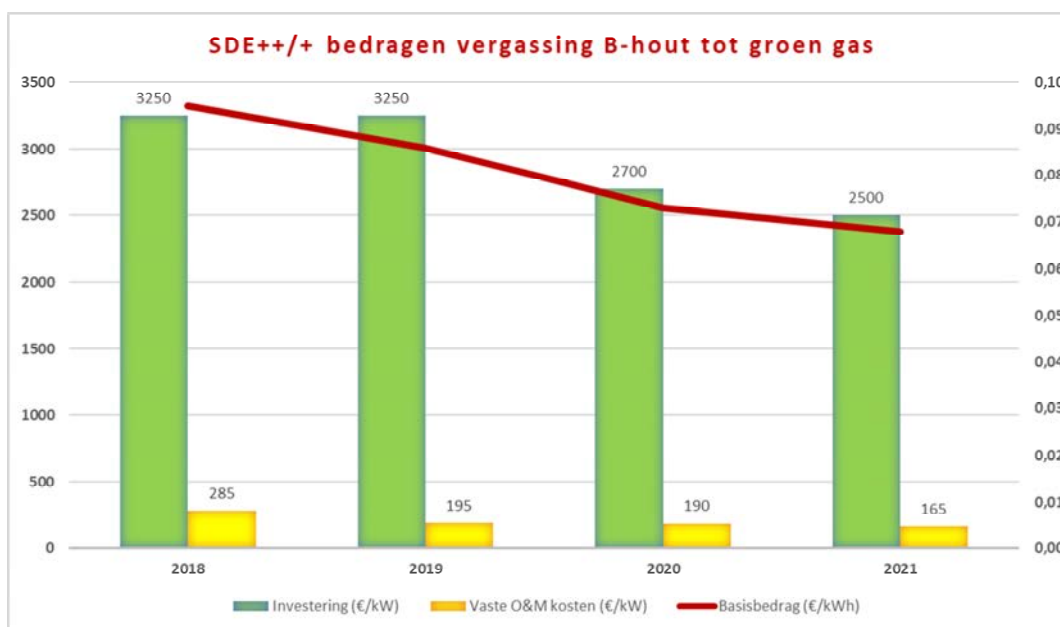
Beide categorieën zijn ook opgenomen in het eindadvies van PBL⁴⁶ voor de SDE++ 2021. Het advies bevat een kostprijs (basisprijs) berekening voor een referentie installatie bestaande uit een thermische vergasser met een gasreinigings- en gasopwaardeerinstallatie met een vermogen van 21 MW_{SNG}. Dit is vergelijkbaar met de GoBiGas installatie. Het basisbedrag is berekend voor zowel B-hout als snoei- en dunningshout als biomassavoeding. In Tabel 3 zijn de technisch-economische uitgangspunten en de resulterende basisbedragen weergegeven.

Tabel 3: Technisch-economische parameters eindadvies SDE++ 2021

Parameter	Eenheid	Snoeihout	B-hout
Referentie-installatie	MW, input	32	32
Vollasturen	uur/jr	7500	7500
Biomassa	kton/jr	97	67
Energieinhoud biomassa	GJ/t	9	13
Biomassakosten	Euro/ton	45	0
Rendement naar SNG		65%	65%
Referentie-installatie	MW, output	21	21
SNG	miljoen Nm3/jr	17,9	17,9
Specifieke investering	Euro/kW output	2500	2500
Investering	miljoen Euro	52	52
Vaste O&M kosten	Euro/kW output/jr	165	165
O&M kosten	miljoen Euro/jr	3,5	3,5
Basisbedrag	Euro/kWh	0,0944	0,0680
Basisbedrag (HHV)	Euro/Nm3	0,922	0,664
Subsidie intensiteit	Euro/t CO2	405	261

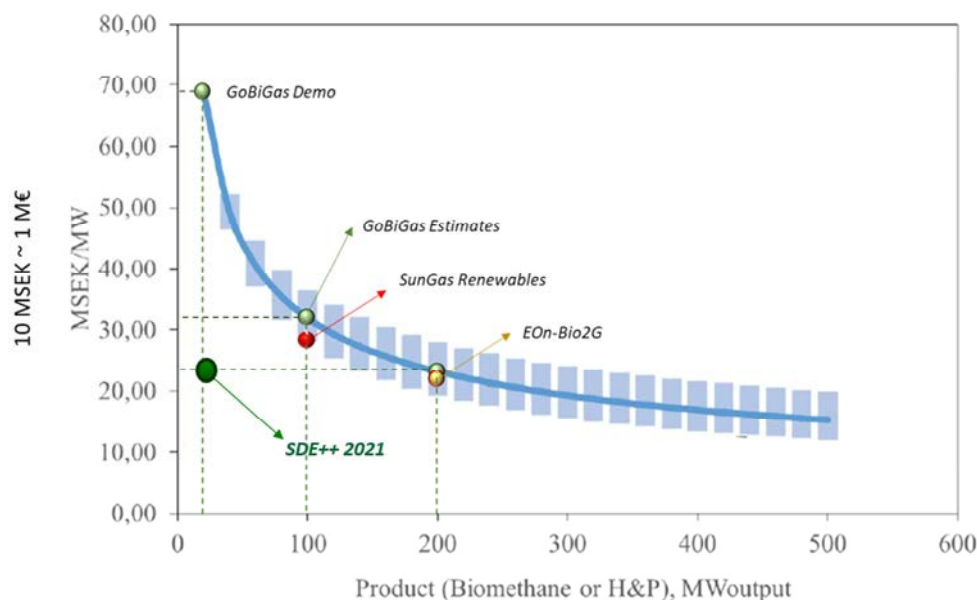
⁴⁶ PBL, Eindadvies basisbedragen SDE++ 2021, 12 februari 2021

Het is opvallend dat de geadviseerde bedragen de afgelopen vijf jaar significant zijn gedaald, hoewel er in deze periode geen enkele installatie is gerealiseerd. In Figuur 39 is te zien dat over de periode 2018 tot en met 2021 zowel de aangenomen specifieke investering als ook de vaste O&M kosten significant gedaald zijn. Daardoor is ook het basisbedrag, en daarmee de hoogte van de subsidie, significant lager geworden.



Figuur 39: Financiële parameters in de SDE++/+ adviezen voor een 21 MW_{SNG} installatie op B-hout

De door PBL gebruikte specifieke investeringsbedragen zijn laag vergeleken met de getallen die internationaal door verschillende consortia worden vermeld. Voor de thermische vergassingsinstallatie van 21 MW_{SNG} bedraagt de specifieke investering 2500 k€/MW_{SNG} in het PBL eindadvies SDE++ 2021. Hiermee zit de specifieke investering op een soortgelijk niveau als de internationale studies voor de veel grotere 200 MW_{SNG} installaties (Figuur 40).

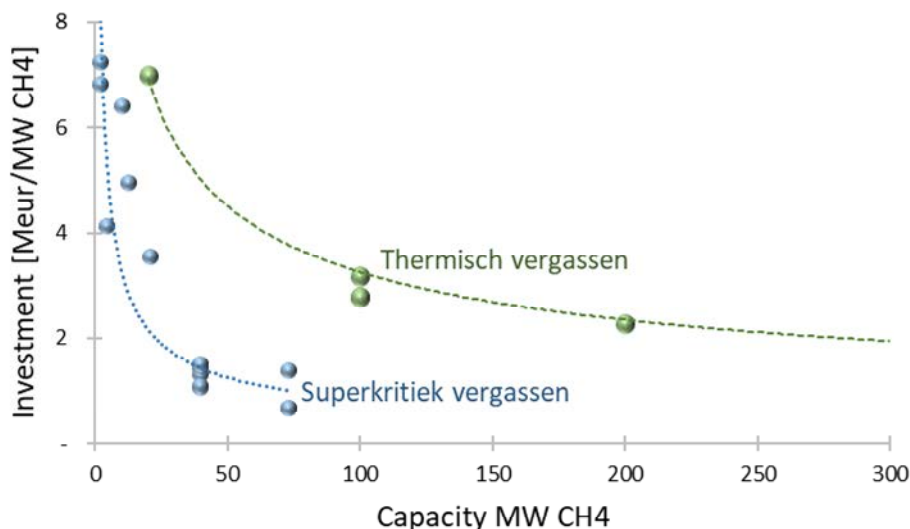


Figuur 40: Specifieke investering voor SNG opwek via thermische vergassing

Op basis van de bovengenoemde investering wordt door PBL wordt een kostprijs (basisbedrag) berekend voor de productie van groen gas via vergassing van 94 €/MWh groen gas voor snoeihout en 68 €/MWh voor B-hout.

Overigens lijken de initiatiefnemers in Nederland ook deze lagere investerings- en productiekosten te hanteren. Zo wordt door Gasunie, waar Torrgas direct mee samenwerkt, een kostprijs prognose gegeven van 80 – 85 €/MWh groen gas. Torrgas geeft daarnaast aan dat de investeringskosten circa 2,5 – 3 keer lager kunnen zijn dan voor de GoBiGas demo, omdat getorrificeerde biomassa wordt gebruikt. Of hierbij rekening is gehouden met de extra kosten voor torrificeren is niet bekend.

In Figuur 41 zijn ook de investeringskosten voor superkritieke vergassing weergegeven (naast die van thermische vergassing) die in de literatuur zijn aangetroffen. De aangegeven investeringskosten voor SWG liggen duidelijk lager dan die voor thermische vergassing waarbij biomassa wordt omgezet in SNG. Daarbij wordt opgemerkt dat de betrouwbaarheid van de data voor SWG lager is, omdat de getallen niet zijn gebaseerd op demonstratie installaties of op gedegen engineering studies zoals bij thermische vergassing. Desondanks roept het verschil in investeringskosten de vraag op of de SDE-categorie voor groen gas opwek via vergassing gedifferentieerd zou moeten worden naar SWG en thermische vergassing.



Figuur 41: Specifieke investering voor SNG-productie via thermische en superkritieke vergassing

4.2 Toegekende SDE+/++ projecten

In de periode 2016 tot en met voorjaarsronde 2020 is aan vijf projecten in de categorie groen gas uit vergassing SDE-subsidie toegekend. In Tabel 4 is een overzicht gegeven van de betreffende projecten en de belangrijkste kentallen.

Tabel 4: SDE-beschikkingen voor groen gas opwek via vergassing

Jaar	Aanvrager	Locatie	Vermogen MW	Productie MWh/jaar	Max. subsidie miljoen Euro	Subsidie Euro/kWh	Basisenergieprijs Euro/kWh	Inkomsten* Euro/kWh
2020	SCW Energy Alkmaar B.V.	Alkmaar	40,0	300000	201,6	0,056	0,016	0,073
2020	Biofuel Groningen B.V.	Farnsum	60,0	450000	307,8	0,057	0,016	0,073
2019	Torgas Delfzijl B.V.	Farnsum	13,9	104250	91,3	0,073	0,013	0,086
2018	Groen Gas Noord Holland B.V.	Alkmaar	3,1	21462	16,0	0,062	0,016	0,078
2016	SCW Systems BV	Alkmaar	18,6	125208	82,6	0,055	0,02	0,075

* geschatte inkomsten op basis van subsidiebedrag en basisenergieprijs

In 2016 is een SDE+-subsidie toegekend voor een 18,6 MW_{SNG} superkritieke vergasser van SCW Energy op de locatie Alkmaar. RVO geeft in de SDE-overzichten van januari 2021 aan dat dit systeem gerealiseerd is. Het project van Groen Gas Noord Holland B.V. voor een 3,1 MW_{SNG} thermische vergasser (Ambigo) uit 2018 is gestopt.

De projecten die in 2019 en 2020 een SDE-beschikking hebben ontvangen zijn nog in ontwikkeling. De SDE vereist dat de installatie binnen vier jaar na toekenning van de subsidie gerealiseerd is.

5. CONCLUSIES

De enige installatie wereldwijd waarmee op industriële schaal via thermische routes SNG uit biomassa is gemaakt betreft de 20 MW_{SNG} GoBiGas installatie in Zweden. De installatie is gebaseerd op een indirecte vergasser (Güssing technologie) waarmee ruime industriële ervaring is opgedaan voor WKK-toepassingen. Er is ruim 10.000 uur op houtpellets gedraaid met een maximaal omzettingsrendement naar groen gas van 63%. Het groen gas is geleverd aan het gasnet. Vanwege economische redenen is de installatie in 2018 stop gezet.

Om het proces rendabel te krijgen is in het GoBiGas project uitgebreid aandacht besteed aan opschaling tot een capaciteit van 100 tot 200 MW_{SNG}, waarvoor gedegen engineeringstudies zijn uitgevoerd. De biomassabehoeftte is circa 300 kton/jaar voor een 100 MW_{SNG} installatie bij een verwacht omzettingsrendement van 60 – 65%. De specifieke investering bedraagt 2 – 3 M€/MW_{SNG}. Oftewel 300 M€ voor een 100 MW_{SNG} installatie en 450 – 500 M€ voor een 200 MW_{SNG} installatie.

In Nederland is op pilot plant schaal ervaring opgedaan met SNG productie uit biomassa via thermische vergassing (TRL 6 – 7) en superkritieke vergassing (SWG, TRL 5 – 6). Verschillende consortia zijn nu bezig de stap naar industriële productie te zetten. Om deze stap financieel haalbaar te maken is er SDE-subsidie beschikbaar voor groen gas via vergassing. Door PBL/ECN is in het eindadvies 2021 een kostprijs van 68 €/MWh groen gas op basis van B-hout berekend. Het is opvallend dat de berekende kostprijs (en daarmee het subsidie niveau) de afgelopen 5 jaar sterk gedaald is, terwijl er in die periode geen projecten zijn gerealiseerd. Ook wordt er geen onderscheid gemaakt tussen SWG en thermische vergassing.

Momenteel zijn in Nederland vier concrete projecten in ontwikkeling om de stap te zetten naar industriële groen gas productie via vergassing:

- Het verst gevorderd is het project van SCW Systems in Alkmaar, waarbij biomassa via superkritieke vergassing wordt omgezet in een 18,6 MW_{SNG} installatie. In het SDE-overzicht van RVO van 4 januari 2021 wordt vermeld dat de installatie gerealiseerd is. Aanvullende informatie zoals gebruikte biomassavoeding en aantal draaiuren ontbreekt. Als de ontwerp capaciteit in de komende periode wordt gerealiseerd kan de installatie circa 16 Mm³/jaar SNG produceren (circa 0,6 PJ/jaar).
- SCW Systems heeft plannen voor uitbreiding met 40 MW_{SNG} in Alkmaar waarvoor in 2020 SDE-subsidie is toegekend. Na opstarten en bereiken van ontwerpcapaciteit en 24/7 operatie zou hierin rond 2025 potentieel circa 34 Mm³/jaar geproduceerd kunnen worden (circa 1,2 PJ/jaar).
- In Farmsum is een initiatief voor 13,9 MW_{SNG} thermische vergasser van Torrgas in ontwikkeling waarvoor in 2019 SDE-subsidie is toegekend. De planning is dat de fabriek rond 2025 op volle productie draait en dan circa 12 Mm³/jaar SNG produceert uit getorrificeerd B-hout (circa 0,4 PJ/jaar).

- Bio Energy Netherlands heeft eveneens plannen in Farmsum voor een 60 MW_{SNG} thermische vergasser, waarvoor in 2020 SDE-subsidie is toegekend. De start van de productie is rond 2024 gepland. Als de fabriek na 2025 op volle productie draait kan circa 50 Mm³/jaar geproduceerd kunnen worden (circa 1,8 PJ/jaar).

Als alle vier projecten succesvol gerealiseerd worden kan in de periode na 2025 circa 4 PJ/jaar aan groen gas worden geproduceerd in Nederland. Hiervoor moet in de komende jaren wel nog bewezen worden dat ontwerpcapaciteit & 24/7 operatie kan worden behaald. Daarnaast moet de economische haalbaarheid worden aangetoond hetgeen zou moeten resulteren in positieve investeringsbeslissingen.

Voor de 2030 doelstelling van 45 PJ/jaar groen gas is aanvullend de tienvoudige capaciteit nodig van de vier projecten die nu in ontwikkeling zijn:

- Om 5 PJ/jaar groen gas via thermische vergassing in 2030 te realiseren is circa 150 – 200 MW_{SNG} capaciteit nodig. Dit is een verdubbeling ten opzichte van de geplande projecten van Torrgas en BEN. De totale biomassabehoefte zal ruwweg 450 – 600 kton/jaar bedragen, uitgaande van een omzettingsrendement van 65%.
- De 2030 doelstelling voor groen gas opwek via SWG bedraagt 40 PJ/jaar, wat overeenkomst met bijna 1,400 MW_{SNG} vermogen. Dit is ruim 20 keer de capaciteit van de huidige SWG projecten van SCW Systems. De biomassabehoefte is dan circa 3-4 Mton/jaar (droog, asvrije basis). Op ‘as received’ basis zal dit een factor 5 tot 6 hoger liggen (~ 20 Mton/jaar).

Het is niet duidelijk waarop de verdeling van bijdrage naar thermische en superkritieke vergassing is gebaseerd. De veronderstelde groei van groen gas opwek via SWG tot 2030 lijkt erg optimistisch. Het succes van de vier projecten die momenteel in ontwikkeling zijn zal in belangrijke mate bepalen hoe snel opschaling technisch mogelijk is om de doelstelling van 2030 te kunnen realiseren.

Voor economisch haalbare ketens blijft voldoende ondersteuning vanuit de SDE noodzakelijk. Ook omdat productie van SNG via de synthesesegas route concurrentie ondervindt van producten met een (potentieel) hogere toegevoegde waarde zoals waterstof en methanol.

6. LIJST MET AFGENOMEN INTERVIEWS

27/10/2020: Robin Post van der Burg – Torrgas - NL
28/10/2020: David LaMont/Robert Rigdon – Sungas Renewables - VS
29/10/2020: Berend Vreugdenhil – TNO - NL
30/10/2020: Illka Hannula – VTT – Finland
04/11/2020: Matthias Kuba – BE2020 / BEST-Research - Oostenrijk
06/11/2020: Lars Waldheim – Waldheim Consultancy – Zweden
16/11/2020: Bert Bodewes – Eska - NL
17/11/2020: Peer van Engelen – Synvalor - NL
25/11/2020: Floris Geeris – Bio Energy Netherlands (BEN) - NL
09/12/2020: Bram van der Drift – Synova - NL

12/11/2020: Jan van Houwelingen – Yellow Gas Machine Group
3/11/2020: Jaap Koppejan – Bio Forte BV
5/11/2020: Bert van Halen – Gasunie Newenergy
11/2020: Wout de Groot – SCW Systems
11/11/2020: John Harinck – bright-circular (voorheen Gensos)
29/01/2021: John Harinck – bright-circular (voorheen Gensos)
25/11/2020: Frederic Vogel – Paul Scherrer Institut (PSI)

Geen reactie: W2C/Enerkem, HoSt.



BTG Biomass Technology Group BV
Josink Esweg 34, 7545 PN Enschede
Postbus 835, 7500 AV Enschede
T. + 31 (0)53 486 1186
F. +31 (0)53 486 1180
W. www.btgworld.com

E. secretariaat@btgworld.com



Dit is een publicatie van:

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
Prinses Beatrixlaan 2 | 2595 AL Den Haag
Postbus 93144 | 2509 AC Den Haag
T +31 (0) 88 042 42 42
F +31 (0) 88 602 90 23
E klantcontact@rvo.nl
www.rvo.nl

Deze publicatie is tot stand gekomen in opdracht van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat.

© Rijksdienst voor Ondernemend Nederland | Maart 2021

Publicatienummer: RVO-071-2021/RP-DUZA

De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) stimuleert duurzaam, agrarisch, innovatief en internationaal ondernemen. Met subsidies, het vinden van zakenpartners, kennis en het voldoen aan wet- en regelgeving. RVO werkt in opdracht van ministeries en de Europese Unie.

RVO is een onderdeel van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat.