

Vertrouwelijk eindrapport - Project AmpHytrite

1. Gegevens project

Projectnummer: MOOI622004

Projecttitel: AmpHytrite

Penvoerder: Pondera Development I B.V. (Penvoerder)

Deelnemers:

- Pondera Consult B.V.
- GE Netherlands B.V.
- KCI the Engineers B.V.
- Sif Netherlands B.V.

Projectperiode:

- Startdatum: 7/9/2022
- Geplande Einddatum: 6/9/2026
- Daadwerkelijke Einddatum: 31/10/2024



Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Klimaat en Groene Groei, Regeling nationale EZK- en LNV-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

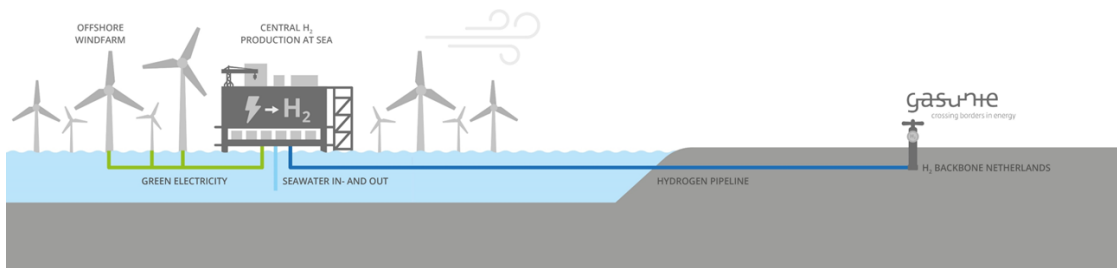
2. Doelstelling van het project

Probleemstelling

Om de Nederlandse ambitie voor windenergie op zee te verwezenlijken, is het noodzakelijk een deel van de opgewekte elektriciteit om te zetten in waterstof. De geplande opwekcapaciteit van wind op zee gaat enerzijds ver uit boven de huidige geprognosticeerde vraag naar elektriciteit en anderzijds zal een deel van deze ontwikkeling ver op zee moeten plaatsvinden, waarbij transport van energie naar land in de vorm van gas aanmerkelijk goedkoper is dan transport van elektriciteit. Een belangrijk deel van de toekomstige hernieuwbare elektriciteitsproductie zal geconverteerd moeten worden naar waterstof (of derivaten daarvan) voor de industrie en transportsector. Gecentraliseerde offshore, off-grid waterstofproductie kan daarom een belangrijke rol gaan spelen voor het realiseren van de energietransitie. Een belangrijk probleem voor de introductie en uitrol hiervan is echter de huidige economische mismatch op de waterstofmarkt. De huidige prijs van groene waterstof is gemiddeld twee tot drie keer hoger dan die van blauwe waterstof. Hierdoor is de vraag naar groene waterstof beperkt, terwijl de prijs van groene waterstof aanzienlijk zou kunnen dalen als het op grote schaal kan worden geproduceerd. Om dit probleem op te lossen, is het noodzakelijk om zowel klanten als ontwikkelaars van windparken te laten zien

dat gecentraliseerde offshore, off-grid waterstofproductie met windturbines technisch haalbaar is, eenvoudig schaalbaar, en op de lange termijn een interessant businessmodel biedt. Dit is momenteel echter niet mogelijk, omdat er onvoldoende data beschikbaar is over het optimale ontwerp en de werking van de technische installaties voor offshore en off-grid waterstofproductie met windenergie. Dit proces verschilt aanzienlijk van standaardproductie op land.

Central Hydrogen production OFFSHORE



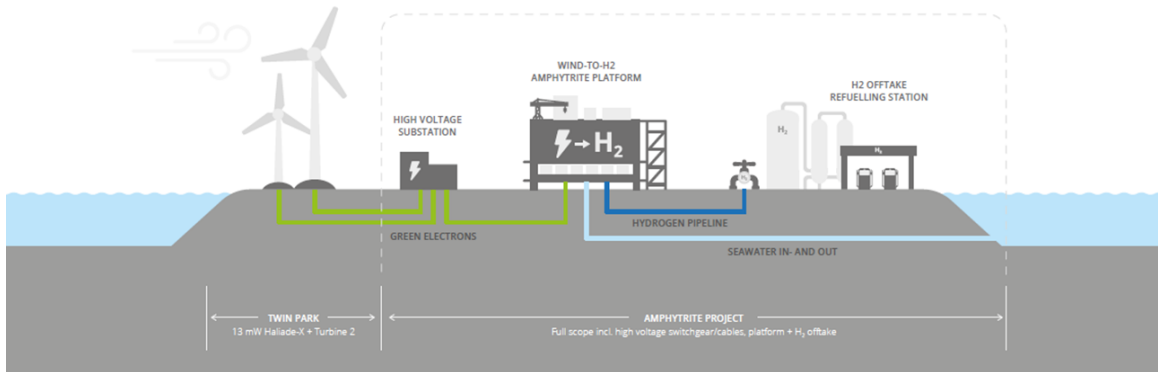
Oorspronkelijke doelstelling

Het doel van het AmpHytrite project was om binnen 4 jaar aan te tonen dat offshore, off-grid waterstofproductie met behulp van windturbines technisch mogelijk en schaalbaar is, met beheersbare kosten voor O&M (onderhoud en beheer), en bovendien (op de lange termijn) een interessant businessmodel biedt voor producenten, eindgebruikers en netbeheerders. De consortiumpartners wilden dit bereiken door een test- en demonstratie-eenheid te ontwikkelen en te realiseren: de AmpHytrite green hydrogen demonstrator. AmpHytrite zou worden gekoppeld aan de bestaande grote offshore windturbine Haliade X (12 MW), die in 2019 in gebruik werd genomen op het SIF-terrein op de Tweede Maasvlakte. De eenheid zou worden gebouwd en ingericht op een manier die vergelijkbaar is met de omstandigheden op zee en voor de waterstofproductie gebruik maken van zeewater. Na de bouw zouden de Haliade en de AmpHytrite gedurende minimaal 2 jaar groene waterstof produceren en data verzamelen. Hiertoe zouden de volgende activiteiten worden uitgevoerd:

1. Het ontwerpen van de AmpHytrite Test Unit (TU)
2. De constructie van de AmpHytrite TU
3. Het aanvragen van een vergunning
4. Het testen van de AmpHytrite TU onder realistische omstandigheden
5. Het analyseren van de testgegevens en het rapporteren en verspreiden van de resultaten

AmpHytrite Demonstrator

SIF YARD | MAASVLAKTE



Wijzigingen in doelstellingen

Na het uitvoeren van de activiteiten zoals benoemd onder punt 1 hierboven, bleek dat de AmpHytrite minstens tweemaal zo duur uit zou vallen dan vooraf begroot. Dat bleek niet financieerbaar. Daarom is in eerste instantie besloten om het initiële ontwerp te herzien. Het herziene ontwerp bleek weliswaar goedkoper, maar nog steeds te duur om gefinancierd te krijgen. Vanaf het voorjaar van 2023 waren een aantal externe stakeholders betrokken om financiering (mede) mogelijk te maken op basis van hun R&D programma's. Vanuit alle projectpartners zijn er zeer veel inspanningen geleverd om de bouw van AmpHytrite te kunnen financieren, maar de hoogte van de capex bleef een struikelblok in combinatie met verschuivingen in het mondiale ontwikkeltijdpad van groene waterstof en daaraan gerelateerde strategische afwegingen van potentiële financiers. Hierop is besloten om het project (en hiermee ook het MOOI subsidieproject) stop te zetten.

3. Uitvoering van het project

Activiteiten en resultaten per resultaat

Resultaat 1: Ontwerp van de AmpHytrite Test Unit (TU)

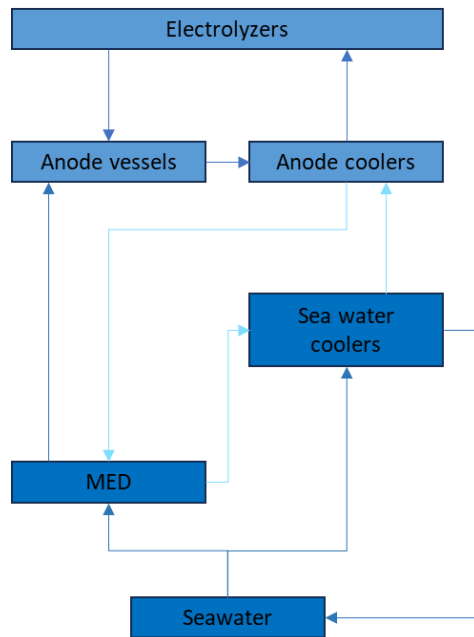
Definitie

Om de AmpHytrite TU te kunnen bouwen en vervolgens te testen, moest eerst een basisontwerp worden gemaakt. Het ontwerpproces was verdeeld in drie fasen:

- **Systeemontwerp:** In deze fase zijn de technische eisen verder gespecificeerd, de technologie geselecteerd en de systeeminterfaces bepaald.
- **Systeemintegratie-analyse:** Dit werd uitgevoerd om de technische haalbaarheid van het voorlopige ontwerp te beoordelen met betrekking tot operationele flexibiliteit, fysieke en elektrische integratie, en voor het genereren en selecteren van potentiële integratieconcepten.

- **Economische evaluatie:** bepaling van de Levelized Cost of Hydrogen (LCOH) van AmpHytrite TU en bij opschaling.

Het tastbare resultaat was een definitief ontwerp van de AmpHytrite TU (gedetailleerd ontwerp). De schematische weergave van het procesontwerp is als volgt:



Activiteiten

Om dit resultaat te bereiken, zijn de volgende activiteiten uitgevoerd:

1. Engineering 10 MW pakket (EO):

De oorspronkelijk geplande activiteiten waren:

- Integratie van de elektrolyser met alle koelings- en conditioneringssystemen die nodig zijn voor een optimale werking, binnen een zeewaardige behuizing. Voorlopig leek een 10MW PEM-elektrolyser met gecombineerde 'stacks' van 1 MW de beste keuze, omdat dit in principe ook toepasbaar is voor een grootschalige (1 GW) oplossing offshore. Dit maakt AmpHytrite modulair.
- Ontwerp van het veiligheidssysteem.
- Het resultaat is een digitaal en papieren ontwerp van de elektrolyser en bijbehorende systemen, uitgevoerd door KCI en beoordeeld door Sif en met name Pondera Consult.

De uitvoering is als volgt verlopen:

In 2022 is er een studie uitgevoerd om de meest geschikte elektrolysetechnologie en leverancier voor AmpHytrite vast te stellen. PEM-technologie bleek het meest

geschikt en gekozen werd voor een leverancier die een 10MW module in ontwikkeling had, bestaande uit 10 geïntegreerde 1MW electrolyser stacks. Vervolgens is alle benodigde randapparatuur aan het ontwerp toegevoegd, aangezien de 10MW module nog niet geschikt was voor offshore-omstandigheden en alles in een geconditioneerde ruimte geplaatst moest worden. Eind 2022 werd een kosteninschatting gemaakt voor ontwerp en bouw op de Maasvlakte. In 2023 bleef het concept grotendeels ongewijzigd, maar na gesprekken met de leverancier van de elektrolyser en een risico-analyse leek het verstandiger om over te stappen op twee complete 5MW “skids” met geïntegreerde randapparatuur in een container, om zo ontwerprisico’s te verkleinen, contractuele garanties beter te managen en levertijdproblemen te verminderen. Dit aangepaste ontwerp werd verwerkt in layouts, een concept PFD en vergunningstrajecten.

2. Engineering ultrapuur waterproductie uit zeewater (EO):

De oorspronkelijke activiteiten waren:

- De elektrolyser heeft ASTM Klasse I ultrapuur water nodig. Omdat de AmpHytrite TU onder offshore condities moet functioneren, moet dit uit zeewater worden geproduceerd.
- Het ontwerp wordt gemaakt door KCI en beoordeeld door Sif en Pondera. Een externe specialist beoordeelt de technische risico’s en presenteert alternatieven.
- Het resultaat is een digitaal en papieren ontwerp van de waterzuiveringsinstallatie.

De uitvoering is als volgt verlopen:

In 2022 onderzocht het consortium de meest geschikte ontziltingstechnologie en leverancier. MED-technologie (Multi-effect Desalination) bleek het meest geschikt vanwege de energie-efficiëntie en integratie met de warmteproductie van de elektrolyser. Via een koelwatersysteem met warmtewisselaars wordt restwarmte uit de elektrolyser gebruikt om de MED-apparatuur te voorzien van operationele warmte. MED-technologie is al bewezen effectief in offshore toepassingen, zoals op schepen, waardoor implementatie relatief eenvoudig is. Na de ontwerpwijziging in 2023 werden gesprekken gevoerd met de leverancier om de dimensionering van de MED-installatie opnieuw te beoordelen.

3. Totale ontwerp-simulatie (EO):

De oorspronkelijke activiteiten waren:

- Dynamische modellering van de systemen en historische energiemetingen van een offshore of nearshore windpark worden gebruikt om het ontwerp te optimaliseren.
- De activiteit wordt uitgevoerd door Pondera Consult met een review door TNO.

- Het resultaat is een geoptimaliseerd digitaal en papieren ontwerp van het elektrolyserpakket en het waterzuiveringssysteem.

De uitvoering is als volgt verlopen:

In 2023 is gestart met voorbereidingen in het softwarepakket PsxCad van Powerspex. Geschiktheid van deze omgeving voor het doen van simulaties is aangetoond en de deelontwerpen zijn opgezet. Vanwege onzekerheid over de wijze van integratie is dit onderdeel in eerste instantie aangehouden om later na definitieve designkeuze weer opgepakt te worden, met als doel een volledige simulatie te hebben voor de testfase. Dit doel is uiteraard niet bereikt doordat het project voortijdig gestopt is.

4. **Engineering batterij- en elektrisch systeem (EO):**

De oorspronkelijke activiteiten waren:

- Ontwerp van het regelsysteem en AC/DC-conversie (uitgevoerd door GE Nederland) en het SCADA-systeem en andere elektrische systemen (uitgevoerd door KCI).
- Het resultaat is een digitaal en papieren ontwerp van het elektrische systeem.

De uitvoering is als volgt verlopen:

In 2022 ontwikkelde het consortium een “overall controls philosophy” om procesaansturing te definiëren voor operationele, nood-, onderhouds- en start/stopsscenario's. De grootste uitdaging lag bij de interpretatie van signalen van de elektrische componenten van GE, cruciaal voor inzicht in het systeemgedrag tijdens off-grid operaties, een speerpunt van AmpHytrite. Het elektrische systeem is samengevat in een enkellijnsdiagram met hoog-, midden- en laagspanningscomponenten. Alle documenten bleven ongewijzigd tijdens engineeringontwikkelingen van Q1-2023 tot Q1-2024.

5. **Engineering platform en behuizing voor maritieme toepassing (EO):**

De oorspronkelijke activiteiten waren:

- Ontwerp van een platform en behuizing die bestand zijn tegen zoute en zware omstandigheden op zee, met aandacht voor schaalbaarheid en modulariteit.
- Het resultaat is een digitaal en papieren ontwerp, uitgevoerd door KCI.

De uitvoering is als volgt verlopen:

In 2022 werd het ontwerp van het AmpHytrite-platform opgesteld, waarbij rekening werd gehouden met ruimte, toegangswegen en zoutwateraanvoer. Het ontwerp omvatte drie niveaus en een stalen constructie met geboute verbindingen, geschikt voor offshore-omstandigheden. Medio 2023 kwamen naar aanleiding van de vergunningaanvraag en ontwikkelingen m.b.t. potentiële afname van waterstof

nieuwe ontwerpeisen op tafel, waaronder een gelaste constructie, transport als één geheel, en een compressor stroomafwaarts van de elektrolyser. Tegelijk werden 2x5MW skids en nieuwe layoutdocumenten verwerkt in het ontwerp voor vergunningaanvragen. In verband met veiligheidsaanpassingen werd de waterstofproductieapparatuur op de bovenste verdieping geplaatst. Ook werd een kostenraming gemaakt, die zeer hoog uitviel door de strikte eisen. In Q4 2023 werd een alternatief ontwikkeld met een ter plaatse opgebouwde constructie en het schrappen van de onderste vloer en verhoogde draagconstructie, wat leidde tot een lagere kostenraming. Dit ontwerp werd gebruikt in gesprekken met potentiële co-financiers vanaf Q1 2024.

6. Engineering waterstofafvoersysteem (EO):

De oorspronkelijke activiteiten waren:

- Ontwerp van een systeem voor het afvoeren van de geproduceerde waterstof, bij voorkeur via een pijpleiding. Inclusief een meetsysteem voor levering onder de juiste condities en met beperkte buffering.
- Het resultaat is een digitaal en papieren ontwerp, uitgevoerd door KCI.

De uitvoering is als volgt verlopen:

In het eerste ontwerp van AmpHytrite in 2022 was compressie alleen als een stap meegenomen in de PFD, maar niet in de overige documenten. Dit was omdat toen nog niet bekend was wie de afnemer zou worden en welke (opvoer)druk er vereist zou zijn. De reden dat de compressor wel was aangegeven op de PFD was vanwege de algemene verwachting dat er ongeacht afnemer een compressor nodig zou zijn. De druk van de waterstof aan de uitvoerkant van de elektrolyser zou rond de 40 bar zijn. Het drukbereik in bijvoorbeeld het netwerk van Gasunie is 30-50 bar. Hier zou al een opvoerdruk vereist zijn naar op zijn minst 51 bar om positieve afvoer in het netwerk van Gasunie te bewerkstelligen. Begin 2023 zijn ook de investeringskosten van een eventuele compressor in kaart gebracht. Op dat moment zijn gesprekken gestart met compressor leveranciers. Technisch inhoudelijke zaken, zoals invloed van de compressor op de waterstofkwaliteit, zijn toen (nog) niet behandeld of als risico gezien door de leveranciers. De finale PFD, die ook input vormde voor de vergunningaanvraag, ging uit van aflevering van gecomprimeerd waterstof via een tankstation met de mogelijkheid een koppeling te maken met een vaste afnemer op MV2.

7. Technische beoordeling (EO):

Oorspronkelijke activiteiten waren:

- Technische beoordeling door Sif en Pondera & beoordeling EPCI-contractering uitgevoerd door Pondera.
- Het doel is een kritische beoordeling van het totale ontwerp en het adresseren van risico's. Dit omvat ook een beoordeling van voorkeursleveranciers, contracten en waar nodig aanpassingen.

- Het resultaat is een definitief digitaal en papieren ontwerp van de volledige AmpHytrite TU, goedgekeurd door alle consortiumpartners.

De uitvoering is als volgt verlopen:

Sif en Pondera hebben tijdens elke stap in het ontwerpproces kritisch meegekeken om de geschiktheid van voorgestelde technisch oplossingen te bepalen in relatie tot opschaling naar 1GW niveau, risicomanagement en gevolgen voor de business case of LCOH. Hierbij is ook regelmatig gesproken met co-financiers als eerder vernoemd, om hun ervaringen en inzichten bij besluitvorming te kunnen betrekken. Sif en Pondera hebben ook zelf de nodige Q&A sessies georganiseerd met leveranciers in afstemming met KCI. Daarnaast is in januari 2024 een tweedaags bezoek gebracht aan GE in Montpellier, waarbij Sif, Pondera en KCI hebben gesproken met een grote delegatie van GE over technische uitdagingen en beschikbare oplossingen m.b.t. systeembesturing en eilandbedrijf van de AmpHytrite TU en de Haliade ("offgrid"). Daarbij is met name gesproken over de benodigde capaciteit van de BESS (MW) in relatie tot de andere systeemcomponenten. Voorlopige conclusie was dat een BESS met een vermogen van omstreeks 20% van de AmpHytrite TU een stabiele werking mogelijk zou maken. Dit zou later in het project eerst door simulatie verder getest kunnen worden.

Knelpunten en oplossingen

Samengevat zijn er tijdens de uitvoering van het project de volgende knelpunten naar voren gekomen:

1. Knelpunt: Keuze en integratie van elektrolysetechnologie
Probleem: De oorspronkelijke keuze voor ontwerp op basis van een 10 MW PEM-elektrolyser module bleek inefficiënt door ontwerpdiscrepancies en lange levertijden.
Oplossing: Overstappen op 5 MW skids met geïntegreerde randapparatuur, wat de risico's en complexiteit verminderde.
2. Knelpunt: Ontziling en restwarmtegebruik
Probleem: De impact van ontwerpwijzigingen op de integratie van MED ontzilingstechnologie was onduidelijk.
Oplossing: Technische gesprekken met de leverancier en aanpassingen in de engineeringfase om compatibiliteit en efficiënt gebruik van restwarmte te waarborgen.
3. Knelpunt: Off-grid operaties en systeemintegratie
Probleem: Moeilijkheden bij de interpretatie van elektrische signalen van GE-componenten en hun invloed op systeemgedrag.

Oplossing: Ontwikkelen van een “overall controls philosophy” en een SLD voor inzicht in signalen en samenwerking tussen componenten.

4. Knelpunt: Hoge kosten van platformontwerp

Probleem: strikte eisen (als gevolg van stikstofruimte ter plaatse) zoals een gelaste constructie en transport in één geheel naar de site van Sif op MV2 leidden tot hoge kosten. Oplossing: alternatief ontwerp in Q2 2024 met ter plaatse opgebouwde constructie en het schrappen van de onderste vloer, wat de kosten verlaagde.

Toelichting op wijzigingen ten opzichte van projectplan

Zoals reeds benoemd is het project stopgezet omdat ondanks alle inzet van de projectpartners geen afdoende oplossing is gevonden voor knelpunt 4 in relatie tot marktomstandigheden.

Toelichting op verschillen tussen begroting en kosten

In afwijking van het eerdere projectplan heeft Pondera Consult een elektrotechnisch specialist offshore ingehuurd om te ondersteunen in de technische review. Deze kosten zijn opgenomen in onderdeel A3 van het financieel verslag. Doel was onder meer om het bezoek aan GE voor te bereiden, voorstellen te doen voor technische integratie op het terrein van Sif en mee te denken over een geschikte besturingsfilosofie voor operatie offshore die ook past bij opschaling.

Verder zijn met betrekking tot technical review (1.7) door Pondera Consult meer uren gemaakt dan begroot vanwege meer geleverde inspanning op het vinden van afzet van de geproduceerde waterstof, het managen van de betrokkenheid van co-financiers en het toetsen van diverse herontwerpen om de kosten te verlagen.

4. Eindresultaat, conclusies en kennisverspreiding

Eindresultaat

Er is een ontwerp gemaakt voor een offshore, off-grid waterstofproductie installatie. Dit ontwerp is geanalyseerd en geoptimaliseerd om de kosten omlaag te brengen.

Conclusies en aanbevelingen

Het project heeft aangetoond dat – binnen de op dit moment beschikbare technologie en ontwerp-kennis - een offshore, off-grid waterstofproductie weliswaar technisch haalbaar en schaalbaar is, maar op kleine schaal zonder subsidie nog te duur is om te realiseren. Door marktomstandigheden zijn bovendien tijdlijnen gaan schuiven, waardoor de relevantie van daadwerkelijke realisatie van AmpHytrite op dit moment in de ogen van de beoogde co-financiers verminderde. Het risico was immers dat er te veel tijd zou zitten tussen de ervaringen die met AmpHytrite zouden worden opgedaan en het daadwerkelijk toepassen op zee op een grotere en economisch relevante schaal en huidige bevindingen m.b.t.

technologie door de tijd zouden worden ingehaald. Daarom is het project na het behalen van resultaat 1 stopgezet.

Omdat omstandigheden continu wijzigen, kan deze conclusie in de nabije toekomst veranderen. Mocht het AmpHytrite project (of een vergelijkbaar project) weer worden opgepakt, dan beveelt het consortium aan om de volgende studies uit te voeren:

- Load Flow & Frequency Stability studies om systeemspanningen en energiebalansen te evalueren onder verschillende bedrijfsomstandigheden in offgrid omstandigheden.
- Netcode compliance studies om aan interconnectievereisten te voldoen.
- EMT-studies om spanningstransiënten en overstroomtransiënten te onderzoeken.
- Plant Control Studies om systeeminterfaces met het net, de windturbine, batterijopslag en elektrolyser te monitoren.
- RAMS-studie om beschikbaarheid van het systeem te verhogen en levenscycluskosten te verlagen.

Kennisverspreiding

Bij de start van het project zijn er de volgende publicaties geweest:

- Elke projectpartner heeft op zijn website over het project gepubliceerd:
 - <https://ponderaconsult.com/duurzameprojecten/haliade-x-futurewind-haliade-next-gen-en-amphytrite/>
 - <https://sif-group.com/en/news/sif-ge-renewable-energy-pondera-sign-mou-for-green-hydrogen-offshore-wind-production-project-amphytrite/>
 - <https://www.kci.nl/kci-the-engineers-is-awarded-with-the-feasibility-study-for-a-green-hydrogen-project-in-rotterdam/>
- Het project stond op de Nationale Waterstofkaart van MissieH2.NL <https://waterstofkaart.missieh2.nl/nl/detail/14386-amphytrite>
- Op 11 mei 2023 is het project gepresenteerd op de World Hydrogen Summit, zowel door GE als door Pondera. GE heeft het project aangekondigd op de beursvloer en Pondera heeft het namens consortium gepresenteerd bij de parallel gehouden HEROW netwerkbijeenkomst. <https://topsectorenergie.nl/nl/maak-kennis-met-tse/tki-offshore-energy/herow/>
- Op 4 juni 2024 is AmpHytrite gepresenteerd op het Offshore Wind en H2 seminar van Sirrus in Gent. <https://www.sirris.be/en/agenda/day-1-wind-energy-technology-summit-production-green-electrons-molecules-sea>

Hierna zijn er vanwege de stopzetting van het project geen publicaties meer geweest.

KCI heeft veel afstemming gehad met beoogde co-financiers en R&D partners over technologiekeuze en oplossingen om het ontwerp slimmer te maken m.b.t. kosten bij

opschaling. Hiervoor zijn een aantal iteraties van ontwerp en indeling doorgevoerd, waarbij ervaring en inzichten met deze partijen zijn gedeeld.

Vervolgonderzoek en spin-off

Ondanks dat het project is stopgezet, zijn de projectpartners nog steeds aan het onderzoeken of – en op welke wijze – het project kan worden voortgezet. Immers, de problematiek die is geschetst in het oorspronkelijke projectplan is niet gewijzigd. Een van de mogelijkheden is inbreng van kennis en ervaring in Demo 1.

Bijlage

- Presentatie Sirrus seminar 4 juni 2024 te Gent