



Dit project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, subsidieregeling Top Sector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Publieke eindrapportage TSE – Top Sector Energie

Projectnummer: TSE219004

Projecttitel: Bargesysteem voor superkritisch CO₂ transport over water

Penvoerder: Fizzy Transition Ventures B.V.

Medeaanvragers: Koninklijke Wagenborg, Koninklijke Niestern-Sander B.V., Petrogas Gas-Systems B.V. en Bureau Veritas Marine Nederland

Projectperiode: 2 september 2019 tot en met 15 januari 2021

Samenvatting

De deelnemers hebben, na het afronden van een succesvolle haalbaarheidsstudie (Ref: TCCU117011), een gedetailleerd basisontwerp gerealiseerd voor het CO₂ transportsysteem over water met als doel een flexibel, betaalbaar alternatief te bieden voor pijpleidingen en andere voorgestelde slooptransportconcepten. Dit basisontwerp is gestoeld op de conclusies en aanbevelingen uit de haalbaarheidsstudie en is gebaseerd op een fictieve industriële klant met 1.2 miljoen ton CO₂ per jaar en een representatieve, werkelijke CO₂ opslaglocatie in een gasveld in de Nederlandse K/L blokken. Het resultaat is een gedetailleerd ontwerp van het gehele systeem dat als blauwdruk kan dienen voor hierop volgende commerciële projecten. De technische en economische haalbaarheid van het systeem zijn bevestigd, stakeholders zijn in kaart gebracht, klanten en opslag-operators zijn geïdentificeerd en intentieverklaringen zijn getekend voor het eerste commerciële project. Het vervolg op deze studie is het technisch en commercieel uitwerken van dit eerste project met de klant en de eigenaar van de CO₂ opslag.

Inhoud

Eindrapportage TSE – Top Sector Energie.....	1
Samenvatting	1
Inleiding	3
Doelstelling	4
Werkwijze.....	5
Resultaten	6
A) Projectresultaten	7
B) Mogelijkheden voor spin-off en vervolgactiviteiten.....	21
Discussie.....	21
Conclusie en aanbevelingen	22
Problemen die zich tijdens het project hebben voorgedaan en de wijze waarop deze problemen zijn opgelost	23

Inleiding

De opwarming van de aarde door een snelle toename van broeikasgassen in de atmosfeer is een wetenschappelijk erkend feit dat zorgt voor klimaatverandering. Om de gevolgen van klimaatverandering te beperken hebben 195 landen afspraken gemaakt om de uitstoot van broeikasgassen terug te dringen tot maximaal 2 °C met een ambitie voor maximaal 1.5 °C. De Nederlandse overheid heeft als doelstelling om de uitstoot van CO₂ (het belangrijkste broeikasgas) terug te brengen naar bijna nul in 2050, met een tussentijds doel van 49% reductie in 2030 ten opzichte van 1990. CO₂ afvang en opslag is een belangrijke techniek om deze doelstellingen te kunnen behalen en zal ook in Nederland op grote schaal moeten worden toegepast. De eerste poging om CO₂ in Nederland op te slaan was in een leeg gasveld bij Barendrecht. Dit project strandde op publieke weerstand en is stopgezet. Een tweede poging werd gedaan met het ROAD-project, dat uiteindelijk ook is stopgezet nadat twee deelnemers het consortium verlieten wegens onzekerheid over de toekomst van de CO₂ bronnen (kolencentrales). In een eerste haalbaarheidsonderzoek naar het Fizzy CO₂ transport en opslag concept (Ref: TCCU117011) hebben we laten zien dat het mogelijk is om op korte termijn te beginnen met CO₂ opslag in offshore gas- en olievelden door gebruik te maken van een flexibel scheepstransport direct naar offshore opslaglocaties. Het Fizzy concept is geboren uit de ambitie om het transportsysteem zo simpel mogelijk te houden, door het scheiden van navigatie en voortstuwing van het ladingsysteem en door de lading onder dusdanige condities te vervoeren dat extra apparatuur (bijvoorbeeld verwarming en compressie) aan de ontvangende/ opslag zijde beperkt of geheel overbodig zijn. Het concept maakt gebruik van een duwboot met onafhankelijke duwbakken waarbij CO₂ onder hoge druk wordt vervoerd. Het systeem is modulair, schaalbaar, onafhankelijk van bron- of opslaglocatie en kan op kosten, flexibiliteit, CO₂ "footprint" en energie intensiteit een aantrekkelijk alternatief bieden naast andere CO₂ transportsystemen.

In het afgelopen jaar is er door het consortium (Fizzy, Wagenborg, Niestern Sander, Petrogas en Bureau Veritas) en externe technologiepartners (experts en leveranciers op het gebied van offshore aanmeersystemen, compressoren, pomptechnologie), CO₂ emittenten en offshore olie & gas operators hard gewerkt om dit concept in detail uit te werken tot een basisontwerp voor een fictieve, maar realistische casus van 1.2 miljoen ton CO₂ per jaar van een industriële bron aan de Nederlandse kust naar een Nederlands offshore gasveld in de K/L blokken. Operationele en financiële gegevens voor het economische model zijn gebaseerd op commerciële offertes en gedegen kostenramingen zodat de onzekerheidsmarges kleiner zijn geworden ten opzichte van de haalbaarheidsstudie en voldoende zekerheid bieden voor het maken van eerste afspraken voor een commercieel project.

Doelstelling

Een probleem met transport van CO₂ vanaf een CO₂-bron op land naar een offshore CO₂-opslaglocatie is dat over het algemeen de beschikbaarheden en capaciteiten van CO₂-bronnen en CO₂-opslaglocaties variabel zijn. Wanneer voor dergelijk transport van CO₂ een techniek wordt toegepast gebaseerd op een vast transportsysteem, waarbij een enkele CO₂-bron (op land) met een enkele (offshore) CO₂-opslaglocatie verbonden wordt, maakt men een niet-variabele transportcapaciteit beschikbaar die over het algemeen te groot is in de vroege fases van de operationele levensduur van het transportsysteem en die mogelijk te klein is voor latere fases. Verder is het risico groot dat gedurende de geplande operationele levensduur van het transportsysteem de CO₂-bron (op land) of de (offshore) CO₂-opslaglocatie niet meer beschikbaar is, waardoor een groot deel van het transportsysteem vroegtijdig buiten gebruik raakt.

Wanneer een alternatieve techniek wordt toegepast waarbij CO₂-bronnen en CO₂-opslaglocaties worden verbonden door middel van een schip, of een vloot van schepen, ontstaan meer mogelijkheden om het transportsysteem aan te passen op de variabiliteit van beschikbaarheid en capaciteit van CO₂-bronnen en CO₂-opslaglocaties. Daarbij is echter bezwaarlijk dat de efficiëntie wordt beperkt door de lange laad- en lostijden waardoor transportschepen relatief veel stilliggen. Voorts is bezwaarlijk dat scheepsontwerpen voor CO₂-transport over het algemeen gebruik maken van koeling tot ver onder nul graden om de dichtheid van de getransporteerde CO₂ te vergroten. Wanneer CO₂ bij temperaturen ver onder nul graden Celsius in een gasveld geïnjecteerd wordt ontstaan een aantal onaanvaardbare risico's, zoals vorming van hydraten en het beschadigen van putten. Hierdoor is het noodzakelijk om diep-gekoelde CO₂ weer op te warmen voordat het kan worden geïnjecteerd in een gasveld en dit vraagt om aanzienlijke energievermogens die normaalgesproken niet beschikbaar zijn op zee. Door het CO₂ eerst bij de bron diep te koelen en het vervolgens bij de opslag weer op te warmen is het energieverbruik hoog en wordt de CO₂-uitstoot van een dergelijk transportsysteem ook hoog.

Het doel van dit project is een realiseerbaar ontwerp te maken, inclusief tekeningen, bestek en "Approval in Principle" voor een kost-effectief, modulair en schaalbaar CO₂ transportsysteem waarmee CO₂ tegen lage kosten getransporteerd kan worden vanaf verschillende CO₂-bronnen naar verschillende CO₂-opslaglocaties waar geen additionele krachtbronnen aanwezig hoeven te zijn, met minimale en uiteindelijk neutrale CO₂-uitstoot door het transportsysteem zelf.

Het project draagt bij aan de doelstellingen van het programma Energie, Klimaat en Industrie (programmaliijn 4: CCUS) door op korte termijn meer bronnen van CO₂ aan meer offshore opslaglocaties te verbinden dan met alleen een pijpleidingnetwerk haalbaar is. Het systeem kan snel opgeschaald worden om de doelstelling uit het Klimaatakkoord (49% reductie van broeikasgassen in

2030 ten opzichte van 1990) binnen bereik te brengen en een voorloperpositie van Nederland te versterken.

Werkwijze

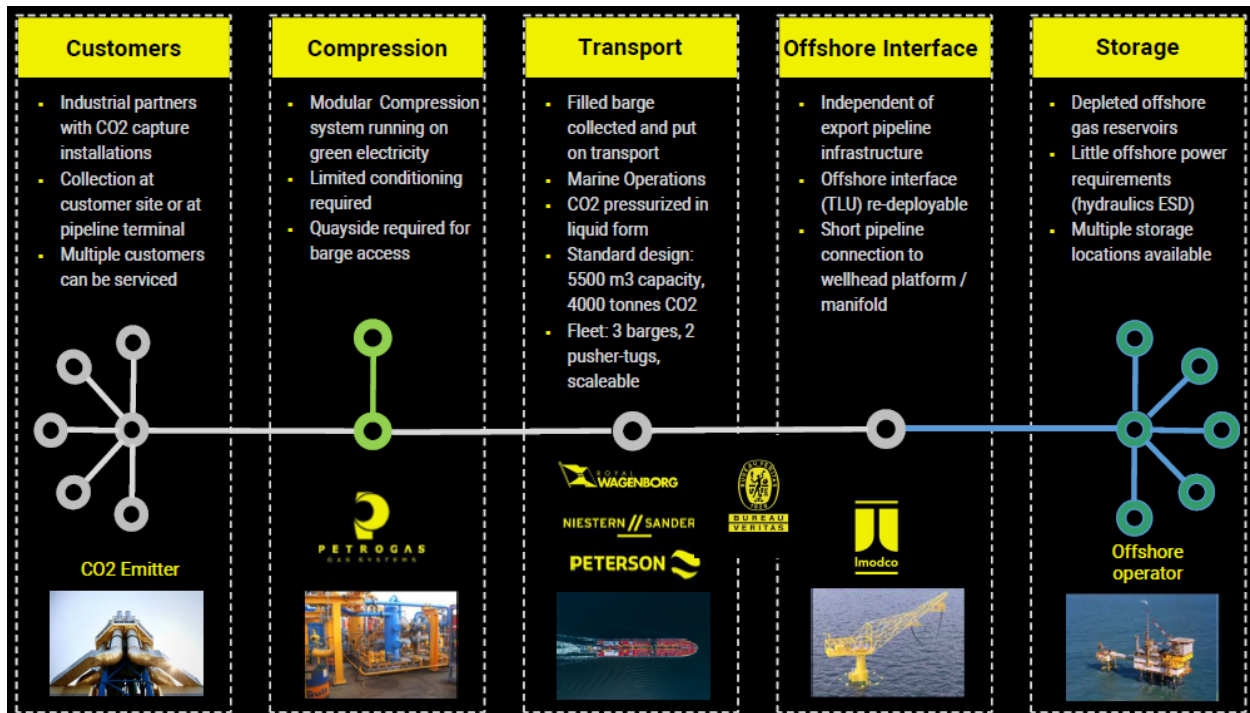
Het werk is door de deelnemers uitgevoerd zoals beschreven in de werkpakketten uit het projectplan, met een tweewekelijks werkoverleg tussen de deelnemers en de ontwerper van het offshore aanmeersysteem en maandelijks stuurgroep overleg met vertegenwoordigers van alle betrokken partijen. Verschillende leveranciers van componenten zijn betrokken geweest bij onderdelen van het ontwerp en hebben technische- en kosteninformatie aangeleverd. Ook is er nauw samengewerkt met specialisten van het offshore gasveld om tot een ontwerp te komen dat naadloos aansluit bij de condities van het gasveld, de putten, het platform en de zee rondom het platform.

De niet-technische risico's zijn verder in kaart gebracht en een coalitie voor sociaal draagvlak is opgebouwd door contact te leggen met o.a. provinciaal bestuur, NGO's en vakbonden en door hierover in gesprek te gaan met de eerdergenoemde CO2 emittenten en opslageigenaren.

Het technische werk is samengevat in een "Basis for Design" document dat tijdens het ontwerpproces regelmatig is bijgewerkt. Gedetailleerde berekeningen, tekeningen en analyses zijn door de deelnemers aangeleverd en verzameld door Fizzy (Ref: bijlagen).

Resultaten

De resultaten van het project samengevat hieronder in (A), zijn gedetailleerd beschreven vanuit een technisch perspectief per project element, en globaal vanuit het niet-technische, wettelijke en economische perspectief voor het gehele project. De waardeketen met de project/ studie grenzen wordt weergegeven in de volgende illustratie:



Illustratie 1: Waardeketen CO2 opslag

Het project bouwt voort op de bevindingen uit het eerdere ontwerp zodat een gedetailleerd ontwerp voor het gehele systeem is ontstaan. De opgedane kennis uit de voorafgaande studie heeft de deelnemers in staat gesteld om op detailniveau keuzes te maken. Het concept is dan ook op een aantal punten aangepast om beter aan te sluiten op de werkelijke omstandigheden in de offshore gasvelden. Met name het temperatuur/drukregime is verlaagd waardoor een hogere CO2 dichtheid voor het transport mogelijk wordt en de vullingsgraad van de gasvelden van 25% naar 95% stijgt. Het aantal gasvelden dat geschikt is voor CO2 opslag is zodoende ook groter geworden. Zo is het inzicht in de kosten, risico's en knelpunten op het gebied van techniek, veiligheid, regelgeving en

maatschappelijk draagvlak significant verbeterd en is de toepasbaarheid van het ontwerp op de praktijk toegespitst.

Met dit gedetailleerde ontwerp wordt bevestigd dat het concept een waardevolle aanvulling is op andere CO₂-transportsystemen. De grenzen van het systeem zijn vastgelegd van de uitgang van de CO₂ afvanginstallatie tot aan de bovenzijde van de putten van de offshore opslaglocatie.

Nabij de CO₂ afvanginstallatie wordt een compressie- en conditioneringsinstallatie geplaatst. De transportschepen (duwbakken) worden geladen langs een jetty bij de kade van de CO₂ bron. Een geschikte opslaglocatie moet gereed gemaakt worden voor het ontvangen, afmeren, lossen en opslaan van de CO₂. Hierbij zal gebruik worden gemaakt van een offshore gas reservoir met bestaande toegankelijk infrastructuur, d.w.z. een productieplatform met meerdere voor injectie geschikt te maken putten. In de nabijheid van het platform wordt, op een veilige afstand (in de regel minimaal 3 scheepslengtes), een aanmeersysteem, of SPM (Single Point Mooring), geplaatst en wordt een verbinding gemaakt met de putten op het platform via een korte pijpleiding. Illustratie 1 geeft een algemene omschrijving van de werkwijze.

A) Projectresultaten

De ontwerpen en analyses zijn gebaseerd op de aanname dat de CO₂-bron zich in de haven van Rotterdam bevindt en dat de afgevangen CO₂ de zuiverheid heeft zoals die uit een typische afvalverbrandingsinstallatie (AVI) komt. Voor het offshore aanmeersysteem en het CO₂ injectiesysteem is in deze studie gebruik gemaakt van werkelijke data van een gasveld in het L-blok van het Nederlandse continentale plat. De bijbehorende afstanden, omgeving (metocean) condities, waterdieptes en geotechnische samenstelling van de ondergrond zijn namelijk belangrijk voor het bepalen van vaartijden, SPM-ontwerp en systeembetrouwbaarheid (voornamelijk beïnvloed door stroming, golf-, en windcondities op locatie). De injectiviteit en resterende druk van het gasveld en de putten bepaalt onder andere het optimale druk-temperatuur regime en het daaruit volgende vermogen van systemen en krachtbronnen op het schip.

I. Technisch

Het technisch ontwerp is onderverdeeld in 4 fundamentele elementen:

1. De transport- en injectiecondities van CO₂
2. Onshore compressie en conditionering
3. Transport: combinatie duwbakken (inclusief druk houdend systeem) met duwboten ("pusher tugs")

4. Offshore lossen: SPM naar host locatie

Het is belangrijk te weten dat voor compressie, transport en SPM gebruik is gemaakt van gangbare en beschikbare technologie en systemen. In dit rapport worden de hoofdlijnen besproken; voor meer detail refereren we naar verschillende hoofdstukken in Bijlage 1 "Basis for Design" (vertrouwelijk document, eventueel beschikbaar op verzoek).

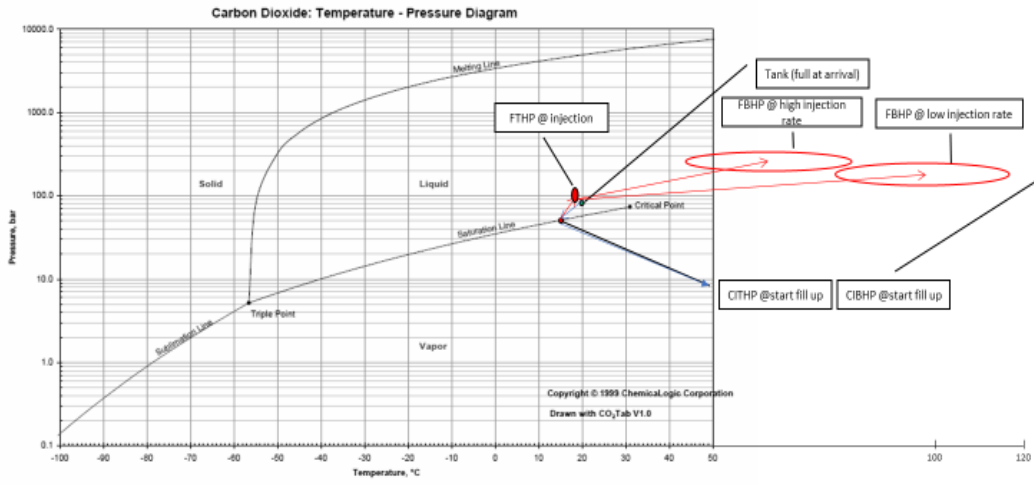
1. Transport- en injectiecondities van CO₂

De ontwerpprincipes van ons kooldioxide (CO₂) scheepstransport- en opslagsysteem zijn: "simpel, modulair en schaalbaar" met een massa/volume verhouding die het mogelijk maakt om binnen een tijdsbestek van 24 uur 4000 ton CO₂ te lossen zodat per SPM tussen 1.0 en 1.5 miljoen ton CO₂ per jaar bij de opslag afgeleverd kan worden.

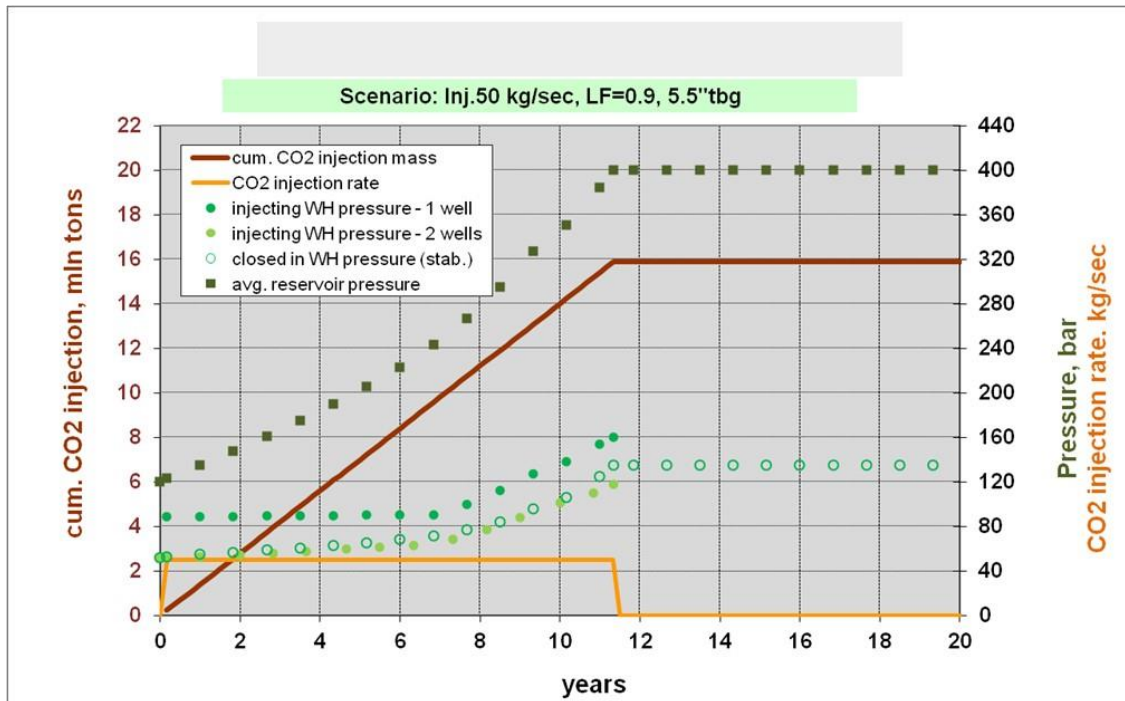
In de voorgaande studie is de keuze gemaakt voor transport van CO₂ in de superkritische fase (85 bar en 35°C). Deze vervolgstudie is gebaseerd op werkelijke data van een uitgeproduceerd gasveld en dat heeft ertoe geleid dat de optimale druk en temperatuur verlaagd zijn naar 40 bar en 5°C. Hierdoor wordt het mogelijk om meer CO₂ in het gasveld op te slaan en wordt voorkomen dat additionele verwarming van het CO₂ nodig is voordat het geïnjecteerd wordt. Het CO₂ wordt zodoende als vloeistof vervoerd, middels een pompsysteem gelost en via een injectiepomp onder variabele druk tussen 80 bar en 120 bar in de putten geïnjecteerd.

De transportcondities zijn dus primair bepaald door de benodigde druk/temperatuurverhouding voor injectie in de offshore opslag. Hiertoe is op basis van analytische modelleertechnieken onderzoek gedaan naar de juiste druk/temperatuurcombinatie en de bijbehorende injectiviteit van het voorbeeldreservoir in de K/L blokken van het Nederlands continentaal plat, samengevat in illustraties 2 en 3 hieronder. De belangrijkste conclusie is dat bij het opstarten van iedere injectiecyclus het CO₂ in het gehele systeem in de vloeibare fase gehouden kan worden bij een injectiesnelheid van 50 kg per seconde waardoor problemen door extreme afkoeling voorkomen worden terwijl de injectiedrukken laag genoeg blijven zodat fracturing in het reservoir niet kan plaatsvinden. De totale opslagcapaciteit van dit reservoir bij een vulgraad van 90% komt op 16 miljoen ton CO₂, hetgeen bereikt wordt na 11 jaar van stabiele injectie. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een of twee putten, beide voorzien van een 5,5" tubing. Onze aanname voor een het referentieproject is dat we gebruik maken van twee putten.

CO₂ T-P diagram@Start up

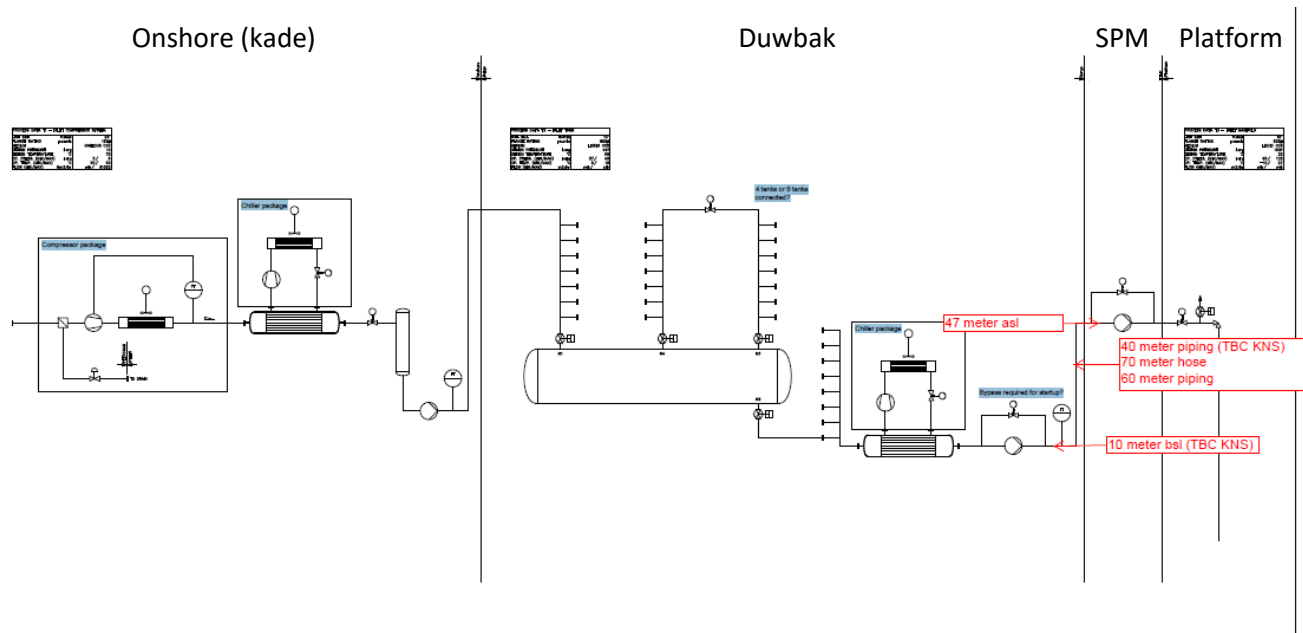


Illustratie 2: druk-temperatuurregime voor injectie in het voorbeeldreservoir



Illustratie 3: CO₂ injectiedrukken, reservoirdrukken en injectiviteit over tijd voor het voorbeeldreservoir

Het volledige systeem van afvanginstallatie tot injectieputten kan worden samengevat in vier delen (zie illustratie 4): Onshore, duwbak, SPM en platform die verder worden beschreven in 2, 3 en 4 hierna.



Illustratie 4 - Stroomdiagram van bron tot opslag

Onshore componenten:

- Aansluiting met CO2 afvanginstallatie;
- Elektrisch aangedreven meertraps-compressor met tussen- en eindkoeling;
- Conditioneringspakket voor het verwijderen van water en zuurstof;
- Manifold aansluiting met duwbak.

De duwbak componenten:

- Manifold voor het vullen van de tanks;
- Negen stalen hogedruk tanks;
- Twee transferpompen;
- Leidingen, hulp- en bijwerktuigen voor het maken van de aansluiting met de SPM.

Offshore componenten:

- Een SPM met een ankerkabel, stroomkabel, datakabel en slang voor het aansluiten van de duwbak;
- Een CO2 injectiepomp;
- Een pijpleiding tussen de SPM en het platform;
- Een "riser valve" op het platform;

2. Onshore compressie en conditionering

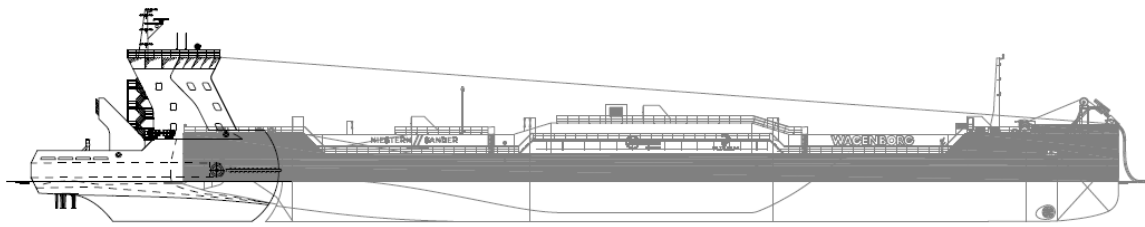
CO₂ stroomt op lage druk uit de afvanginstallatie (we gaan uit van 1.3 bar-a druk die we bij een typische post-combustion CO₂ afvanginstallatie zien) en moet minimaal ontdaan worden van water en zuurstof zodat het vloeibare CO₂ niet corrosief is. Het CO₂ gas wordt geconditioneerd middels een intern koelingsproces waarbij het eerst wordt gecomprimeerd tot 86 bar-a in een zes-traps centrifugale turbo-compressor, waarna het deels wordt gekoeld (indien nodig met behulp van een koelpakket) en geëxpandeerd zodat een verzadigde vloeistof verkregen wordt op 40 bar-a en 5°C.

3. Transport

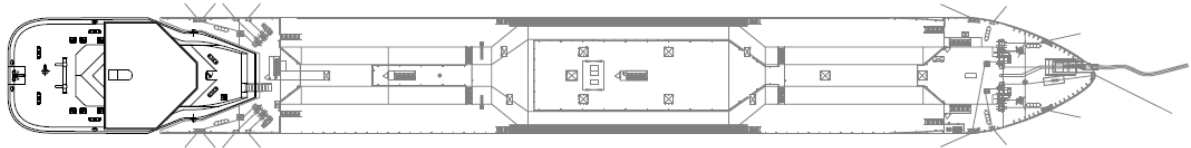
Het basisontwerp zal worden voorzien van een druk houdend systeem voor opslag van CO₂ op 40 bar met inachtneming van de nodige veiligheidsmarges. De volumecapaciteit kan worden vertaald in een massa ladingcapaciteit van CO₂ van nominaal bruto 4710 ton CO₂ waarvan netto 4070 ton gelost wordt. Een buffer van 640 ton CO₂ blijft altijd achter in de tanks. In de haalbaarheidsstudie hebben we systemen op basis van stalen en kunststofbuizen vergeleken met systemen op basis van drukvaten (tanks) en hebben al geconcludeerd dat op basis van maakbaarheid, beschikbaarheid en bewezen technologie onze voorkeur uitgaat naar opslag in stalen drukvaten, hetgeen nog steeds geldt voor dit gedetailleerd ontwerp.

De afmetingen, vorm en plaatsing van de drukvaten in de duwbak zijn gekozen zodat een maximaal volume CO₂ kan worden vervoerd, rekening houdend met de stabiliteit en het zeewaardig vermogen van de duwboot-duwbak combinatie. Het ontwerp voorziet in negen niet-geïsoleerde gekoppelde drukvaten in een optimale configuratie. De drukvaten kunnen afzonderlijk geopend en afgesloten worden zodat een optimaal laad- en losproces gevolgd kan worden waarbij de vaten sequentieel gevuld of geleegd worden. Ze voldoen aan de International Gas Code klasse 3G voor vloeibare gassen en hebben een nominale inhoud van 621m³ (7x) en 574m³ (2x). Iedere duwbak is eveneens voorzien van een ballastsysteem waarmee de gewichtsverdeling over de lengte van de duwbak tijdens het laden en lossen kan worden aangepast om de stabiliteit te garanderen.

Het ontwerp van de duwboot-duwbak combinatie is verder uitgewerkt zodat een gestroomlijnd, geïntegreerd geheel is ontstaan waarbij de navigatie-, voortstuwings- en accommodatiefunctie effectief zijn gescheiden van de lading/ CO₂-opslagfunctie, genaamd "Detachable Stern Vessel" of DSV. De duwboot is voorzien van dubbele azimuth voortstuwing en de duwbak is voorzien van een dubbele boegschroef.



COMBINED PROFILE



COMBINED PLAN

Meerdere bakken kunnen worden bediend door 1 duwboot: voor het laden wordt de combinatie losgekoppeld zodat de duwbak wordt geladen terwijl de duwboot met een volle duwbak kan vertrekken naar de opslag.

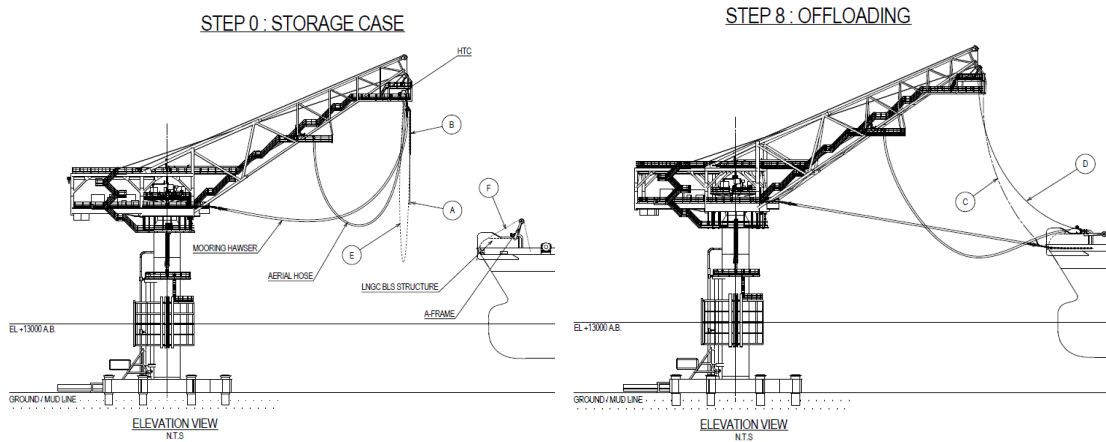
De duwbak wordt uitgerust met een midscheeps manifold voor het ontvangen van de gecompriëerde vloeibare CO₂. Naast een boegschroef (gevoed door de generatoren aan boord van de duwboot) bevinden zich aan dek van de duwbak de benodigde hulp- en bijwerktuigen voor het koppelen en aansluiten van de ankerlijn, de stroomkabel voor de injectiepomp, de datakabel en de verbindende slang met de offshore SPM voor het lossen van de lading.

Ten behoeve van maritieme veiligheid zal de duwboot offshore gekoppeld blijven aan de duwbak tijdens het lossen. Het lossen zal gebeuren door middel van twee transferpompen in de duwbak via de flexibele 10" slang op de boeg naar de inlaat van de injectiepomp op het offshore aanmeersysteem. Het elektrisch vermogen voor het lossen en voor het injecteren komt van de boegschroefmotor die tijdens het lossen niet nodig is voor het manoeuvreren van de duwbak. De druk in de drukvaten daalt tijdens het lossen van 40 bar naar 27 bar en de temperatuur daalt van 5°C naar -10°C. Aan het einde van de loscyclus wordt gebruik gemaakt van een koeler (chiller package) om een maximale hoeveelheid CO₂ in vloeibare vorm te kunnen verpompen. Er zal per lading 640 ton CO₂ in gasvorm mee terug genomen worden naar het laadstation. Het systeem is zo ontworpen dat in 90% van de gevallen de operatie uitgevoerd kan worden met inachtneming van typische zuidelijke Noordzee condities (zee en weer).

4. Offshore lossen: SPM naar host locatie

Het offshore aanmeersysteem, of SPM, is ontworpen voor de waterdiepte, bodemcondities en de "metocean" condities bij de opslaglocatie in het L-blok van de Nederlandse Noordzee. Aanmeren is mogelijk tot 2.5 meter significante golfhoogte en het lossen van CO₂ kan plaatsvinden bij significante golfhoogtes tot 3.0 meter. Zodoende is de verwachte beschikbaarheid van het aanmeersysteem ten minste 90%. Het geselecteerde SPM-concept is een Fixed Tower + Rotating Head. Dit systeem maakt gebruik van een fixed tower (ook wel bekend als monopile) die in de zeebodem wordt verankerd met palen die in het zand worden vastgezogen ("suction piles"). Het geselecteerde systeem is in detail uitgewerkt om de krachten van een volle aangemeerde CO₂ duwboot-duwbak combinatie te kunnen weerstaan, om ruimte te bieden voor de injectiepomp en de benodigde verbindingen met enerzijds de duwbak en anderzijds het gastplatform waar het CO₂ geïnjecteerd wordt.

De technologie is bewezen en zeer flexibel en geschikt in waterdieptes tot 100m (in het Nederlandse deel van de Noordzee hebben we niet meer dan 50m waterdiepte). De paal kan gemakkelijk weer verwijderd worden om naar een nieuwe locatie te verhuizen. Op de fixed tower wordt een draaiende kop ("swivel") met een arm geplaatst waaraan het schip verankerd wordt en waarlangs de CO₂ uit het schip via een flexibele slang naar de injectiepomp stroomt. Bij het lossen stroomt CO₂ uit de hoge druk vaten via een leidingnetwerk naar twee transferpompen die de druk opvoeren naar 45 bar. Het CO₂ stroomt vervolgens via de boeg van de duwbak door een flexibele slang naar de injectiepomp, die wordt bediend en voorzien van stroom vanaf de duwbak. De injectiepomp voert de druk van het CO₂ op van 45 bar naar 80 tot 120 bar (afhankelijk van de dan heersende druk in de injectieput(ten)). Het CO₂ stroomt van de injectiepomp door een korte (500m) pijp over de zeebodem richting het platform waar het via het "well head manifold" naar de injectieputten stroomt.



Illustratie 5 SPM bij aankomst van de CO2 barge (links) en tijdens het lossen (rechts)

II. Niet-technologische aspecten

Deze omvatten de volgende onderwerpen:

1. Projectplan, stakeholder analyse, wet- en regelgeving
2. Technische veiligheidsstudies
3. Marktanalyse, identificatie van opslagcapaciteit en verzekeren eerste opslaglocatie
4. Economische analyse (business model/ exploitatieberekening)

1. Projectplan, stakeholder analyse, wet- en regelgeving

Het project is uitgevoerd met een gedetailleerd projectplan met activiteiten, doorlooptijden, afhankelijkheden en inspanningsverwachtingen dat in het maandelijks stuurgroepoverleg is besproken.

De analyse van sociaal draagvlak en belangengroepen in o.a. NGO's, kennis en wetenschap, overheid (Rijk en EC), provincies en regio's, politiek infrastructuur/ publieke bedrijven, olie- en gasindustrie and industriële CO2 emittenten, is uitgevoerd en toegelicht in het vertrouwelijke rapport "Stakeholder Analyse".

In lijn met de aanbevelingen uit de bovengenoemde analyse is gewerkt aan het smeden van een coalitie met kennis partners als TNO en Rijksuniversiteit Groningen, overheidsinstellingen waaronder Provincie Groningen, de Rijksoverheid (Ministerie van EZK, NEA) en de Europese Commissie (via lidmaatschap van het CCUS Projects Network), NGO's en belangengroepen.

Ook is een groot netwerk aangelegd met aan de ene kant CO2-uitstotende industrieën (een twintigtal Nederlandse en buitenlandse individuele bedrijven en industriële clusters) en aan de andere kant de olie- en gasindustrie (eigenaren van CO2 opslaglocaties), maar ook met andere CO2 transportleveranciers zoals Porthos, Athos, Aramis en Northern Lights, en havenbedrijven (o.a. Rotterdam, Amsterdam, Den Helder, Groningen, Moerdijk).

Vroeg in het project is een overzicht van relevante wet- en regelgeving opgesteld en zijn knelpunten voor ons concept geïdentificeerd. Vervolgens hebben wij actief bijgedragen aan de discussie door in bovengenoemde coalitie uit te dragen welke specifieke punten van wet- en regelgeving een risico vormden en op welke termijn wij hier nadeel van zouden ondervinden. Het ging hier primair om het London Protocol van het IMO (waarin het vervoer en opslag van CO2 over landsgrenzen wordt verboden) en de ETS Directieve (dat specifiek alleen pijpleidingen als

transportinfrastructuur voor CO2 naar opslaglocaties erkent). In de loop van 2020 is op beide onderwerpen belangrijke voortgang gemaakt waardoor wij nu optimistisch zijn dat deze obstakels ons niet langer in de weg zullen staan.

Tijdens het ontwerpproces is rekening gehouden met relevante wetten en regels voor het scheepstransport van CO2 onder druk, zoals die in de "International Gas Code", en voor het offshore aanmeersysteem. Bureau Veritas heeft de ontwerpen beoordeeld en een principiegoedkeuring ("Approval in Principle") afgegeven.

2. Technisch veiligheidsstudies

Tijdens deze ontwerpfase is een risicoregister opgebouwd en hebben wij, samen met de eigenaar van een offshore gasveld, de leverancier van het offshore aanmeersysteem en een Nederlandse industriële CO2 uitstoter, de risico's van het gehele systeem geïdentificeerd in een serie van vier "HAZID" (Hazard Identification) sessies. De belangrijkste conclusie is dat er geen "show stoppers" gevonden zijn: de beschreven risico's zijn aanvaardbaar, beheersbaar of te voorkomen. Vervolgstappen zijn afgesproken en worden de komende maanden uitgevoerd.

3. Marktanalyse, identificatie van opslagcapaciteit en verzekeren eerste opslaglocatie

Bij aanvang van het project was er nog geen sprake van een markt voor CO2 transport en opslag. Er was slechts een beperkt aantal bedrijven bezig met plannen maken voor CCS waarvan enkelen mogelijk toegang hadden tot het geplande Porthos project in Rotterdam. Wij hebben een overzicht gemaakt van Nederlandse CO2 uitstoters en zijn gericht via ons netwerk in contact getreden met bedrijven in verschillende sectoren waaronder chemie, staal, energieopwekking, afvalverbranding, cement en olieraffinage. Deze gesprekken bevestigden dat er veel interesse is voor een flexibele CO2 transportdienst, met name bij bedrijven die niet dicht bij de toekomstige Porthos pijpleiding liggen. Voor een aantal van deze potentiële klanten hebben we analyses gemaakt op basis van het standaard transportsysteem en de voor hun relevante situatie (volumes, afstand tot opslag, toegang tot open water, etc.) en indicaties afgegeven van de te verwachten tarieven voor compressie, transport en injectie in een offshore CO2 opslag. In de loop van het jaar zijn hier ook een aantal buitenlandse partijen bijgekomen waarvoor we dezelfde aanpak hebben gehanteerd.

Offshore opslaglocaties zijn, net als klanten voor CO2 transport, een nog niet bestaande markt. Wij hebben ons gericht op "lege" offshore aardgasvelden in het Nederlandse deel van de Zuidelijke

Noordzee en hebben contact gezocht met olie- en gasmaatschappijen die eigenaar zijn van deze velden en de bijbehorende infrastructuur. Dit heeft geleid tot verschillende studies naar de eigenschappen en geschiktheid van specifieke gasvelden voor het ontvangen van CO₂ via onze transportoplossing. Dit is gebeurd in nauwe samenwerking met technische en commerciële teams van de desbetreffende bedrijven. Ons standaardontwerp voor het afmeersysteem, het lossen en injecteren van CO₂ is afgestemd op een van deze gasvelden in de zogenoemde "K/L blokken", ten Noordwesten van Den Helder.

Het resultaat is dat kort na afronding van de TSE studie is gestart met het gedetailleerde werk voor het realiseren van het eerste commerciële project.

4. Economische analyse (business model/ exploitatieberekening)

Het gedetailleerde technische ontwerp van het systeem heeft ons in staat gesteld om op basis van gedetailleerde kostenramingen voor alle benodigde componenten een realistische inschatting van de totale kosten per ton geïnjecteerde CO₂ te maken voor verschillende projecten, variërend in afgevangen CO₂ volume en afstand tot een opslaglocatie. Vervolgens is een exploitatieberekening gemaakt in een uitgebreid financieel model om inzicht te krijgen in de commerciële tarieven die nodig zijn om een project financierbaar en uitvoerbaar te maken. Deze tarieven hebben we vergeleken met andere CO₂ transport- en opslag concepten. Hieruit kunnen we concluderen dat het huidige ontwerp niet alleen technisch beter is dan het originele ontwerp uit de haalbaarheidsstudie maar ook commercieel aantrekkelijk is voor een groot aantal mogelijke projecten.

Economische analyse en benchmark met referentieproject

Er zijn twee bestaande manieren van CO₂ transport: pijpleidingen (zowel op land als over de zeebodem) en gekoeld scheepstransport. Met deze methodes kan CO₂ over of onder water vervoerd worden van een puntbron op land naar een haven of direct naar een offshore CO₂ opslag (alleen met een pijpleiding).

Het Fizzy CO₂ Transport en Storage systeem maakt gebruik van veel elementen die in de alternatieve oplossingen te vinden zijn, maar in een unieke combinatie waardoor het zich onderscheidt van gecomprimeerd gastransport via een pijpleiding of diep-gekoeld vloeistoftransport met schepen. De belangrijkste verschillen tussen de drie opties zijn weergegeven in onderstaande tabel:

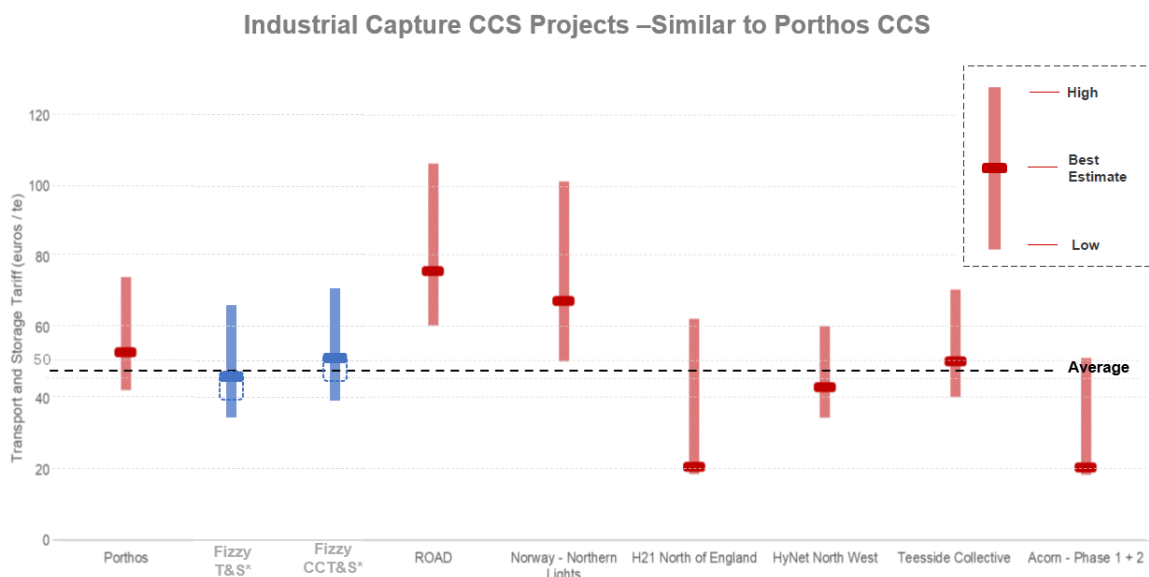
	Fizzy Transport	Liquid Shipping Bestaand	Liquid Shipping Concepten	Subsea Pipeline
Transportdruk (bar)	40	7 tot 20		120
Koeling nodig	Beperkt	Ja		Nee
Transporttemperatuur (°C)	5	-104 tot -15		85
Verwarming bij de opslag	Nee	Ja		Soms
Transportbak loskoppelen bij laden	Ja	Nee		n.v.t.
Transportcapaciteit schaalbaar	Ja	Ja		Nee
Minimum transportvolume benodigd	Nee	Nee		Ja
Transport van enkele bron naar haven	Ja	Ja		Ja
Transport van enkele bron naar opslag	Ja	Nee	Ja	Ja
Transport van verschillende bronnen naar verschillende opslagen	Ja	Nee	Ja	Nee
Energieverbruik	Medium - Laag	Hoog		Hoog
Complexiteit van het systeem	Medium	Hoog		Laag

Tabel 1: Vergelijking verschillende CO2 transportconcepten

De economische analyse is gebaseerd op een realistisch maar fictief scenario waarbij 1.2 miljoen ton CO2 per jaar wordt afgevangen in de regio Rotterdam en vervoerd naar een opslaglocatie waar het geïnjecteerd wordt in een uitgeproduceerd gasveld in de K- en L-blokken van het Nederlands Continentale Plat. Het systeem maakt gebruik van een 6-traps elektrische compressor met koeling tussen iedere trap en na de laatste trap een "chiller package". Het transport gebeurt met drie duwbakken, ieder met 9 stalen drukvaten aan boord, twee duwbotten en een SPM offshore terminal bij de opslaglocatie verbonden met het platform via een korte (500m) flexibele leiding.

Kosten van aanschaf, integratie, financiering en exploitatie zijn bepaald op basis van offertes, en gedegen kostenramingen. Investerings worden afgeschreven over een periode van 15 jaar, in lijn met de Nederlandse SDE++ subsidieregels, met een restwaarde gelijk aan nul of de sloopwaarde. Dit scenario is in detail uitgewerkt om de kosten per ton CO2 te bepalen, inclusief bandbreedtes voor de onzekerheden van de aannames. Wij concluderen dat de commerciële tarieven voor de Fizzy transport en opslagdienst, zelfs voor een relatief beperkt volume van 1.2 Mton per jaar, onder de bandbreedte van ramingen voor het Porthos project en Northern Lights vallen en rond het gemiddelde van Europese CCS projecten bij industriële CO2 afvang (Ref: Benchmark op basis van XODUS ADVISORY – PORTHOS CCS – TRANSPORT AND STORAGE (T&S) TARIFF REVIEW – in opdracht van het Ministry van EZK - juni 2020). Dit scenario is gekozen omdat het een jaarlijks tonnage beschrijft dat in

de buurt ligt van veel industriële emittenten. Hogere tonnages van meerdere megatonnen per jaar kunnen zonder problemen met deze oplossing worden vervoerd en opgeslagen tegen nog lagere kosten per ton dan hier aangegeven: het systeem is in theorie oneindig schaalbaar. Na het afronden van het hier beschreven project zijn er gunstige ontwikkelingen geweest m.b.t. kostenreducties op belangrijke componenten van het systeem. Het effect hiervan is in de economische en exploitatieberekening nog niet meegenomen, maar in de benchmark hieronder wel aangegeven met een stippellijn.



Note: Fizzy tariffs assume the same storage fee as Porthos at €17.40/tonne (as per SDE++2021 guidelines) and a similar cost uncertainty range

*T&S tariff (Transportation and Storage) assumes CO₂ is delivered by emitter in liquid form (40bar, 5°C) for 1.2 Mtpa

**CCT&S tariff (Compression, Conditioning, Transportation and Storage) assumes CO₂ collected directly from emitter's capture facility in gaseous form (1 bar, 35°C) for 1.2 Mtpa

Benchmark based on XODUS ADVISORY – PORTHOS CCS – TRANSPORT AND STORAGE (T&S) TARIFF REVIEW - Prepared for the Dutch Ministry of Economic Affairs and Climate Policy – June 2020

Illustratie 6: Benchmark met andere Europese CO₂ transport- en opslagnetwerken

De aannames voor het getoonde scenario worden hieronder aangegeven (tabel 2 en tabel 3). De berekeningen zijn uitgevoerd met behulp van het logistiek-economisch model dat ontwikkeld is voor dit doel.

Scenario: Rotterdam – K/L	Eenheden	Input
CO₂ volume opgeslagen	Mton/jaar	1.2
Afstand bron – opslag	Km	185
Aantal duwbotten	#	2
Aantal duwbakken	#	3
Snelheid	knopen	10
Lading per duwbak	ton CO ₂	4713
Retourlading	ton CO ₂	641

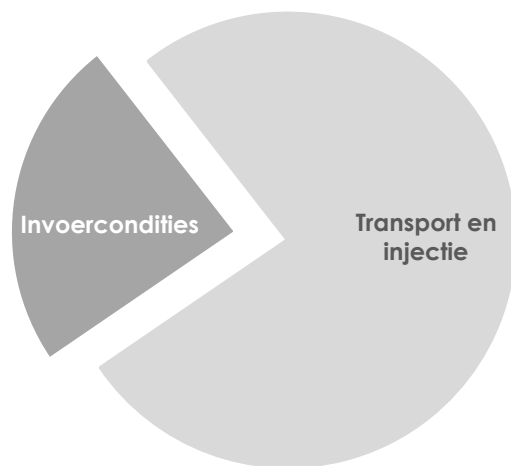
Laadtijd	uren	29
Lostijd	uren	23
Transporttijd retour	uren	20
Tijd voor koppelen, tanken, onderhoud	uren	5
Transporttemperatuur	°C	5
Transportdruk	Barg	40
Financieringskosten vreemd vermogen	%	4,3%
Financieringskosten eigen vermogen	%	17,3%
Afschrijvingstermijn	jaren	15
Brandstofprijs	€/ton	275
Electriciteitsprijs	€/kWu	0.045
Kosten van opslag	€/ton CO2	17

Tabel 2: Aannames economisch-logistiek model voor benchmark en kostenanalyse

Kosten per ton CO2

Voor dit scenario zijn de kosten per ton CO2 berekend en uitgesplitst per component (duwbakken, duwboten, compressie & conditionering en SPM) en per kostensoort (opex, capex, financiering). Om tot een commercieel tarief voor een financierbare dienst te komen wordt aan deze kosten nog een winstoverslag toegevoegd. De kosten voor transport en injectie voor dit scenario zijn 75% van de totale kosten en 25% is nodig om de CO2 op de juiste invoercondities (40 bar, 5 °C, <500ppm H2O) te brengen.

Scenario: Rotterdam – K/L - totale kosten incl. invoercondities



Exploitatieberekening

Om een financieerbaar project en een risicobestendige dienst te kunnen leveren moet het project winstgevend zijn. Via een gedetailleerde exploitatieberekening is een minimale winstopslag berekend om tot een financieerbaar, uitvoerbaar project te kunnen komen. Het project is economisch over de levensduur van 15 jaar en alle investeringen worden over die periode volledig afgeschreven, maar de verwachting is dat na die tijd 80% tot 100% van de materialen nog geschikt zullen zijn. Zodoende creëren we geen “locked-in positie” maar behouden wel de vrijheid om langer door te gaan als dat gewenst is.

B) Mogelijkheden voor spin-off en vervolgactiviteiten

Deze studie heeft aangetoond dat een commercieel vervolgproject haalbaar is. Op basis van het hier in detail beschreven basisontwerp zullen ontwerpen worden gemaakt voor CO₂-transport- en opslag, toegespitst op specifieke bronnen en specifieke opslaglocaties. Naar onze verwachting zal minstens een subsidieaanvraag worden ingediend voor een CCS-project in SDE++ in 2021 waarin gebruik wordt gemaakt van de CO₂-transport- en opslagdienst op basis van het hier beschreven ontwerp.

Mogelijkheden voor spin-off activiteiten zijn eveneens ontstaan. De belangrijkste is een binnenvaarttransportoplossing voor CO₂ op basis van dezelfde transportcondities als in ons basisontwerp, maar met kleinere, lichtere binnenvaartschepen zodat bronnen in het binnenland via rivieren en kanalen kunnen worden verbonden met transportnetwerken voor offshore opslag.

Hiervoor zal een nieuw lichtaewicht druk houdend systeem worden ontworpen om een maximale

Illustratie 7: Effect van 10% variatie in variabelen

vervolgens ook toegepast kunnen worden voor vervoer per spoor en over de weg.

Discussie

Met het afronden van het ontwerp van het voorgestelde basissysteem voor transport van CO₂ naar offshore opslaglocaties is een belangrijke stap gezet op weg naar een toekomst waarin een vloot van schepen verschillende bronnen met verschillende offshore opslagenlocaties of afnemers van CO₂ die ze als grondstof gebruiken zullen verbinden. Het standaard ontwerp dat nu is ontstaan is toepasbaar op alle vervoerstrajecten van een kustlocatie rondom de Noordzee naar een opslaglocatie in de Zuidelijke Noordzee. De onderdelen die per project zullen verschillen zijn met name de installaties voor compressie en conditionering die afgestemd worden op iedere CO₂ bron. Het ontwerp van de duwbakken, duwbotten en de SPM wijzigt per project niet, maar de samenstelling van de vloot wel

zodat met dezelfde ontwerpen op kleinere of grotere schaal gewerkt kan worden. De doelstelling in het Nederlandse klimaatakkoord om industriële uitstoot in 2030 met 14,3 miljoen ton CO₂ per jaar te reduceren (waarvan 7,2 miljoen ton middels CCS in aanmerking komt voor SDE++ subsidie) ligt binnen bereik omdat nu naast de voorgestelde pijpleidingnetwerken ook een scheepstransportnetwerk een bijdrage kan gaan leveren. Ook buitenlandse CO₂-uitstoters tonen interesse in het gebruikmaken van Nederlandse opslaglocaties en kunnen daarmee via het voorgestelde scheepstransport verbonden worden. Zodoende wordt de markt vergroot en kan Nederland een grotere bijdrage leveren aan het terugdringen van de wereldwijde CO₂-emissies. De Nederlandse economie zal hier ook van profiteren als gevolg van nieuwe werkgelegenheid in scheepsbouw, scheepstransport en nieuwe inkomsten uit bestaande offshore assets. Het ligt ook nog steeds voor de hand dat het succesvol aantonen van de werking van het systeem in de Nederlandse Noordzee zal leiden tot mogelijkheden om CO₂ op dezelfde manier in andere regio's te gaan vervoeren en opslaan. Afhankelijk van het beleid van buitenlandse overheden en beschikbaarheid van opslaglocaties kunnen we denken aan de Engelse, Duitse en Deense delen van de Noordzee, het diepere Noorse deel van de Noordzee, maar ook de Zuid-Chinese zee (Maleisië, Brunei, Thailand en de Filippijnen) en de Golf van Mexico (VS en Mexico). In principe is het technisch mogelijk om uiteindelijk alle offshore olie- en gasvelden te gebruiken als CO₂ opslag voordat ze afgesloten en geabandonneerd worden. De volgorde zal afhangen van beschikbaarheid, afstand tot CO₂ bronnen en wet- en regelgeving, maar de beschikbare opslagcapaciteit is voldoende om de komende decennia een grote bijdrage te leveren aan de doelstellingen van Parijs.

Conclusie en aanbevelingen

Deze studie heeft aangetoond dat het voorgestelde CO₂ transportsysteem klaar is om in de markt aan te bieden. Fizzy Transition Ventures heeft dochteronderneming Carbon Collectors opgericht om dit in samenwerking met de partnerbedrijven te doen. Het eerste project dat gerealiseerd zal worden kan een demonstratieproject genoemd worden, maar zal al wel op commerciële schaal gebouwd worden. In de aanloop naar dat project voorzien we nog enkele simulaties, met name om het vaargedrag van de DSV-combinatie te testen en te oefenen en om de druk- en temperatuurcondities bij CO₂ injectie op de specifieke injectielocatie te verifiëren. Ondertussen is het zinvol om verder te gaan met het identificeren en beschikbaar maken van meer opslaglocaties in de (Nederlandse) Zuidelijke Noordzee en het verder ontwikkelen van de markt van industriële uitstoters die met deze scheepsoplossing geholpen kunnen worden.

Problemen die zich tijdens het project hebben voorgedaan en de wijze waarop deze problemen zijn opgelost

- De transportcondities voor het vervoer van CO₂ waar bij aanvang mee gerekend werd (85bar en 35 °C) leverden twee problemen op:
 - 1) Bij de geselecteerde opslaglocatie in de K/L blokken is sprake van een hogere initiële druk in de injectieputten dan verwacht (60 bar i.p.v. 10-20 bar) waardoor onvoldoende CO₂ gelost zou kunnen worden door middel van druk egalisatie.
 - 2) Procesberekeningen gaven aan dat bij injectieputten op lage druk de benodigde verwarmingscapaciteit groter was dan verwacht, waardoor een onacceptabel grote verwarmingsinstallatie benodigd zou zijn om het CO₂ op de juiste druk en temperatuur te krijgen voor injectie.

Deze twee problemen zijn opgelost door het druk-temperatuurregime aan te passen naar 40bar en 5°C. Door deze aanpassing kan het CO₂ als vloeistof worden verpompt zodat injectiedrukken tot 120bar mogelijk zijn en meer dan 85% van iedere scheepslading gelost kan worden, ook in injectieputten op hogere druk. Zodoende is er geen additionele verwarming nodig bij het lossen waardoor het energieverbruik en de CO₂ capaciteit (geen ruimte nodig voor verwarmingsinstallatie) van de DSV-combinatie veel gunstiger worden. Een groot bijkomend voordeel is dat op deze manier 100% van de opslagcapaciteit van een gasveld benut kan worden omdat het CO₂ op de benodigde druk geïnjecteerd kan worden. Zodoende kan het transportsysteem gebruik maken van opslaglocaties met drukken variërend van extreem laag tot hoog waardoor de meeste lege gas- en olievelden geschikt worden voor CO₂ opslag.

- Bij de stabiliteitsberekeningen van de DSV-combinatie bleek dat de trim (de langsscheepse helling) tijdens het lossen onacceptabel groot werd. Dit probleem is opgelost door de introductie van een dynamisch ballaststelsel waarmee trim gecorrigeerd kan worden.
- Met name voor grotere vaarafstanden bleek de maximale snelheid van 6 knopen een belangrijke beperking voor de toepasbaarheid van het transportsysteem. Dit probleem is opgelost door een aantal hydrodynamische aanpassingen waardoor een gestroomlijnder geheel van duwbak en duwbak is ontstaan waarmee een hogere vaarsnelheid tot 12 knopen behaald kan worden.
- Het originele ontwerp voorzag in acht drukvaten van dezelfde afmetingen per duwbak. De aangepaste vorm van de boeg (zie vorige punt) beperkte het aantal drukvaten vanwege een taps toelopende vorm. Dit probleem is opgelost door de twee voorste drukvaten ook een taps toelopende vorm te geven en iets te verlengen waardoor de totale CO₂ capaciteit behouden is gebleven op 5500 m³. Vanwege de aangepaste druk en temperatuur (zie eerste punt hierboven)

is de dichtheid van het getransporteerde CO₂ ook hoger geworden, waardoor de totaal vervoerde en geloste massa CO₂ per duwbak verhoogd is van 3660 naar 4070 ton.