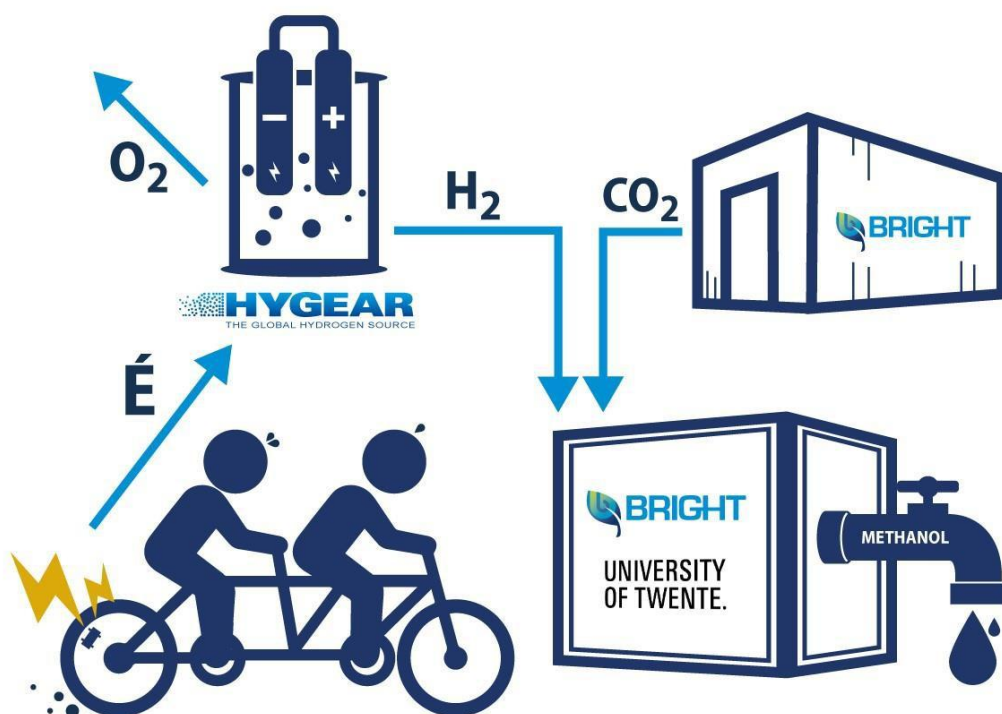


Openbaar eindrapport DEI 823003 TANDEM

De inhoud van dit document is openbaar



DEI 823003 TANDEM (Towards Acceleration aNd Demonstration of E-Methanol)

Bright Renewables

University of Twente

April 2024 – December 2025

Samenvatting

Uitgangspunten

Het uitgangspunt dat de basis vormde voor het TANDEM project was methanol synthese als de oplossing voor een aantal maatschappelijke problemen. Het hoofdzakelijke probleem is het gebrek aan een kosteneffectieve oplossing om grote hoeveelheden duurzame (synthetische) methanol te produceren welke de lucht- en scheepsvaart nodig heeft om te verduurzamen.

Met name de probleemeigenaar, de transportsector, welke moet verduurzamen in verband met de klimaatdoelen heeft hier groot belang bij. Andere probleemeigenaren zijn de industrie (waaronder de biogassector en de AVI's) welke op zoek is naar duurzame toepassingen voor het CO₂ wat vrijkomt bij haar processen. Een derde probleemeigenaar zijn de netbeheerders en producenten van groene elektriciteit welke zoeken naar oplossingen voor netcongestie zodat groene stroom ten allen tijde benut kan worden. De indirecte probleemeigenaar is de rijksoverheid welke (terecht) zoekt naar volledige benutting, en versnelde uitrol van de productie van groene stroom (zon en wind) en zoekt naar de goedkoopste oplossing om de lucht- en zeevaart te verduurzamen en CO₂ neutraal te krijgen in 2050.

Het technisch probleem wat zich voordoet is dat volgens de huidige stand der techniek methanol alleen op grote schaal geproduceerd kan worden in een complex proces, dit proces is niet schaalbaar naar kleinere installaties. Hier komt bij dat methanol normaliter uit fossiele brandstoffen wordt geproduceerd, en vaak zijn de installaties niet ingericht om goed gebruik te kunnen maken van enkel elektriciteit als proces energie bron. Een ander probleem is dat door de introductie van zonne- en windenergie het elektriciteitsnet is overbelast.

Doelstelling

Het doel van dit project is het demonstreren van innovatieve methanol synthese technologie welke lokaal geproduceerde groene waterstof, samen met afgevangen CO₂ om kan zetten in duurzame methanol waarbij een CO₂ verlaging van minimaal 90% wordt bewerkstelligt ten opzichte van het gebruik van zware stookolie. Het doel van het project is om een plug-and-play oplossing te demonstreren, welke gestandaardiseerd kan worden, en voor relatief kleine productie volumes van waterstof ingezet kan worden (vanaf 500kW).

Uitvoering van het project

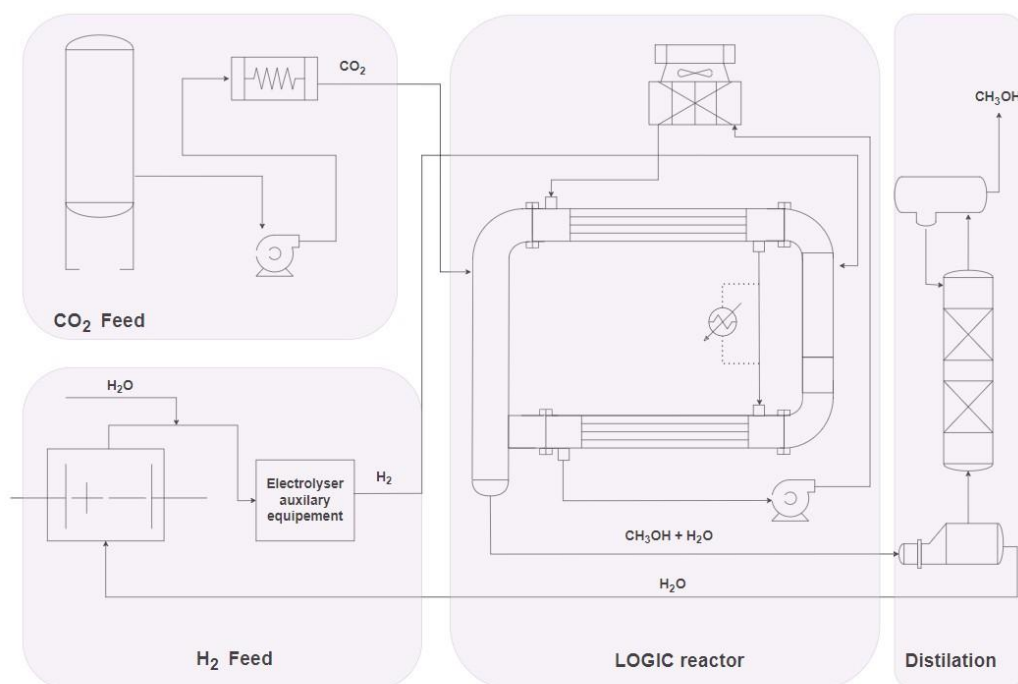
Proces beschrijving

In dit project werd een modulair plug-and-play systeem gedemonstreerd voor methanol productie uit groene stroom en CO₂, geschikt voor seriematige productie. Hiermee kunnen zowel de assemblage kosten als de engineering kosten van het systeem significant gereduceerd worden, dit leidt tot een lagere Total Cost of Ownership van de technologie, en vergoot hiermee het herhaalpotentiaal (aantal rendabele cases) en hiermee het CO₂ reductie potentieel.

Het proces van de TANDEM plant laat zich opdelen in 4 hoofdsystemen zoals te zien is in figuur 1, en deze zijn:

- CO₂ voeding: opslag, drukverhoging, en verdamping. Hiermee wordt de vloeibare CO₂ op druk gebracht en gasvormig gemaakt zodat deze in de reactor geïnjecteerd kan worden. De vloeibare CO₂ wordt gemaakt door het afvangen en vervloeien van biogene CO₂ bij biogas installaties.
- H₂ voeding: water wordt doormiddel van elektrolyse omgezet in H₂ en O₂ waarbij de H₂ op druk gebracht wordt om vervolgens in de reactor geïnjecteerd te kunnen worden. Voor de stroom wordt gebruik gemaakt van duurzame stroom om van groene waterstof te kunnen spreken.
- LOGIC reactor: de reactanten worden geïnjecteerd (CO₂ en H₂) en worden omgezet naar methanol en water (producten). De producten worden gecondenseerd en vervolgens worden enkel de producten vloeibaar uit de reactor gelaten. De reactor wordt flexibel geopereerd (hiermee wordt bedoeld op het verhogen en of verlagen van de capaciteit per uur) om zo in te kunnen spelen op de beschikbaarheid van duurzame energie. In feite wordt hiermee de reactor direct gekoppeld aan de beschikbaarheid van duurzame energie.
- Distillatie: water en methanol worden middels distillatie gescheiden in vrijwel zuiver afvalwater, en grade AA methanol

Hiermee wordt groene CO₂ en duurzame stroom omgezet naar methanol welke als duurzame brandstof en grondstof kan dienen voor de eerder genoemde probleemeigenaren.



Figuur 1 De hoofd proces componenten van het e-methanol proces zoals onderzocht in TANDEM

Resultaten

Het project heeft tot aan de vervroegde vaststelling een engineering pakket opgeleverd. Dit pakket bestaat uit de onderdelen welke zijn uitgewerkt in werkpakket 1 reactor ontwikkeling, werkpakket 2 electrolyser, en werkpakket 6 wat in feite een in depth analyse van het LOGIC principe is. De volgende resultaten zijn per werkpakket behaald:

Werkpakket 1

Het PFD (process flow diagram) voor het reactor systeem passende bij de casus van TANDEM is opgesteld, en de basisonderdelen hiervan zijn te zien in figuur 1. Op basis van dit PFD zijn de hoofdcomponenten bepaald, is de massa en energie balans opgesteld, en zijn de componenten uitontwikkeld. De belangrijkste resultaten hierin zijn geweest:

- CO₂ compressie kan in de vloeistof fase waarna met restwarmte het gasvorming gemaakt wordt. Hiermee is de totale energievraag voor de CO₂ voeding zeer laag
- De reactor en distillatie kolom zijn met elkaar geïntegreerd qua warmte overdracht. Hierbij kan de reboiler van de distillatie kolom dienst doen als een tijdelijke buffer voor proces warmte
- Distillatie in dit ontwerp is een basale kolom. In verband met de beschikbare restwarmte van het proces is er momenteel geen financiële noodzaak om meer complexe kolom ontwerpen toe te passen

De componenten selectie en uitontwikkeling heeft zicht op de hoofdcomponenten gericht, en de detail items (kleppen, instrumentatie, proces ondersteunende materialen) zijn door het stopzetten van de subsidie niet uitontwikkeld. Voor de volgende items is er informatie opgehaald:

- CO₂ verdamper en verhitter
- Reactor circuit (reactor vat, wisselaars). Hierbij is er voor TANDEM gekozen om voor een adiabatisch bed te gaan ivm de simpele mechanische componenten
- Distillatie kolom betreft een standaard ontwerp met structured pakking
- Transfer pompen, warmte integratie wisselaars, opslag tank

Werkpakket 2

Hierin is een vergelijkbaar proces gevold als in werkpakket 1. Hierbij is eerst een PFD opgesteld voor een 1.25 MWe Balance of Plant (BOP) en de warmte en massa balans. Hierbij zijn de key findings geweest dat er rondom de stack een significante hoeveelheid ondersteunende apparatuur nodig is: gas behandeling na de stack van zowel waterstof als zuurstof, opwerking van water naar benodigde kwaliteit.

Op basis van deze gegevens zijn de specificaties voor de key components opgesteld. Deze zijn in verband met het stopzetten van de subsidie niet verder opgevraagd. Daarnaast was men reeds begonnen met het opstellen van het functioneel ontwerp ten behoeve van de software. Hierbij is het beperkt gebleven tot de hoofdlijnen ivm de stop van de subsidie.

Werkpakket 6

Binnen dit werkpakket zou er wetenschappelijk onderzoek gedaan worden naar de principes van natuurlijke convectie en de interactie met warmteoverdracht binnen de LOGIC reactor. Hiertoe zal een PHD zich 4 jaar lang verdiepen middels gecombineerde numerieke en experimentele onderzoeksmethoden. Deze PHD is binnen de looptijd van de subsidie begonnen (in verband met de doorstart van een ander project zal de PHD het werk kunnen volbrengen). De eerste resultaten tot aan de stop van de subsidie zijn:

- Onderzoek naar de stromingsstabiliteit, gas circulatie, en warmteoverdracht als functie van de locatie in de reactor. Hiervoor is een opstelling gebruikt aan de Universiteit Twente, en de eerste resultaten geven aan dat er een hiaat is tussen de literatuur correlaties voor warmteoverdracht en de warmteoverdracht bij een LOGIC reactor. Hiertoe wordt er gewerkt aan het opstellen van nieuwe warmteoverdrachtscorrelatie die passen bij het operationele window van de LOGIC reactor.

Verloop subsidie

Gedurende het werkpakket 1 is de origineel beoogde locatie door onvolkomenheden weg gevallen. Er is toen besloten een nieuwe locatie te zoeken, en deze is gevonden in de vorm van een biogas productie locatie. Hierbij bleek er een overschot van biogas aanwezig, en dit biogas kan met een behulp van een nieuwe technologie vanuit HyGear omgezet worden naar duurzaam syngas waaruit methanol gemaakt kan worden. Vervolgens, is er een verkennende ontwikkeling gedaan naar een biogas naar methanol systeem. Dit bleek zeer positief in zowel de business case als het toekomst perspectief, en lijkt aan te geven dat het biogas naar methanol concept meer waarde voor Nederland kan generen dan enkel e-methanol systemen. Het blijkt dat een combinatie van e-methanol en het biogas naar methanol concept de meeste waarde kan genereren voor Nederland. Tevens biedt een herontwikkeling van het proces de mogelijkheid om beide concepten binnen 1 project te demonstrenen waarmee de waarde van het project stijgt. Hierop zijn de werkzaamheden in werkpakket 1 stil gelegd om TANDEM her te ontwikkelen naar een biogas naar bio/e-methanol systeem. Door de her ontwikkeling is het TANDEM project vervroegd beëindigd.

Het perspectief voor de duurzame methanol productie is significant door de brede inzetbaarheid van methanol als zowel brandstof en grondstof voor de proceschemie. De verwachting is dan ook dat methanol een significant groeimarkt is (er wordt gesproken over een verveelvoudiging van de markt tot 2050), en daarnaast een van de componenten voor het verduurzamen van processen die afhankelijk blijven van een bron van duurzame koolstof.

Bijdrage doelstellingen

Het TANDEM project droeg bij aan de doelstellingen van de DEI+ regeling welke als doel heeft "...*Het kosteneffectief reduceren van CO₂ emissies in Nederland doordat een duurzame investering in plaats van het gangbare minder milieuvriendelijke alternatief in Nederland gerealiseerd gaat worden...*" door duurzaam en kosten effectief duurzame methanol te produceren werd o.a. scheepsbrandstof vervangen. In vergelijking met zware stookolie (scheepsbrandstof) is een CO₂ verlaging van minimaal 90% mogelijk. Het kosten effectieve karakter volgt uit een standaard ontwerp wat vervolgens seriematig geproduceerd wordt. Hierdoor worden herhalende engineeringkosten voorkomen, en dit drukt de totaal kosten. Daarnaast wordt er gebruik gemaakt van het flexibel opereren van het systeem, waardoor het kan meebewegen met de uur prijzen van de elektriciteitsmarkt. Hierdoor wordt er een overall kosten reductie gerealiseerd terwijl ook de CO₂ emissies worden gereduceerd.

De kennispositief van Nederland wordt met dit project versterkt: het project is het eerste e-methanol project van de Benelux dat tot dit stadium gekomen is. Hierdoor is er met leveranciers overlegd, en kennis verzameld voor het ontwikkelen van een dergelijk systeem welke verder gaat dan enkel een vooronderzoek. Deze gelegde verbanden kunnen gaan dienen als een kennis ecosysteem binnen Nederland voor het realiseren van duurzame methanol synthese. Mede dankzij de spin-off vanuit de her ontwikkeling zoals eerder beschreven zal de technologie in het veld gedemonstreerd worden. Naast de CO₂ reductie zoals eerder beschreven zal dit ook tot know-how leiden over de bouw, en operatie van een dergelijke site. Hiermee krijgt Nederland unieke kennis beschikbaar over de lokale opwek van duurzame methanol met een flexibel productie karakter.

Spin-off

Op basis van de ontwikkelingen in werkpakket 1 en de herontwikkeling is er een nieuwe demonstratie project opgezet met als oogmerk om het biogas naar e/bio-methanol proces te demonstrenen. Dit nieuwe project met als werknaam AD SMP zal deze demonstratie verzorgen, en tegelijkertijd de originele doelstellingen van TANDEM uitvoeren.

Publicaties

Persbericht start TANDEM project uitgegeven door HoSt group, en Universiteit Twente, en o.a. gepubliceerd in <https://www.engineersonline.nl/host-group-ut-bouwen-eerste-e-methanol-systeem-benelux/>

Rapport en exemplaren

Voor meer exemplaren of andere vragen rondom het TANDEM project kunt u zich wenden tot:

Alex de Jong

a.dejong@bright-renewables.com

Thermen 10 Enschede NL

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Klimaat en Groene Groei, het Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur, en voor zover van toepassing, [het ministerie van Binnenlandse Zaken en koninkrijksrelaties] of [het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat], Regeling nationale EZK- en LNV-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.